



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 VÍCEPDLAŽNÍ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

STEEL STRUCTURE OF A MULTI-STOREY ADMINISTRATIVE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

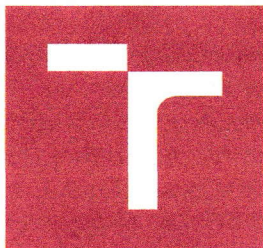
Bc. Martin Cejpek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN BALÁZS, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Cejpek
Název	Ocelová konstrukce vícepodlažní administrativní budovy
Vedoucí práce	Ing. Ivan Balázs
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
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

MAREK, Pavel a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury; Alfa, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985

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

BUJŇÁK, Ján. Kovové nosné konštrukcie stavieb. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2013, ISBN 978-80-554-0643-5

KARMAZÍNOVÁ, Marcela, PILGR, Milan. Ocelové konstrukce vícepodlažních budov: Pomůcka pro cvičení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2004, ISBN 80-214-2570-9.

LEHAR, František, OPATRIL, Jiří. Ocelové skelety budov. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1971.

FERJENČÍK, Pavel a kol. Navrhovanie ocelových konštrukcií. Bratislava; Praha: ALFA - Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry; Státní nakladatelství technické literatury, 1986

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zpracujte návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce vícepodlažní administrativní budovy o orientačních rozměrech 42 × 30 m. Konstrukci navrhňte pro oblast města Třebíče. Návrh i posouzení proveďte v souladu s aktuálně platnými normativními dokumenty pro navrhování ocelových konstrukcí.

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

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



Ing. Ivan Balázs
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci administrativní budovy. Ocelová konstrukce je půdorysného tvaru T o rozměrech 42m x 30m. V rámci práce byla provedena analýza dvou variant řešení nosného systému budovy. První variantou je konstrukční systém s rámovými ztužidly. V druhé variantě jsou použita příhradová ztužidla. Porovnáním obou nosných systémů bylo zjištěno množství použité oceli pro obě varianty. Následně byla varianta s příhradovými ztužidly rozpracována včetně statického výpočtu, výkresů a výkazu materiálu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ocelová konstrukce, administrativní budova, vícepodlažní budova, spřažený nosník, kotvení, příhradové ztužení, rámové ztužení

ABSTRACT

The main target is to design and asses the steel structure of a administartive multi-storey building. The steel structure is T shaped, with 30m span and 42m length. An analysis of two solutions of the supporting structure was performed. The first variant is consists of rigid bracing system. Trusses bracing in the second variant is an alternative solution. Both variants were compared and the amount of steel was found. The selected option was developed in greater details with static calculation, drawings and material report of steel.

KEYWORDS

Steel structure, administrative building, multi-storey building, composite beam, anchoring, trusses bracing, rigid bracing system

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Martin Cejpek *Ocelová konstrukce vícepodlažní administrativní budovy*. Brno, 2017. 322 s., 291 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Ivan Balázs, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 27. 12. 2017

Bc. Martin Cejpek
autor práce

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Ivanu Balázsovi Ph.D. za odborné vedení konzultací, neutuchající ochotu a zájem při řešení technických problémů. Také za cenné rady při tvorbě diplomové práce a za čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům a přítelkyni za podporu při studiu.

Bc. Martin Cejpek



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

B - TECHNICKÁ ZPRÁVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Cejpek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN BALÁZS, Ph.D.

BRNO 2018

Obsah:

1	Úvod.....	1
2	Použité normativní dokumenty	1
3	Zatížení.....	2
3.1	Stálé zatížení	2
3.2	Klimatické zatížení	2
4	Varianty řešení	3
4.1	Varianta A.....	3
4.2	Varianta B	3
5	Popis konstrukce	4
5.1	Sloup	4
5.2	Stropnice	4
5.3	Průvlaky	4
5.4	Příhradové ztužidlo	4
5.5	Spodní stavba.....	4
5.6	Materiál.....	5
5.6.1	Volba materiálu s ohledem na lomovou houževnatost.....	5
6	Povrchová úprava nosné konstrukce	6
6.1	Ochrana proti korozi	6
6.2	Povrchy ve styku s betonem	6
7	Ochrana proti požáru	6
8	Výroba a montáž.....	7
9	Údržba ocelových konstrukcí	8
10	Výkaz materiálu.....	9
11	Ekonomické hledisko	9

Zatížení větrem:

Větrová oblast: II

Kategorie terénu: III

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

4 Varianty řešení

Ocelová konstrukce administrativní vícepodlažní budovy je tvořena systémem sloupů v půdorysném rastru 6 x 6 m. Sloupy jsou tvořeny obdélníkovými profily RHS. Na sloupy jsou kloubově připevněny stropnice a průvlaky, které tvoří stropní a střešní konstrukci budovy. Stropnice a průvlaky jsou spřaženy se stropní popř. střešní železobetonovou deskou.

4.1 Varianta A

Varianta A je tvořena sloupy z profilů RHS, na které jsou připevněny stropnice i průvlaky pomocí tuhého přípoje. Tyto přípoje zajišťují tuhost budovy ve vodorovném směru a pomáhají tak stabilizovat budovu.

4.2 Varianta B

U varianty B jsou všechny přípoje uvažovány jako kloubové a nedochází zde k přenosu ohybového momentu. Jako alternativa musí být u této varianty použito příhradové ztužidlo, které bude přenášet vodorovné síly do základů. Na sloupy z profilů RHS jsou tedy v této variantě připojeny stropnice i průvlaky kloubovými přípoji, které jsou jednodušší na výrobu i následnou montáž, což také hraje roli ve výběru výsledné varianty.

Pro podrobné zpracování **volím variantu B**. Varianta B vychází výrazně lépe ve srovnání spotřeby použité oceli, další výhodou je daleko menší pracnost při výrobě přípojů. Varianta B je i vhodnější ze statického hlediska, kdy při menší hmotnosti použitého materiálu je schopna lépe odolávat vodorovnému zatížení a vykazuje menší vodorovné deformace než varianta A.

5 Popis konstrukce

5.1 Sloup

Sloupy jsou navrženy z profilů RHS rozměrů 350 x 250. Tloušťka materiálu je proměnná a mění se po výšce sloupů. Z důvodů lepšího využití materiálu a jeho menší spotřeby.

5.2 Stropnice

Stropnice jsou tvořeny IPE profily, které jsou kloubově připojeny jak ke sloupům z RHS profilů, tak k IPE průvlakům. Stropnice jsou spřaženy pomocí ocelových spřahovacích trnů se stropní popř. střešní železobetonovou deskou. Jako bednění pro betonáž je použit trapézový plech TR 50/250.

5.3 Průvlaky

Průvlaky jsou tvořeny IPE profily, které jsou kloubově připojeny ke sloupům z RHS profilů. Průvlaky jsou spřaženy pomocí ocelových spřahovacích trnů se stropní popř. střešní železobetonovou deskou. Jako bednění pro betonáž je použit trapézový plech TR 50/250.

5.4 Příhradové ztužidlo

Příhradové ztužidlo je tvořeno profily CHS 177,8 x 10 v prvních dvou podlažích, kde jsou největší normálové síly. Ve vyšších podlažích je použit profil CHS 177,8 x 5, jelikož jsou zde výrazně menší normálové síly a pro jejich přenos je tento profil naprosto dostačující. Ztužidlo je dimenzováno jak na přenos tahových, tak na přenos tlakových normálových sil.

5.5 Spodní stavba

Zatížení z celé budovy přenášející se přes sloupy do spodní stavby je zajištěno přes patní plech tl. 25 mm. Plech je kotven pomocí kotevních šroubů 4xM24 (dle typu kotvení K1, K2, K3). Šrouby jsou vlepeny do předem vyvrtaných otvorů hmotou HIT-HY 200-A + HIT-V (8.8). Základové patky jsou tvořeny z betonu C 25/30 a jsou spojeny s piloty o průměru 90 cm a délce 8,5 m. Tyto piloty pomáhají přenášet velké svislé síly do základové

půdy. V místě kotvení K2, v kterém může při vybraných kombinacích docházet k tahovému namáhání v kotvení, jsou základové patky spojeny do základového pasu, který svojí hmotností zabraňuje nadzvedávání tohoto základu. Kotvení je zde navrhováno i na tahovou sílu, posudek je možné nalézt v příloze J.

5.6 Materiál

5.6.1 Volba materiálu s ohledem na lomovou houževnatost dle ČSN EN 1993-1-10

Uvažováno pro vegetační střešní stropnici:

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_i + \Delta T_{\varepsilon_{cf}}$$

$$T_{Ed} = -35 - 5 + 0 + 0 + 0 + 0 = -40^\circ\text{C}$$

$$G_k = 4,92 \cdot 2 = 9,84 \text{ kN/m}$$

$$Q_k = 5 \cdot 2 = 10 \text{ kN/m}$$

$$q = 9,84 + 0,5 \cdot 10 = 14,84 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 14,84 \cdot 6^2 = 66,78 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} = \frac{66,78 \cdot 10^3}{\frac{1,587 \cdot 10^{-4}}{0,215}} = 90,47 \text{ MPa}$$

$$f_y(t) = f_{y,nom} - 0,25 \cdot \frac{t}{t_0} = 235 - 0,25 \cdot \frac{9,8}{1} = 232,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{90,47}{232,6} f_y(t) = 0,39 f_y(t)$$

Z tabulky 2.1 [9] vyplývá, že pro použité tloušťky materiálů je odpovídající jakostní stupeň JR.

Jako základní materiál pro nosnou ocelovou konstrukci bude použita konstrukční ocel S235 JR+AR dle ČSN EN 10025-2. Použité trubkové profily jsou za tepla válcované. Pro kotvení jsou použity závitové tyče jakosti 5.8. Veškeré použité šrouby jsou jakostní třídy 5.6.

6 Povrchová úprava nosné konstrukce

6.1 Ochrana proti korozi

Ochrana ocelové konstrukce nátěrovými hmotami bude stanovena na základě dohody s investorem a dodavatelem. Všechny prováděné nátěry a veškeré ochrany proti korozi musí být provedeny dle platných norem. Nátěrový systém stanoven dle ČSN ISO 12 944.

Ošetření konstrukce:

1. Základní nátěr nanesený na podklad
2. Podkladový nátěr
3. Konečný nátěr s pigmentací dle požadavků investora

Všechny nátěry budou nanесeny v jedné vrstvě. Nutno dodržet tloušťku nátěrů, dle předpisu výrobce nátěrových hmot.

Po kompletaci konstrukce je nutná prohlídka a případná oprava poškozeného nátěru.

6.2 Povrchy ve styku s betonem

Povrchy ocelové konstrukce, které jsou ve styku s betonem musí být bez povrchové úpravy. Kotevní šrouby také bez povrchové úpravy.

7 Ochrana proti požáru

Požární odolnost ocelové konstrukce bez nutnosti ochrany před požárem je dle ČSN EN 1993-1-2 R15 D1. Nosná ocelová konstrukce s požadavkem požární odolnosti vyšším než R15 bude opatřena protipožárním obkladem sloupů. Obklad zajistí zvýšení požární odolnosti a nedojde tak k předčasnému kolapsu konstrukce při požáru, kdy sloupy jsou velice důležité z důvodu stability při požáru. Vodorovné konstrukce budou opatřeny vermikulit cementovým nástřikem, který je nutné obnovovat dle doporučení výrobce. Vodorovné konstrukce budou zakryty podhledem z důvodu neestetického působení a zakrytí vedených instalací pod stropní konstrukcí. Přesná specifikace protipožárního nástřiku či obkladu upřesněna projektem stavební části dle požadavků požární zprávy.

8 Výroba a montáž

Ocelové konstrukce budou provedeny podle ČSN EN 1090-2. Třída provádění EXC2. Veškeré dílenské spoje jsou svařované a budou provedeny ve výrobě. Prvky musí být z výroby dodány tvarově neporušené a bez poškození základního nátěru. Rozhodující dílce z hlediska přepravy jsou dílce sloupů, jejichž délka nepřekračuje 12 m.

Montáž ocelové konstrukce začne montáží sloupů, ke kterým je připojeno příhradové ztužidlo v obou směrech. Po montáži prvních dvou dílců sloupů a jejich nivelaci, budou sloupy spojeny pomocí příhradového ztužidla, tím dojde k zajištění prostorové tuhosti v jednom směru. Následovat bude montáž třetího sloupu, který je spojen také ztužidlem ovšem v druhém kolmém směru konstrukce. Dále můžeme pokračovat v montáži dalších sloupů, které už budou propojeny i průvlaky a stropnicemi. Po montáži základního rastru o rozměrech 6 x 6 m, se může přistoupit k montáži stropnic, připojovaných k průvlakům.

Dalším krokem bude rozmístění trapézových plechu a navaření spřahovacích trnů na jednotlivé vodorovné prvky. Po zřízení okrajového bednění podepření jednotlivých vodorovných prvků a rozprostření konstrukčních kari sítí může započít samotná betonáž stropní konstrukce. Stropní konstrukce se vybetonuje do potřebné tloušťky, její povrch se zavibruje a uhladí. Následně bude probíhat technologická přestávka, která zajistí řádné zatvrdnutí betonu.

Konstrukci je možné cca po 3 dnech (bude záležet na zkouškách, které budou provedeny na zkušebních vzorcích betonové směsi obohacené o urychlovače tuhnutí a tvrdnutí) odbednit a začít pracovat na dalším podlaží, při stálém podepření stropní konstrukce. Bude požadováno, aby byl beton dostatečně zatvrdlý a byl schopen roznášet montážní zatížení. Opět bude probíhat montáž dalších stropnic a průvlaků, následné umístění trapézových plechu, opatření spřahovacích trnů, rozmístění konstrukčních kari sítí s následnou montáží podpěr, které se demontují v nižším podlaží a použijí se pro betonáž vyššího podlaží. V této době už musí být beton dostatečně zatvrdlý a bude dosahovat minimálně charakteristické krychelné pevnosti betonu, která je pro konkrétní třídu betonu předepsaná. Po nabití potřebné pevnosti betonu se bude postup opakovat.

Stropní konstrukce je dimenzována na poměrně velké proměnné zatížení, které nebude při montáži působit, takže konstrukce má dostatečnou rezervu pro přenesení vlastní tíhy betonu a montážního zatížení stropní konstrukce o podlaží výše. V dalších podlažích se postup opakuje.

9 Údržba ocelových konstrukcí

Celkový stav konstrukce je nutné zjišťovat pravidelnými prohlídkami odborně způsobilou osobou. Frekvence prohlídek bude minimálně jedenkrát za 5 let.

V zimním období je nutné kontrolovat zatížení střešní konstrukce sněhovou pokrývkou. Pokud by výška sněhové pokrývky překročila návrhovou hodnotu je nutné zajistit odklizení sněhové pokrývky ze střešních rovin.

Dále je velice důležitá kontrola protipožárních obkladů a nátěrů, jejich stav a popřípadě mechanické poškození, které by v některých částech mohlo způsobit při požáru velké problémy.

10 Výkaz materiálu

PRVEK	PRŮŘEZ	DÉLKA [m]	HMOTNOST [kg/m]	CELKOVÁ HMOTNOST [kg]
SLOUP	RHS 350x250x8	388.0	72.8	28265.0
	RHS 350x250x10	432.4	90.3	39034.9
	RHS 350x250x12.5	139.2	111.5	15516.6
STROPNICE	IPE 140	78.0	12.9	1006.0
	IPE 180	18.0	18.8	338.4
	IPE 160	306.0	15.8	4825.8
	IPE 160	300.0	15.8	4731.2
	IPE 240	108.0	30.7	3316.6
	IPE 200	1932.0	22.4	43193.3
PRŮVLAKY	IPE 240	60.0	30.7	1842.6
	IPE 330	24.0	49.2	1179.6
	IPE 270	348.0	36.1	12552.6
	IPE 270	156.0	36.1	5627.0
	IPE 360	24.0	57.1	1370.2
	IPE 330	564.0	49.1	27715.5
PŘÍHRADOVÉ ZTUŽIDLO	CHS 177.8x10	232.6	41.4	9620.9
	CHS 177.8x5	576.9	21.3	12272.4
SVARY	ODHAD 2% Z POUŽITÉHO MATERIÁLU			4248.2
CELKOVÁ HMOTNOST				216656.8

11 Ekonomické hledisko

Celková hmotnost je 216 656,8 kg. Zastavěná plocha 900 m² s obestavěným prostorem 22 356 m³. Průměrná hmotnost **240,7 kg/m²** a **9,69 kg/m³**.



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

C – PŘEDBĚŽNÉ VARIANTY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Cejpek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN BALÁZS, Ph.D.

BRNO 2018

Obsah:

1	Geometrie	1
1.1	Půdorys – příhradové ztužení – Varianta B	1
1.2	Půdorys – rámové ztužení – Varianta A	2
1.3	Boční pohledy – příhradové ztužení – Varianta B.....	3
1.4	Boční pohledy – rámové ztužení – Varianta A	4
1.5	Izometrie – příhradové ztužení – Varianta B.....	5
1.6	Izometrie – rámové ztužení – Varianta A	5
2	Zatížení	6
2.1	Stálé zatížení	6
2.1.1	Vlastní tíha konstrukce	6
2.1.2	Stálé zatížení.....	6
2.1.2.1	Střešní plášť	6
2.1.2.2	Skladba podlahy.....	6
2.1.2.3	Fasádní systém	6
2.2	Klimatické zatížení	6
2.2.1	Zatížení sněhem.....	6
2.2.2	Zatížení větrem.....	7
3	Varianty řešení.....	7
3.1	Konstrukční řešení varianta A	7
3.2	Konstrukční řešení varianta B.....	7
4	Posouzení prutů varianty A	8
4.1	Posouzení stropnice	8
4.1.1	Spřažená střešní stropnice – standardní střecha	8
4.1.1.1	Mezní stav únosnosti	9
4.1.1.2	Mezní stav použitelnosti	12

4.1.2	Spřažená střešní stropnice – vegetační střecha.....	13
4.1.2.1	Mezní stav únosnosti	14
4.1.2.2	Mezní stav použitelnosti	17
4.1.3	Spřažená stropnice – typické podlaží	19
4.1.3.1	Mezní stav únosnosti	19
4.1.3.2	Mezní stav použitelnosti	22
4.1.4	Vetknutá stropnice	23
4.1.4.1	Mezní stav únosnosti	23
4.1.4.2	Mezní stav únosnosti	24
4.1.4.3	Mezní stav použitelnosti	24
4.2	Posouzení průvlaků.....	25
4.2.1	Vetknutý průvlak	25
4.2.1.1	Mezní stav únosnosti	25
4.2.1.2	Mezní stav použitelnosti	25
4.3	Posouzení průvlaků přiléhajících ke schodišťovému prostoru	26
4.3.1	Vetknutý průvlak	26
4.3.1.1	Mezní stav únosnosti	26
4.3.1.2	Mezní stav použitelnosti	26
4.4	Posouzení sloupů	27
4.4.1.1	Mezní stav únosnosti	27
4.4.1.2	Mezní stav použitelnosti – globální vodorovný průhyb	28
4.4.1.3	Mezní stav použitelnosti – lokální vodorovný průhyb	29
5	Posouzení prutů variantu B.....	30
5.1	Posouzení stropnice	30
5.1.1	Spřažená střešní stropnice – standardní střecha	30
5.1.1.1	Mezní stav únosnosti	31

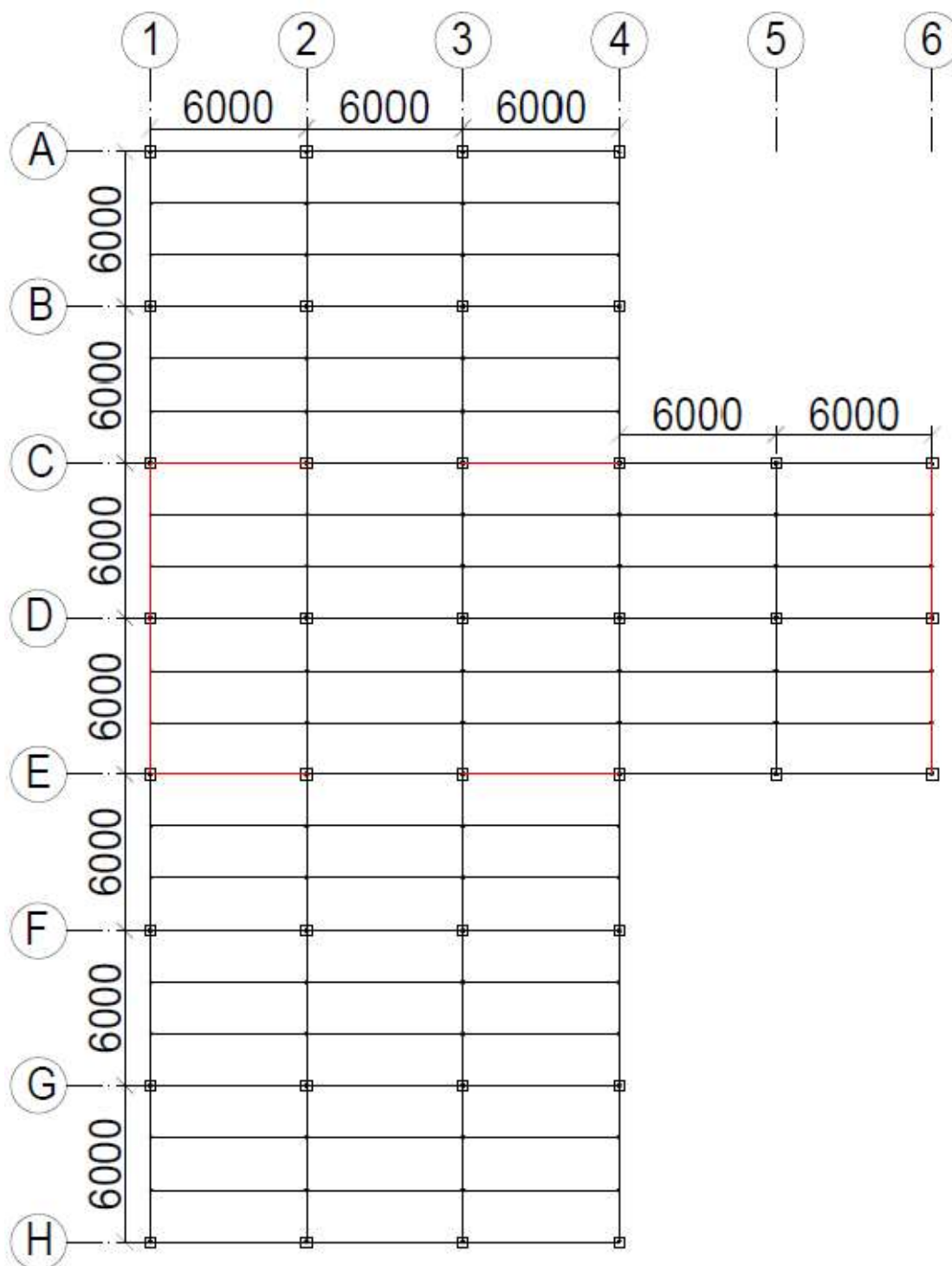
5.1.1.2	Mezní stav použitelnosti	34
5.1.2	Spřažená střešní stropnice – vegetační střecha.....	35
5.1.2.1	Mezní stav únosnosti	36
5.1.2.2	Mezní stav použitelnosti	39
5.1.3	Spřažená stropnice – typické podlaží	41
5.1.3.1	Mezní stav únosnosti	41
5.1.3.2	Mezní stav použitelnosti	45
5.1.4	Prostá stropnice – v oblasti schodišťového prostoru	46
5.1.4.1	Mezní stav únosnosti	46
5.1.4.2	Mezní stav použitelnosti	46
5.2	Posouzení průvlaků.....	47
5.2.1	Spřažený střešní průvlak – vegetační střecha.....	47
5.2.1.1	Mezní stav únosnosti	47
5.2.1.2	Mezní stav použitelnosti	51
5.2.2	Spřažený střešní průvlak – standardní střecha.....	52
5.2.2.1	Mezní stav únosnosti	53
5.2.2.2	Mezní stav použitelnosti	56
5.2.3	Spřažený stropní průvlak – standardní podlaží.....	57
5.2.3.1	Mezní stav únosnosti	58
5.2.3.2	Mezní stav použitelnosti	61
5.2.4	Stropní průvlak prostě uložený – přiléhající ke schodišťovému prostoru.....	63
5.2.4.1	Mezní stav únosnosti	63
5.3	Posouzení sloupů	63
5.3.1.1	Mezní stav únosnosti	63
5.3.1.2	Mezní stav použitelnosti – globální vodorovný průhyb	64
5.3.1.3	Mezní stav použitelnosti – lokální vodorovný průhyb	65

5.4	Posouzení ztužidel	66
5.4.1	Stěnové ztužidlo	66
5.4.1.1	Mezní stav únosnosti	66
6	Posouzení vhodnosti variant.....	67
6.1	Varianta A – spotřeba oceli	67
6.2	Varianta B – spotřeba oceli.....	68

1 Geometrie

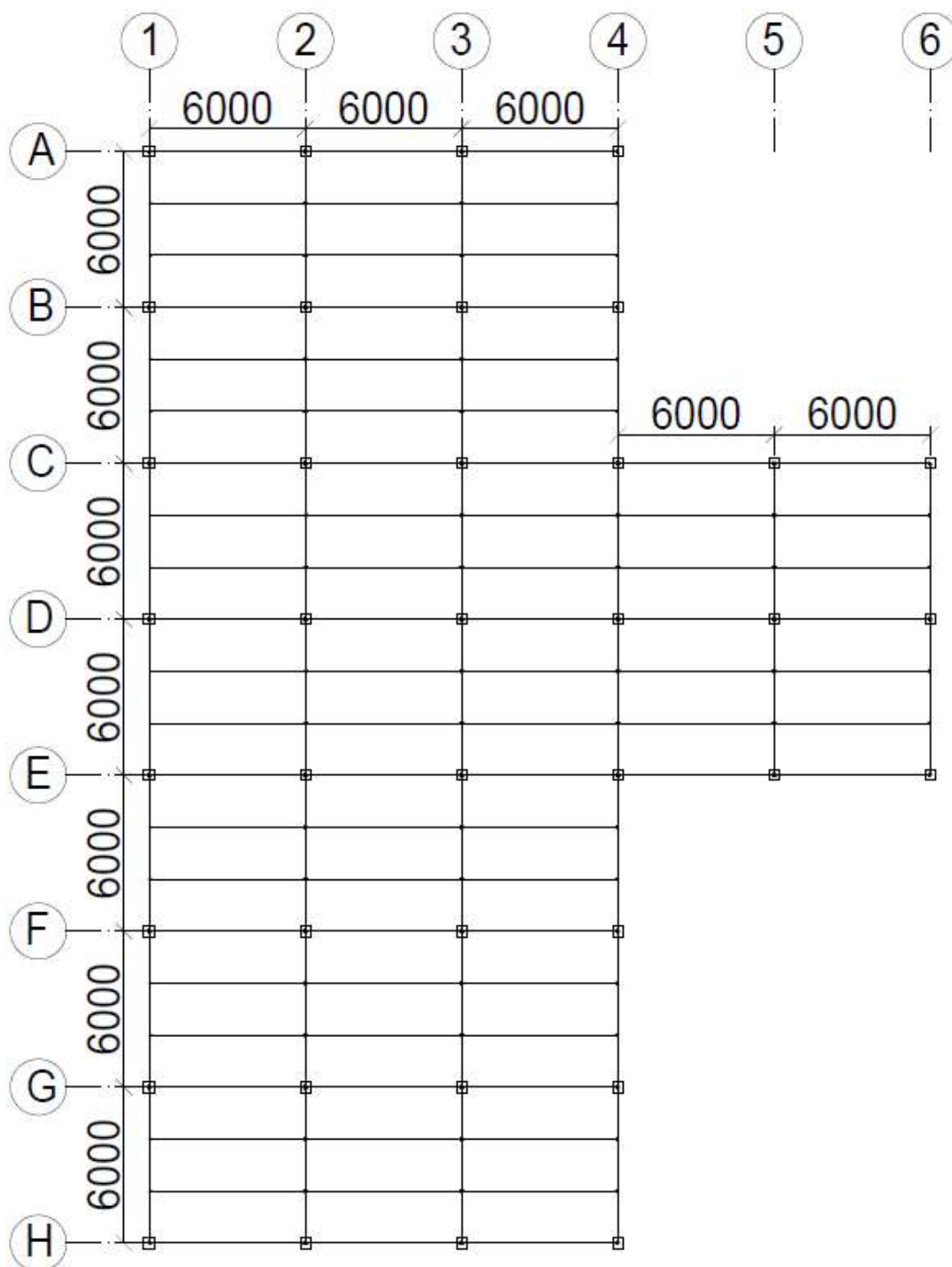
1.1 Půdorys – příhradové ztužení – Varianta B

Červeně je naznačeno rozmístění příhradových ztužidel.

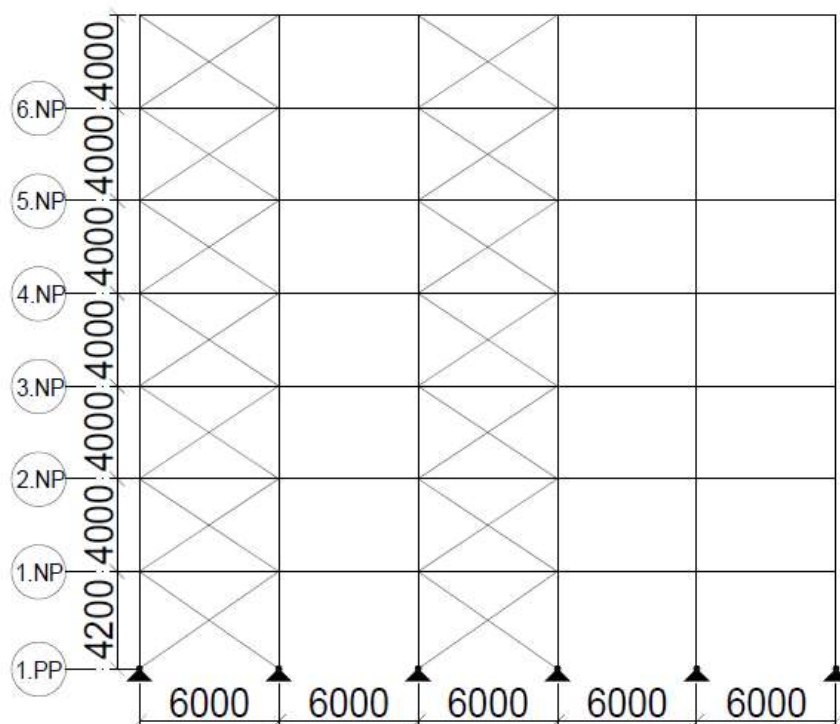
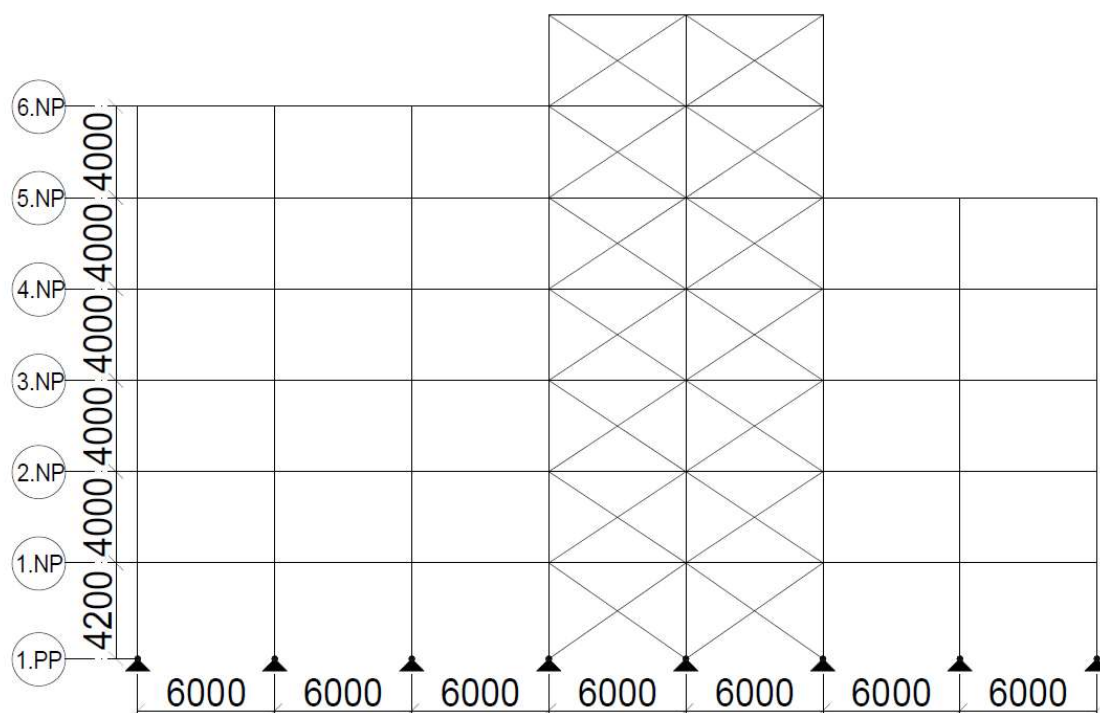


1.2 Půdorys – rámové ztužení – Varianta A

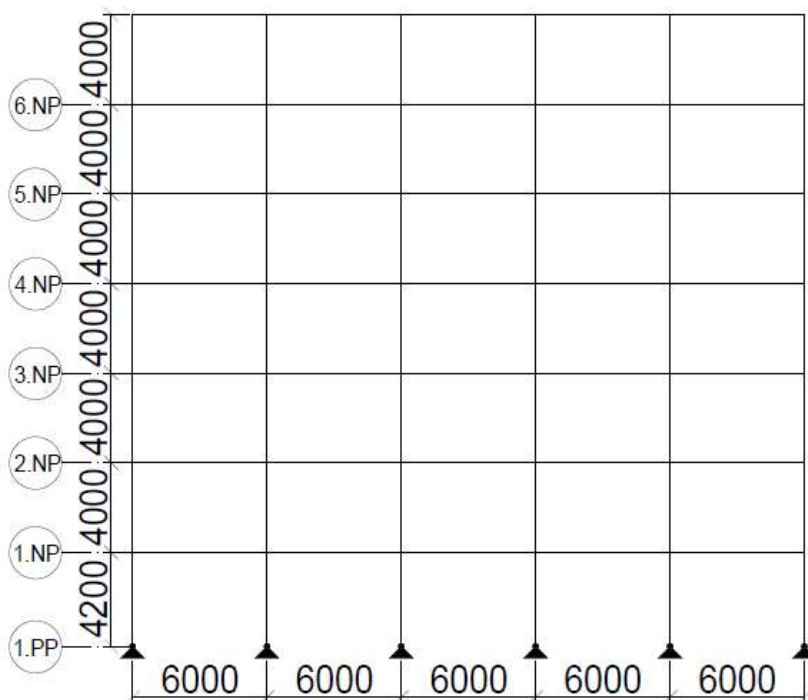
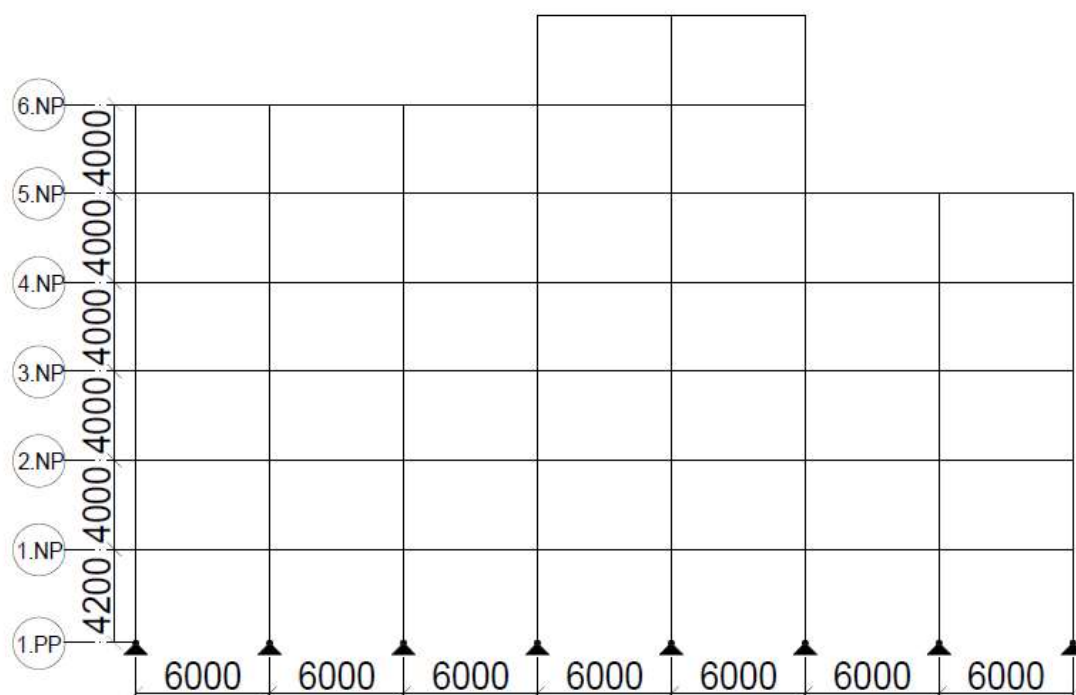
U všech stropnic a průvlaků je přípoj na sloup řešen jako tuhý rámový spoj, těchto rámových vazeb je použito velké množství z důvodů přenášení vodorovného zatížení a zabránění nadměrné deformaci konstrukce.



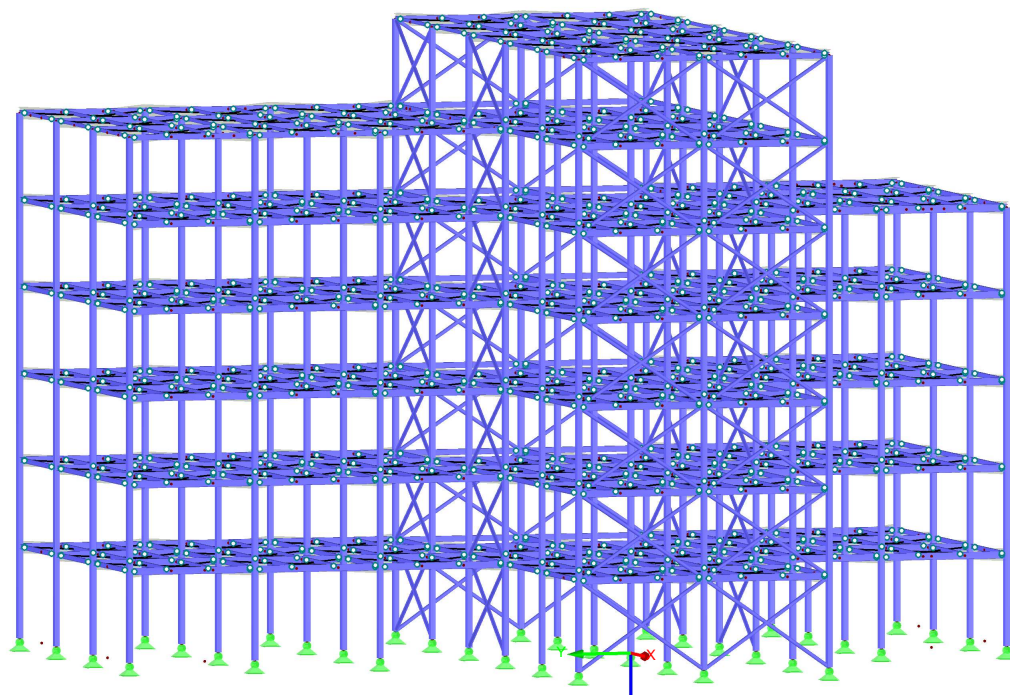
1.3 Boční pohledy – příhradové ztužení – Varianta B



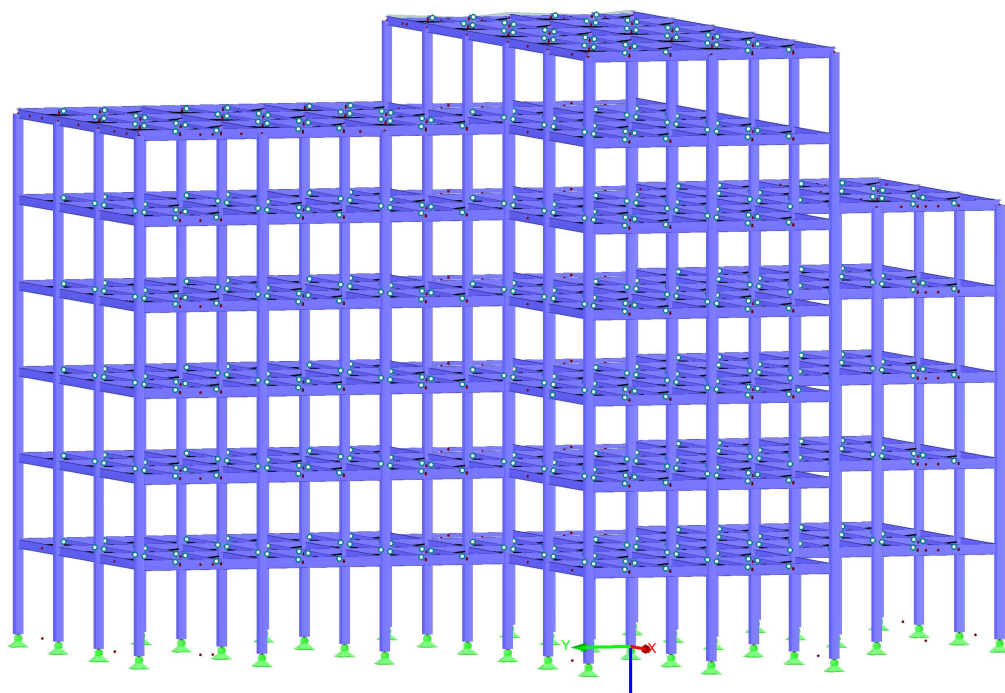
1.4 Boční pohledy – rámové ztužení – Varianta A



1.5 Izometrie – příhradové ztužení – Varianta B



1.6 Izometrie – rámové ztužení – Varianta A



2 Zatížení

Zatížení pro výpočtový model vícepodlažní administrativní budovy bylo stanoveno dle ČSN EN 1991-1-1. Podrobně rozepsané zatížení je obsaženo ve statickém výpočtu.

2.1 Stálé zatížení

2.1.1 Vlastní tíha konstrukce

Je automaticky vygenerována programem od firmy Dlubal: RFEM 5.10.01

2.1.2 Stálé zatížení

2.1.2.1 Střešní plášť

Je tvořen střešním souvrstvím o celkové hodnotě charakteristického zatížení:

$$- g_k = 3,142 \text{ kN/m}^2 \text{ (nad částí budovy 1,2)}$$

Část budovy 3 má rozdílnou skladbu střešního souvrství a nachází se zde pochozí, zelená střecha o celkové hodnotě charakteristického zatížení:

$$- g_k = 4,920 \text{ kN/m}^2$$

2.1.2.2 Skladba podlahy

Skladba podlahy v klasickém podlaží má charakteristickou hodnotu zatížení:

$$- g_k = 4,350 \text{ kN/m}^2$$

Skladba podlahy nad arkýřovou částí budovy je doplněna o větší tloušťku tepelné izolace, celková hodnota charakteristického zatížení:

$$- g_k = 4,395 \text{ kN/m}^2$$

2.1.2.3 Fasádní systém

Je uvažován fasádní systém firmy ALUPROF MB-SE75, zatížení tohoto systému je uvažováno charakteristickou hodnotou zatížení:

$$- g_k = 0,900 \text{ kN/m}^2$$

2.2 Klimatické zatížení

2.2.1 Zatížení sněhem

sněhová oblast:

II.

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

2.2.2 Zatížení větrem

větrná oblast: II.

kategorie terénu: III.

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

3 Varianty řešení

3.1 Konstrukční řešení varianta A

Ocelová konstrukce vícepodlažní administrativní budovy je tvořena z rastru sloupů čtvercového, uzavřeného průřezu o rozměrech 400x20 mm. Půdorysné rozteče sloupů jsou tvořeny osnovou 6x6m. Na čtvercové sloupy jsou připojeny průvlaky a stropnice. Průvlaky jsou tvořeny profily IPE 500 spřaženými se stropní betonovou deskou, jsou rámově připojeny ke sloupům a tím tvoří skupinu příčných vazeb, která ztužuje celý objekt proti účinku vodorovných sil. Stropnice jsou tvořeny z profilů IPE, které jsou pomocí spřahovacích trnů spřaženy s betonovou stropní deskou. Stropnice, které jsou připojeny ke sloupům jsou připevněny rámovým přípojem a tvoří ztužení proti vodorovným účinkům sil ve druhém směru než průvlaky. Stropnice připojené na průvlak, jsou napojeny kloubově a jsou zde použity menší dimenze IPE profilů, jelikož nedochází k vzniku záporného ohybového momentu.

3.2 Konstrukční řešení varianta B

Ocelová konstrukce vícepodlažní administrativní budovy je tvořena z rastru sloupů obdélníkového, uzavřeného průřezu o rozměrech 350x250x16 mm. Půdorysné rozteče sloupů jsou tvořeny osnovou 6x6m. Na obdélníkové sloupy jsou připojeny průvlaky a stropnice. Průvlaky jsou tvořeny profily IPE spřaženými s betonovou stropní deskou jsou kloubově připojeny ke sloupům. Stropnice jsou tvořeny z profilů IPE, které jsou pomocí spřahovacích trnů spřaženy s betonovou stropní deskou. Všechny stropnice jsou připojeny pomocí kloubového přípoje jak na sloupy, tak na průvlaky. Pro vodorovné ztužení konstrukce, jsou v objektu umístěny příhradová ztužidla, která tvoří systém vazeb umístěných v obou na sebe kolmých směrech. Ztužidla jsou tvořena kruhovou trubkou, která působí jako příhradový prut a přenáší pouze normálové síly.

4 Posouzení prutů varianty A

Posouzení jednotlivých prutů bylo provedeno v modulu RF-STEEL EC3.

4.1 Posouzení stropnice

Posouzení sprážených ocelobetonových stropnic bude provedeno ručním výpočtem:

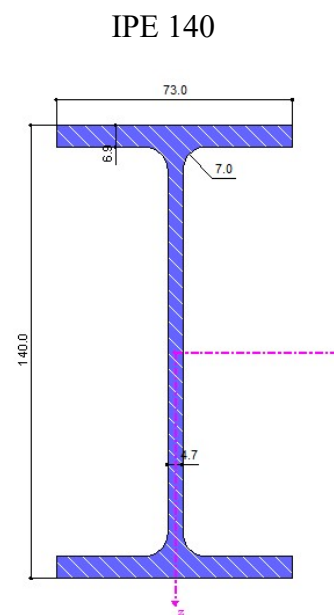
4.1.1 Sprážená střešní stropnice – standardní střecha

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 1,643 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 5,988 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 5,412 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 7,732 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 8,834 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 140 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 73 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 4,7 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 6,9 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 7 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

4.1.1.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od levé stropnice: $B_l = 2 \text{ m}$

Osová vzdálenost od pravé stropnice: $B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

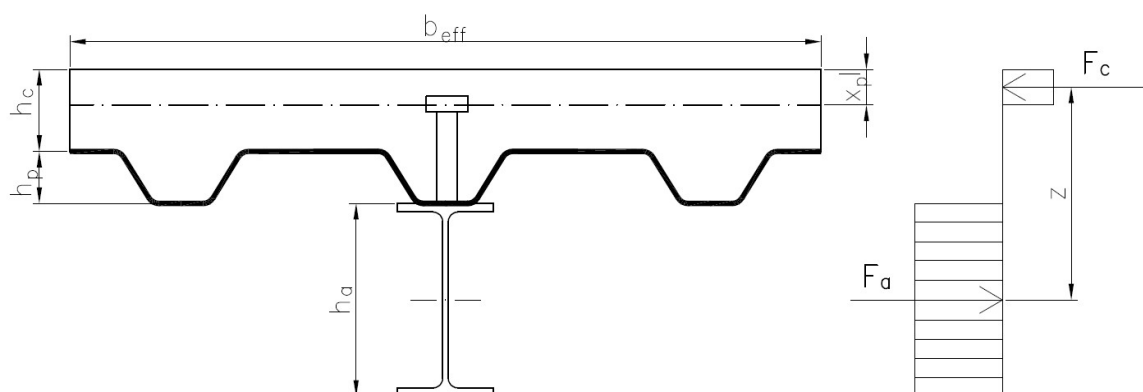
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 1,643 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0151 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen



Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 49,38 \text{ kNm}$$

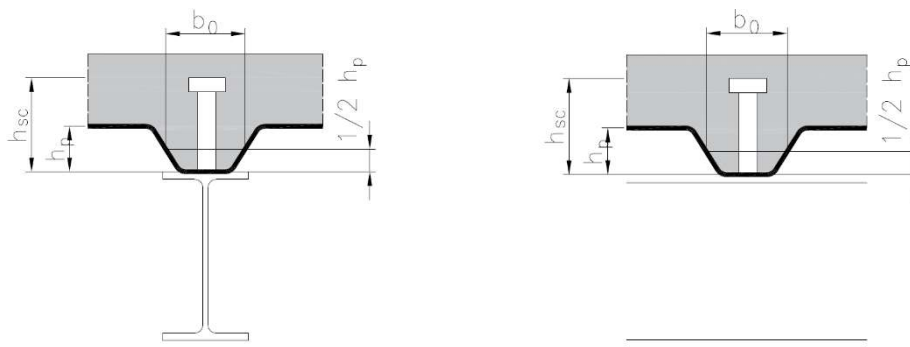
Prut číslo 1549, kombinace výsledků 1

$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,14 + 0,0485 - \frac{0,0151}{2} - \frac{0,14}{2} = 0,1875 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,1875 = 72,39 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{49,38}{72,39} = 0,68 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 386,11 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{386,105}{81,656} = 4,73 \rightarrow 5$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 7$$

$$7 \geq 5 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 30,83 \text{ kN}$$

Prut číslo 1549, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5,988 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 81,24 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{30,83}{81,24} = 0,38 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

4.1.1.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 35,73 \text{ kNm}$$

Prut číslo 1549, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 140

Výška stropnice:

$$h_a = 140 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 1,643 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 5,412 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 1,643 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,040 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 0,195 = 3,204 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,03825 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 3,204 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 6,548 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{6,548 \cdot 10^{-4}}{1,040 \cdot 10^{-2}} = 0,0630 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 5,412 \cdot 10^{-6} + 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1320^2 = 3,406 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,11475 \cdot 0,02471^2 = 1,260 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 3,406 \cdot 10^{-5} + \frac{1,260 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 4,366 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 35730}{6^2} = 7,94 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{7,94 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 4,366 \cdot 10^{-5}} = 0,0146 \text{ m} \rightarrow 14,6 \text{ mm}$$

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

$$w = 14,6 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

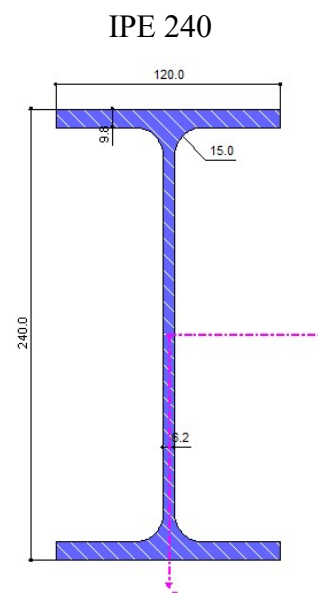
4.1.2 Sprážená střešní stropnice – vegetační střecha

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 1,915 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 3,243 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 3,666 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 240 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 120 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 6,2 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 9,8 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 15 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E_a = 210 \text{ GPa}$ **Materiálové charakteristiky – beton:**

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

4.1.2.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od levé stropnice: $B_l = 2 \text{ m}$ Osová vzdálenost od pravé stropnice: $B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

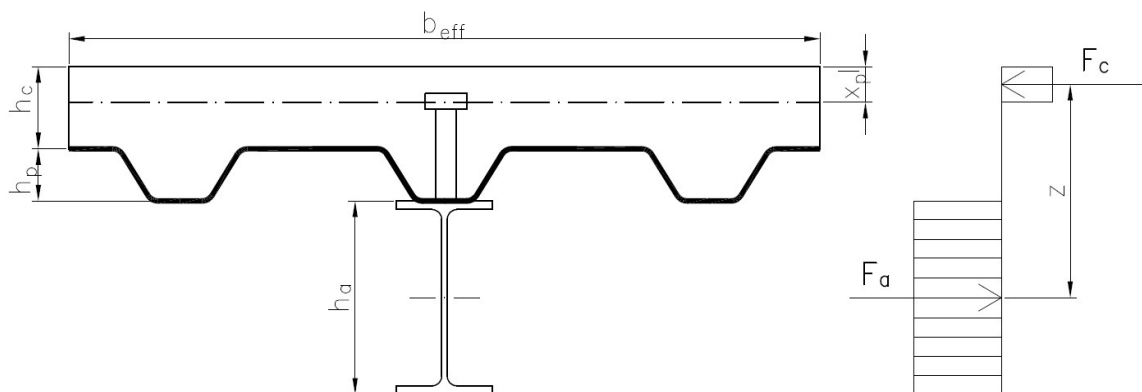
$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$ Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$ Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 3,912 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0361 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen



Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 138,98 \text{ kNm}$$

Prut číslo 1429, kombinace výsledků 1

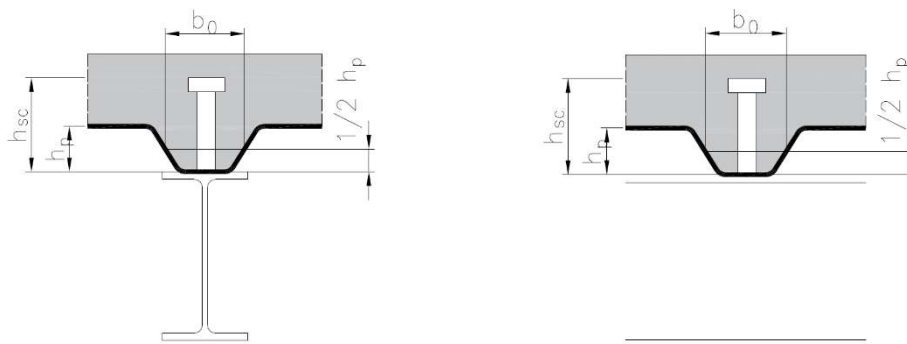
$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,24 + 0,0485 - \frac{0,0361}{2} - \frac{0,24}{2} = 0,2270 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2270 = 208,69 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{138,98}{208,69} = 0,67 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:



Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 919,32 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:	$d = 19 \text{ mm}$
Mez pevnosti trnu:	$f_u = 450 \text{ MPa}$
Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:	$h_{sc} = 91 \text{ mm}$
	$l = 100 \text{ mm}$
	$h_{sc} / d = 4,7895$
Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu:	$n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{919,320}{81,656} = 11,26 \rightarrow 12$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 12$$

$$12 \geq 12 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 92,08 \text{ kN}$$

Prut číslo 1431, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,915 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 259,80 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{92,08}{259,80} = 0,36 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

4.1.2.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 97,15 \text{ kNm}$$

Prut číslo 1430, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 240

Výška stropnice:

$$h_a = 240 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 3,912 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,270 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,245 = 9,584 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 9,584 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,293 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,293 \cdot 10^{-3}}{1,270 \cdot 10^{-2}} = 0,1018 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 3,892 \cdot 10^{-5} + 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1432^2 = 1,191 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,06355^2 = 5,194 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 1,191 \cdot 10^{-4} + \frac{5,194 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 1,587 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 97145}{6^2} = 21,59 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{21,59 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,587 \cdot 10^{-4}} = 0,0109 \text{ m} \rightarrow 10,9 \text{ mm}$$

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

$$w = 10,9 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

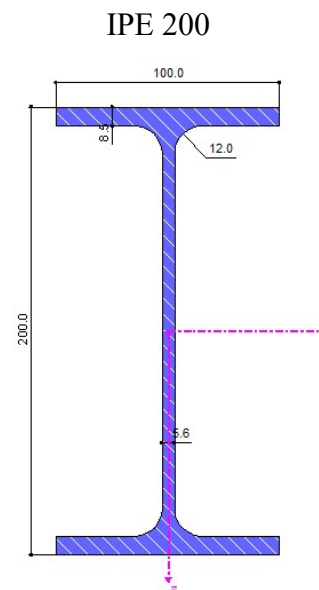
4.1.3 Spřažená stropnice – typické podlaží

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 2,848 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 1,400 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 1,943 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 1,940 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 2,206 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 200 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 100 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 5,6 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 8,5 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 12 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

4.1.3.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levé stropnice:	$B_l = 2 \text{ m}$
Osová vzdálenost od pravé stropnice:	$B_p = 2 \text{ m}$
Účinná šířka betonové pásnice:	

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 2,848 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0262 \text{ m}$$

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

Posouzení na ohyb:

$\max M_{ed} = 94,23 \text{ kNm}$

Prut číslo 780, kombinace výsledků 1

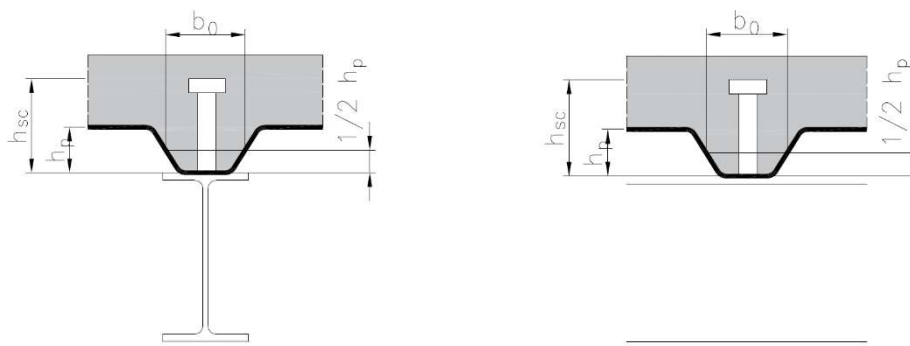
$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,20 + 0,0485 - \frac{0,0262}{2} - \frac{0,20}{2} = 0,2119 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2119 = 141,82 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{94,23}{141,82} = 0,66 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:



Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 669,28 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:	$d = 19 \text{ mm}$
Mez pevnosti trnu:	$f_u = 450 \text{ MPa}$
Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:	$h_{sc} = 91 \text{ mm}$
	$l = 100 \text{ mm}$
	$h_{sc} / d = 4,7895$
Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu:	$n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{669,28}{81,66} = 8,20 \rightarrow 9$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 12$$

$$12 \geq 12 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 62,75 \text{ kN}$$

Prut číslo 780, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,400 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 189,89 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{62,75}{189,89} = 0,33 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

4.1.3.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 66,80 \text{ kNm}$$

Prut číslo 711, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 200

Výška stropnice:

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

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 2,848 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 1,943 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 2,848 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,160 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 0,225 = 6,408 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 6,408 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 9,752 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{9,752 \cdot 10^{-4}}{1,160 \cdot 10^{-2}} = 0,0841 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,943 \cdot 10^{-5} + 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1409^2 = 7,599 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0458^2 = 2,969 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 7,599 \cdot 10^{-5} + \frac{2,969 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 9,861 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 66803}{6^2} = 14,85 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14,845 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 9,861 \cdot 10^{-5}} = 0,0121 \text{ m} \rightarrow 12,1 \text{ mm}$$

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

$$w = 12,1 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

4.1.4 Vetknutá stropnice

Vetknuté stropnice jsou navrženy z většího profilu než ostatní, jelikož jsou součástí svislých vazeb zabezpečujících vodorovnou tuhost objektu. V případě vetknutí nosníků bude docházet k tlakovému namáhání spodního pásu, který není zabezpečen proti klopení.

4.1.4.1 Mezní stav únosnosti

Posouzení stropnic bylo spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha A

4.1.4.2 Mezní stav únosnosti

Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
1670	IPE 400		
	KV1	$0.85 \leq 1.00$	ST331) Posouzení stability - klopení podle 6.3.2.1 a 6.3.2.3 - I průřez

4.1.4.3 Mezní stav použitelnosti

$$M_{Ek,max} = -154,05 \text{ kNm}$$

Prut číslo 1670, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Modul pružnosti:

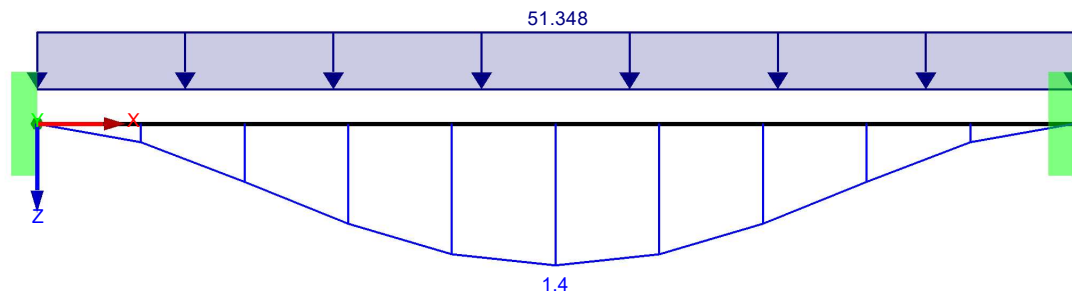
$$E_i = 210 \text{ GPa}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = 5,888 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

q – ekvivalentní spojité zatížení na oboustranně vetknutém prostém nosníku

$$q = \frac{-12 \cdot M_{Ek,max}}{l^2} = \frac{-12 \cdot (-154,05)}{6^2} = 51,35 \text{ kNm}$$



$$w = 1,4 \text{ mm}$$

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

$$w = 1,4 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

4.2 Posouzení průvlaků

4.2.1 Vetknutý průvlak

V případě vetknutí nosníků bude docházet k tlakovému namáhání spodního pásu, který není zabezpečen proti klopení.

Posouzení průvlaků bylo spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha B

4.2.1.1 Mezní stav únosnosti

Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
1003	IPE 500		
	KV1	$0.89 \leq 1.00$	ST331) Posouzení stability - klopení podle 6.3.2.1 a 6.3.2.3 - I průřez

4.2.1.2 Mezní stav použitelnosti

$$M_{Ek,max} = -262,05 \text{ kNm}$$

Modul pružnosti:

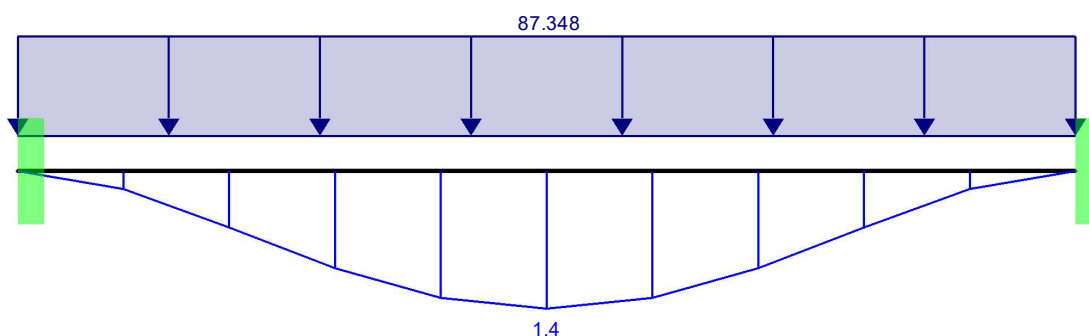
$$E_i = 210 \text{ GPa}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = 1,051 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

q – ekvivalentní spojitě zatížení na oboustranně vetknutém prostém nosníku

$$q = \frac{-12 \cdot M_{Ek,max}}{l^2} = \frac{-12 \cdot (-262,05)}{6^2} = 87,35 \text{ kNm}$$



$$w = 1,4 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 1,4 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

4.3 Posouzení průvlaků přiléhajících ke schodišťovému prostoru

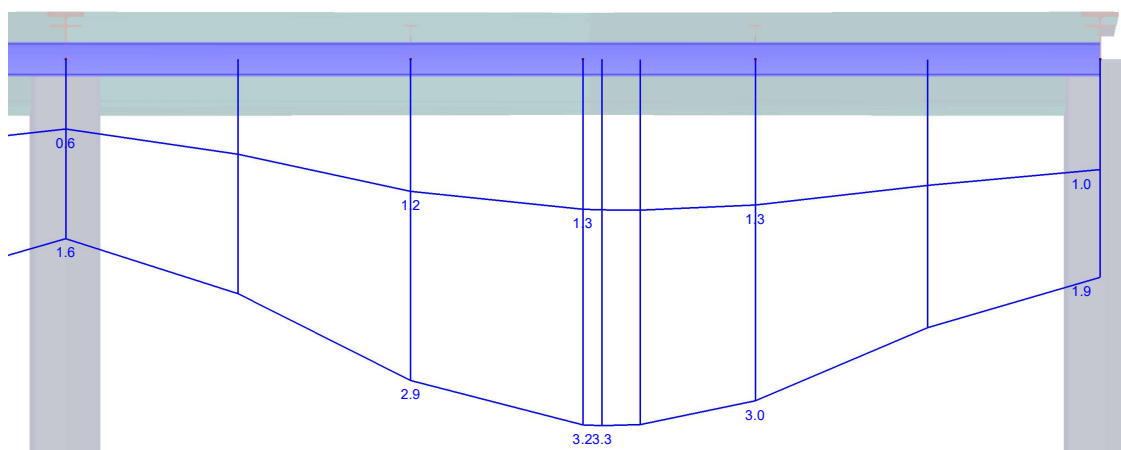
4.3.1 Vetknutý průvlak

Posouzení schodišťových průvlaků spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha C

4.3.1.1 Mezní stav únosnosti

Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
101	IPE 200		
	KV1	$0.49 \leq 1.00$	ST364) Posouzení stability - ohyb a tlak podle 6.3.3. metoda 2

4.3.1.2 Mezní stav použitelnosti



$$w = 3,3 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 3,3 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

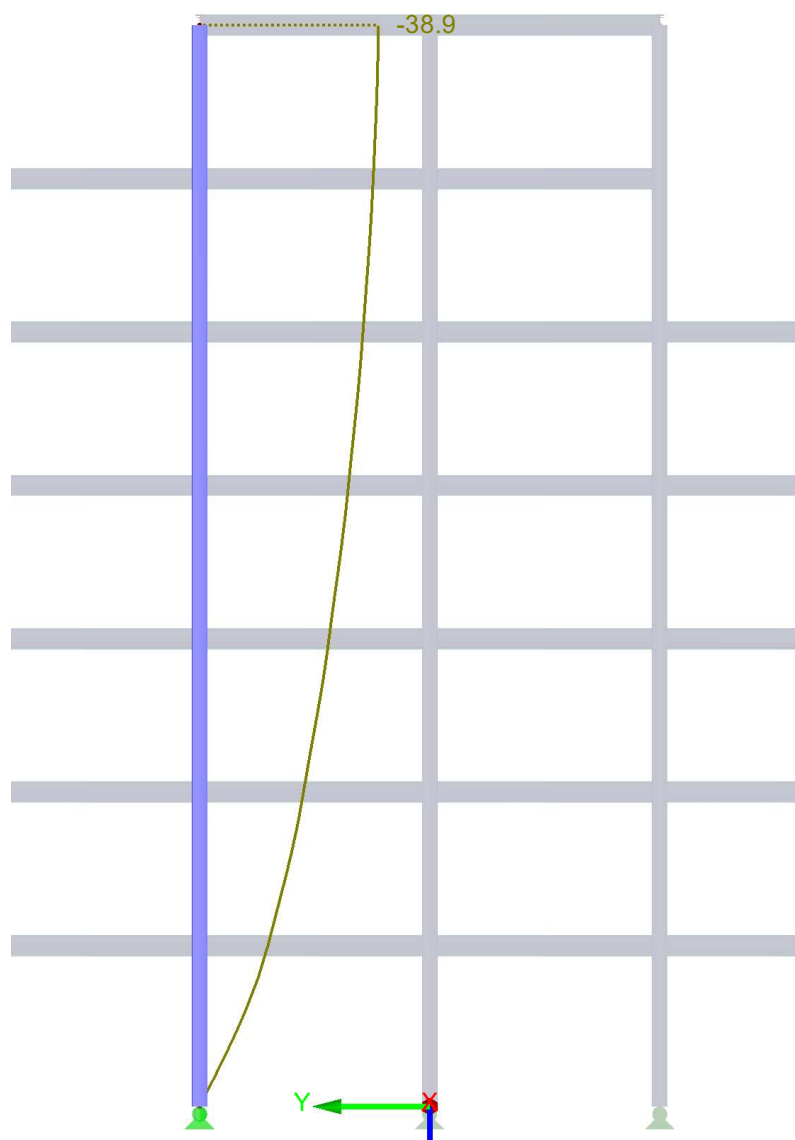
4.4 Posouzení sloupů

Posouzení sloupů bylo spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha D

Pro sloupy byly použity vzpěrné délky, převzaté z modulu RF-STABILITY, kde se zjistily vlastní tvary vybočení konstrukce pro nejméně příznivý zatěžovací stav.

4.4.1.1 Mezní stav únosnosti

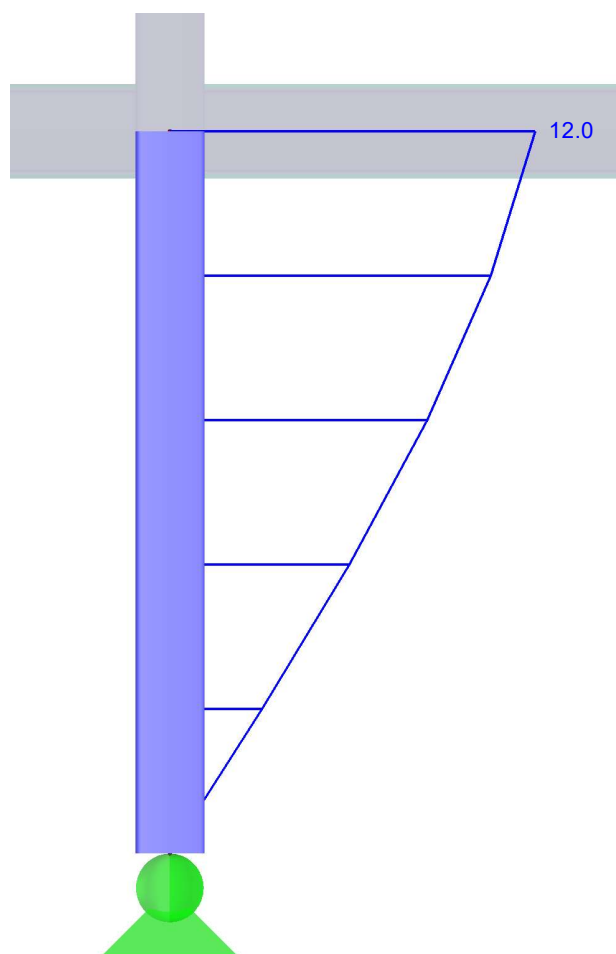
Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
326	QRO 400x20		
	KV1	$0.59 \leq 1.00$	ST364) Posouzení stability - ohyb a tlak podle 6.3.3. metoda 2

4.4.1.2 Mezní stav použitelnosti – globální vodorovný průhyb

$$w_0 = 38,9 \text{ mm}$$

$$w_{lim,0} = \frac{l_0}{500} = \frac{28200}{500} = 56,4 \text{ mm}$$

$$w_0 = 38,9 \text{ mm} \leq w_{lim,0} = 56,4 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

4.4.1.3 Mezní stav použitelnosti – lokální vodorovný průhyb

$$w = 12,0 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{4200}{300} = 14 \text{ mm}$$

$$w_0 = 12,0 \text{ mm} \leq w_{lim,0} = 14,0 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5 Posouzení prutů varianty B

Posouzení jednotlivých prutů bylo provedeno v modulu RF-STEEL EC3.

5.1 Posouzení stropnice

Posouzení sprážených ocelobetonových stropnic bude provedeno ručním výpočtem:

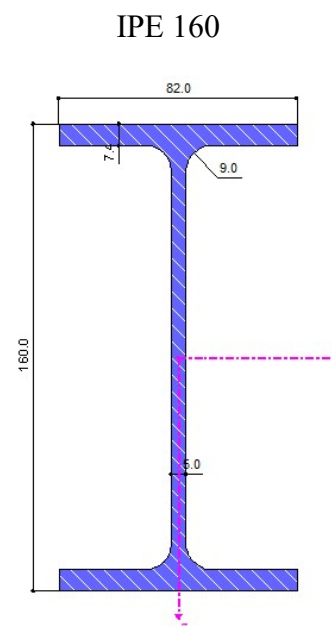
5.1.1 Sprážená střešní stropnice – standardní střecha

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 2,009 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 7,333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 8,693 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 1,087 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 1,239 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 160 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 82 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 5,0 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 7,4 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 9 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

5.1.1.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od levé stropnice: $B_l = 2 \text{ m}$

Osová vzdálenost od pravé stropnice: $B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

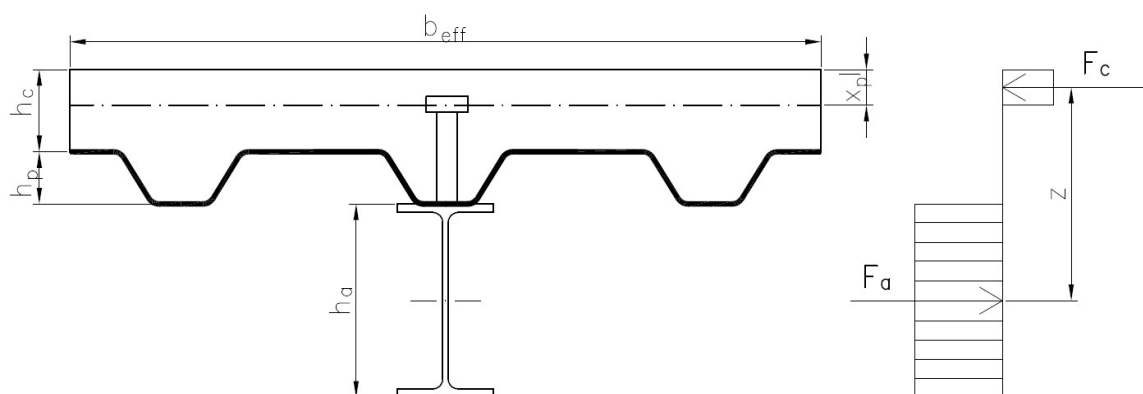
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 2,009 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0185 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen



Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 64,14 \text{ kNm}$$

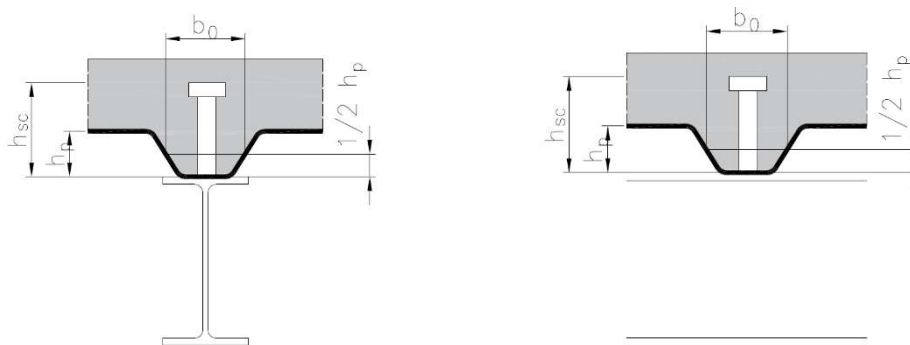
Prut číslo 70, kombinace výsledků 1

$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,16 + 0,0485 - \frac{0,0185}{2} - \frac{0,16}{2} = 0,1958 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,1958 = 92,44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{64,14}{92,44} = 0,69 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 472,12 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu: $d = 19 \text{ mm}$

Mez pevnosti trnu: $f_u = 450 \text{ MPa}$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu: $h_{sc} = 91 \text{ mm}$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu: $n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{472,12}{81,66} = 5,78 \rightarrow 6$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 7$$

$$7 \geq 6 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 42,40 \text{ kN}$$

Prut číslo 70, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7,333 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 99,49 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{42,20}{99,49} = 0,43 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.1.1.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 45,33 \text{ kNm}$$

Prut číslo 70, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 160

Výška stropnice:

$$h_a = 160 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 2,009 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 8,693 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 2,009 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,080 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 0,205 = 4,118 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 4,118 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 7,463 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{7,463 \cdot 10^{-4}}{1,080 \cdot 10^{-2}} = 0,0691 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 8,693 \cdot 10^{-6} + 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1359^2 = 4,580 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0309^2 = 1,652 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 4,580 \cdot 10^{-5} + \frac{1,652 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 5,838 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 45,330}{6^2} = 10,07 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,07 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 5,838 \cdot 10^{-5}} = 0,0139 \text{ m} \rightarrow 13,9 \text{ mm}$$

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

$$w = 13,9 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.1.2 Sprážená střešní stropnice – vegetační střecha

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Smyková plocha: $A_v = 1,915 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Moment setrvačnosti: $I_{a,y} = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Moduly průřezu: $W_{a,y} = 3,243 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$W_{a,y,pl} = 3,666 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Geometrie průřezu:

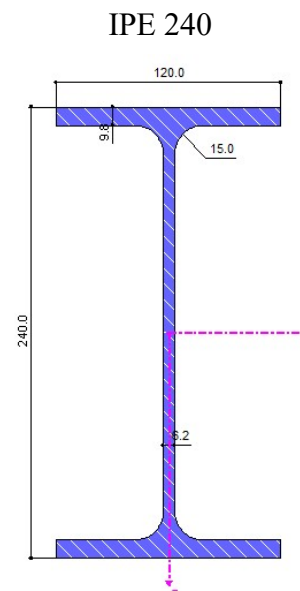
Výška průřezu: $h_a = 240 \text{ mm}$

Šířka průřezu: $b_a = 120 \text{ mm}$

Tloušťka stojiny: $t_w = 6,2 \text{ mm}$

Tloušťka pásnic: $t_f = 9,8 \text{ mm}$

Poloměr zaoblení: $r = 15 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E_a = 210 \text{ GPa}$ **Materiálové charakteristiky – beton:**

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

5.1.2.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od levé stropnice: $B_l = 2 \text{ m}$ Osová vzdálenost od pravé stropnice: $B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

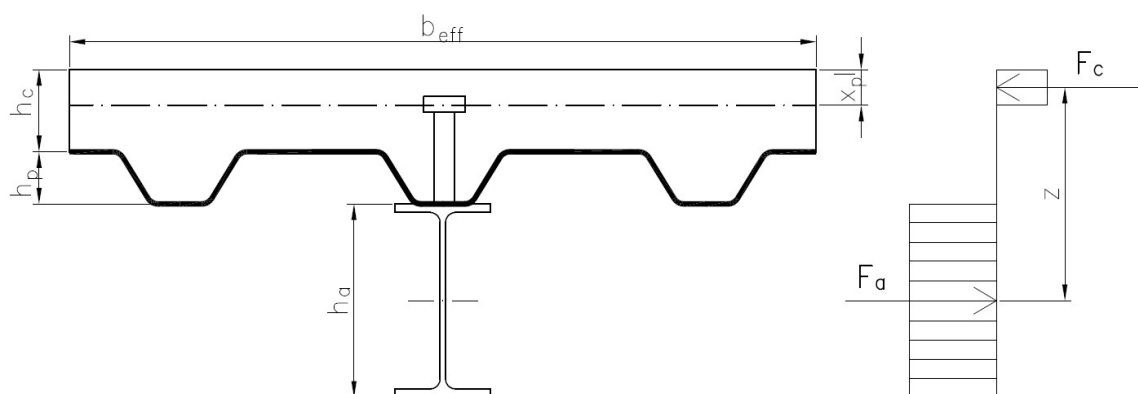
Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$ Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$ Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$ **Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:**

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 3,912 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0361 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

**Posouzení na ohyb:**

$$\max M_{Ed} = 142,83 \text{ kNm}$$

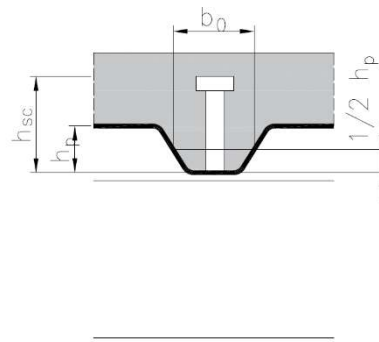
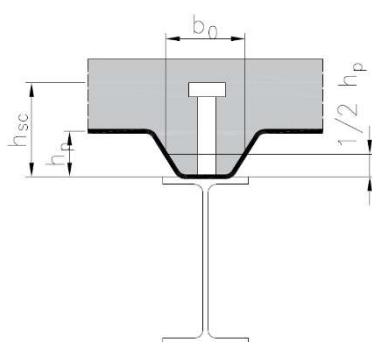
Prut číslo 680, kombinace výsledků 1

$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,24 + 0,0485 - \frac{0,0361}{2} - \frac{0,24}{2} = 0,2270 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2270 = 208,69 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{142,83}{208,69} = 0,69 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 919,32 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu: $h_{sc} = 91 \text{ mm}$
 $l = 100 \text{ mm}$
 $h_{sc} / d = 4,7895$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře: $n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{919,32}{81,66} = 11,26 \rightarrow 12$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 12$$

$$12 \geq 12 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 99,78 \text{ kN}$$

Prut číslo 904, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,915 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 259,80 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{95,16}{259,780} = 0,37 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.1.2.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 97,78 \text{ kNm}$$

Prut číslo 680, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 240

Výška stropnice:

$$h_a = 240 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 3,912 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,270 \cdot 10^{-2} m^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,245 = 9,584 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 9,584 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,293 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,293 \cdot 10^{-3}}{1,270 \cdot 10^{-2}} = 0,1018 m$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 3,892 \cdot 10^{-5} + 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1432^2 = 1,191 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,11475 \cdot 0,06356^2 = 5,194 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 1,191 \cdot 10^{-4} + \frac{5,194 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 1,587 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 97,78}{6^2} = 21,76 kN/m$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{21,76 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,587 \cdot 10^{-4}} = 0,011 m \rightarrow 11,0 mm$$

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

$$w = 11,0 mm \leq w_{lim} = 24 mm \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

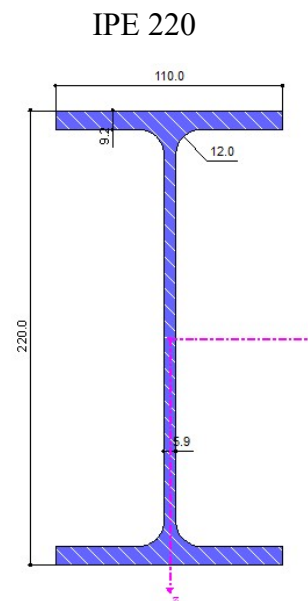
5.1.3 Spřažená stropnice – typické podlaží

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 3,337 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 1,588 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 2,772 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 2,520 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 2,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 220 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 110 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 5,9 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 9,2 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 12 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

5.1.3.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levé stropnice:	$B_l = 2 \text{ m}$
Osová vzdálenost od pravé stropnice:	$B_p = 2 \text{ m}$
Účinná šířka betonové pásnice:	

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

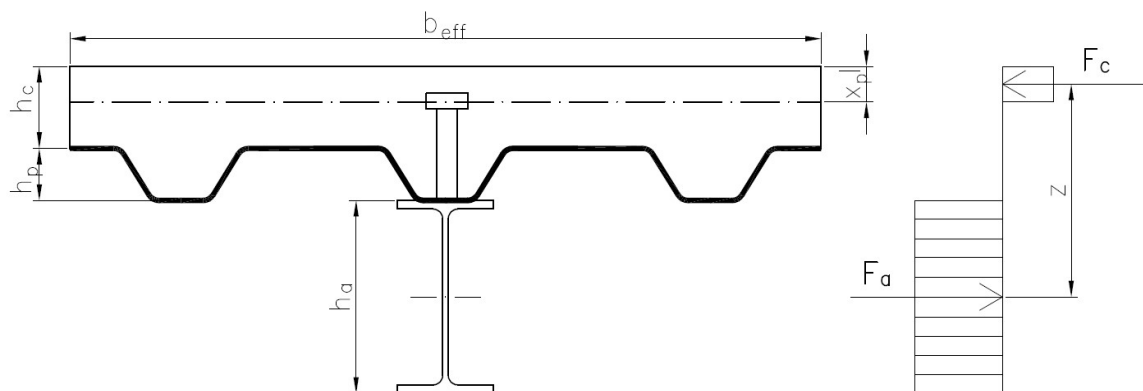
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 3,337 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0308 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen



Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 115,45 \text{ kNm}$$

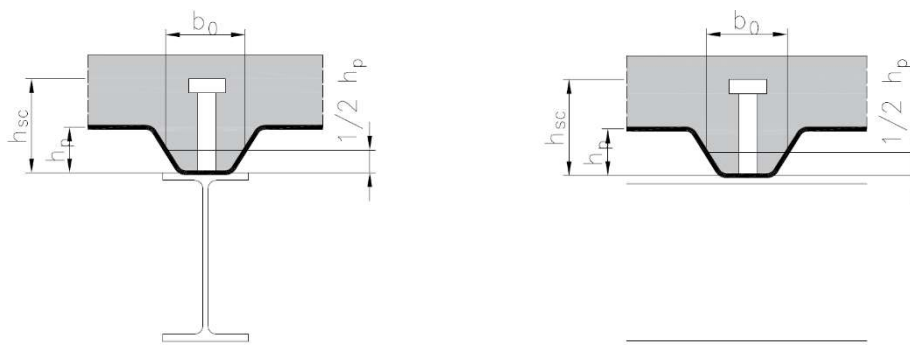
Prut číslo 513, kombinace výsledků 1

$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,22 + 0,0485 - \frac{0,0308}{2} - \frac{0,22}{2} = 0,2196 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 3,337 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2196 = 172,21 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{115,45}{172,21} = 0,67 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 3,337 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 784,20 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{784,20}{81,66} = 9,60 \rightarrow 10$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 12$$

$$12 \geq 10 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 78,14 \text{ kN}$$

Prut číslo 513, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,588 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 215,47 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{78,14}{215,47} = 0,36 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.1.3.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 80,93 \text{ kNm}$$

Prut číslo 513, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

$$\text{Účinná šířka betonové desky:} \quad b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

$$\text{Tloušťka betonové desky:} \quad h_c = 76,5 \text{ mm}$$

$$\text{Výška žebra trapézového plechu:} \quad h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

$$\text{Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:} \quad I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 200

$$\text{Výška stropnice:} \quad h_a = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Průřezová plocha stropnice:} \quad A_a = 3,337 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:} \quad I_a = 2,772 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 3,337 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,210 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 3,337 \cdot 10^{-3} \cdot 0,235 = 7,842 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 7,842 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,119 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,119 \cdot 10^{-3}}{1,210 \cdot 10^{-2}} = 0,0925 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 2,772 \cdot 10^{-5} + 3,337 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1426^2 = 9,553 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0542^2 = 3,931 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 9,553 \cdot 10^{-5} + \frac{3,931 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 1,255 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 80,93}{6^2} = 17,98 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{17,98 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,255 \cdot 10^{-4}} = 0,0115 \text{ m} \rightarrow 11,5 \text{ mm}$$

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

$$w = 11,5 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

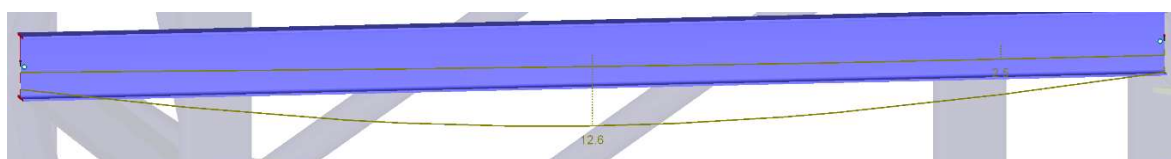
5.1.4 Prostá stropnice – v oblasti schodišťového prostoru

Posouzení schodišťové stropnice bylo spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha E

5.1.4.1 Mezní stav únosnosti

Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
999	IPE 330		
	KV1	$0.90 \leq 1.00$	ST364) Posouzení stability - ohyb a tlak podle 6.3.3. metoda 2

5.1.4.2 Mezní stav použitelnosti



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

$$w = 12,6 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.2 Posouzení průvlaků

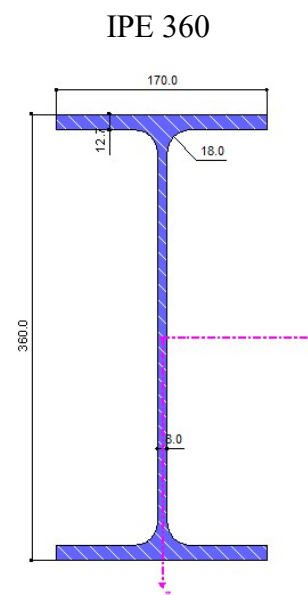
5.2.1 Spřažený střešní průvlak – vegetační střecha

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 7,273 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 3,514 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 1,627 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 9,036 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 1,019 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 360 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 170 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 8,0 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 12,7 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 18 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

5.2.1.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levého průvlaku:	$B_l = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od pravého průvlaku:	$B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

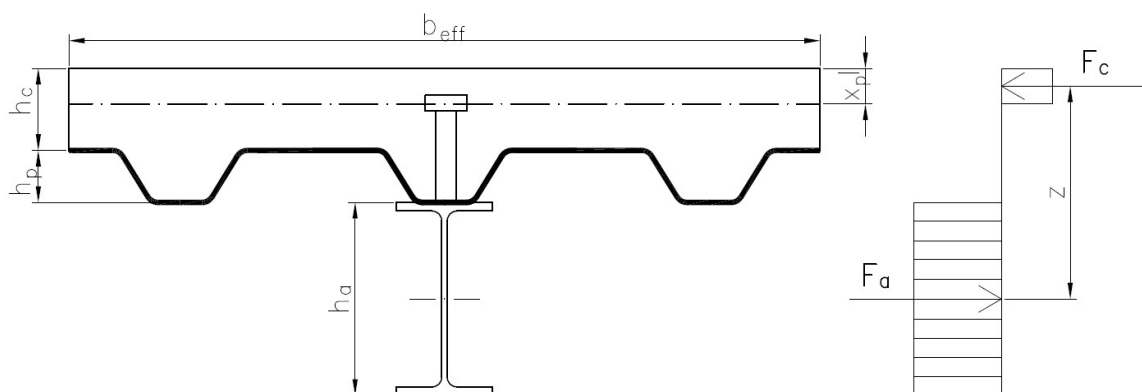
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 7,273 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0670 \text{ m}$$

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen



Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 383,21 \text{ kNm}$$

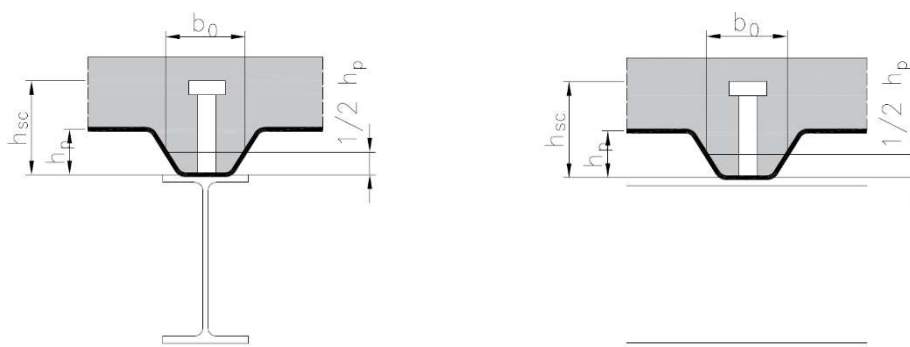
Prut číslo 445, kombinace výsledků 1

$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,36 + 0,0485 - \frac{0,0670}{2} - \frac{0,36}{2} = 0,2715 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2715 = 464,04 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{383,21}{464,04} = 0,83 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1709,16 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně k ose nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1709,16}{74,36} = 22,99 \rightarrow 23$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 24$$

$$24 \geq 23 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 191,82 \text{ kN}$$

Prut číslo 445, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,514 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 476,74 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{191,82}{476,74} = 0,40 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.2.1.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 267,82 \text{ kNm}$$

Prut číslo 445, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

$$\text{Účinná šířka betonové desky:} \quad b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

$$\text{Tloušťka betonové desky:} \quad h_c = 76,5 \text{ mm}$$

$$\text{Výška žebra trapézového plechu:} \quad h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

$$\text{Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:} \quad I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 360

$$\text{Výška průvlaku:} \quad h_a = 360 \text{ mm}$$

$$\text{Průřezová plocha průvlaku:} \quad A_a = 7,273 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:} \quad I_a = 1,627 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 7,273 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,600 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 0,305 = 2,218 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 2,218 \cdot 10^{-3} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 2,553 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{2,553 \cdot 10^{-3}}{1,600 \cdot 10^{-2}} = 0,1595 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,627 \cdot 10^{-4} + 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1455^2 = 3,166 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,1213^2 = 1,744 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 3,166 \cdot 10^{-4} + \frac{1,744 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 4,495 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{131,48 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 4,495 \cdot 10^{-4}} = 0,0109 \text{ m} \rightarrow 10,9 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 10,9 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

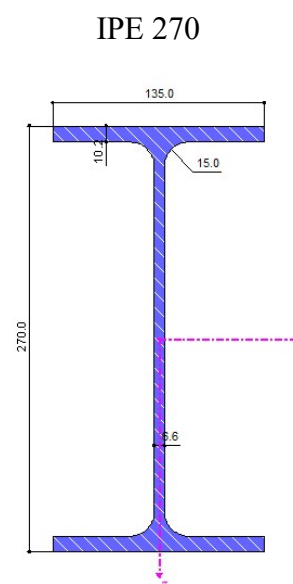
5.2.2 Sprážený střešní průvlak – standardní střecha

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 2,300 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 4,289 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 4,840 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 270 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 135 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 6,6 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 10,2 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 15 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

5.2.2.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od levého průvlaku: $B_l = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od pravého průvlaku: $B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

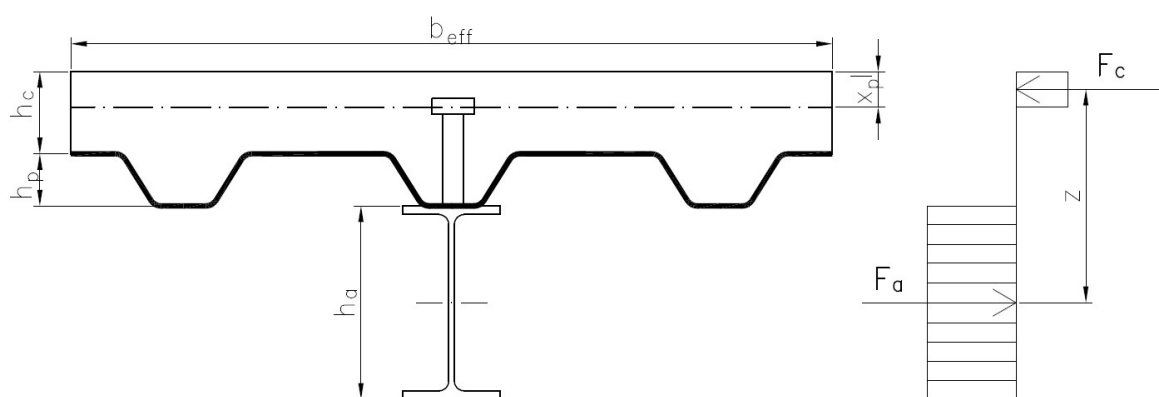
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 4,595 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0423 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen



Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 168,25 \text{ kNm}$$

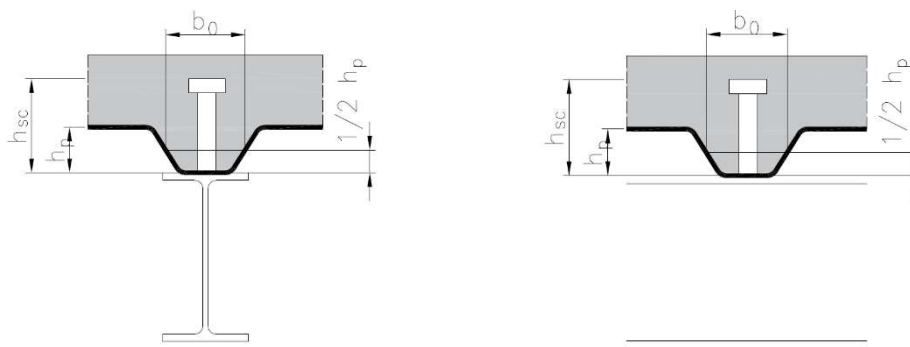
Prut číslo 375, kombinace výsledků 1

$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,27 + 0,0485 - \frac{0,0423}{2} - \frac{0,27}{2} = 0,2389 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2389 = 257,97 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{168,25}{257,97} = 0,65 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1079,83 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně k ose nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,656 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1079,83}{74,36} = 14,52 \rightarrow 15$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 16$$

$$16 \geq 15 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 78,14 \text{ kN}$$

Prut číslo 375, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,300 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 312,03 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{78,14}{312,03} = 0,25 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.2.2.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 120,05 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 60,28 \text{ kN}$$

Prut číslo 375, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 270

Výška průvlaku:

$$h_a = 270 \text{ mm}$$

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 4,595 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,330 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 0,260 = 1,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 1,195 \cdot 10^{-3} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,529 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,529 \cdot 10^{-3}}{1,330 \cdot 10^{-2}} = 0,1150 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 5,790 \cdot 10^{-5} + 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1450^2 = 1,545 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0767^2 = 7,314 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 1,545 \cdot 10^{-5} + \frac{7,314 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 2,103 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{78,14 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 2,103 \cdot 10^{-4}} = 0,0105 \text{ m} \rightarrow 10,5 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 10,5 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

5.2.3 Sprážený stropní průvlak – standardní podlaží

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A_a = 6,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Smyková plocha: $A_v = 3,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Moment setrvačnosti: $I_{a,y} = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Moduly průřezu: $W_{a,y} = 7,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$W_{a,y,pl} = 8,043 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Geometrie průřezu:

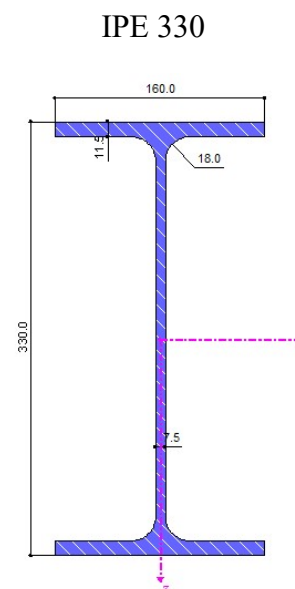
Výška průřezu: $h_a = 330 \text{ mm}$

Šířka průřezu: $b_a = 160 \text{ mm}$

Tloušťka stojiny: $t_w = 7,5 \text{ mm}$

Tloušťka pásnic: $t_f = 11,5 \text{ mm}$

Poloměr zaoblení: $r = 18 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E_a = 210 \text{ GPa}$ **Materiálové charakteristiky – beton:**

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

5.2.3.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od levého průvlaku: $B_l = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od pravého průvlaku: $B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

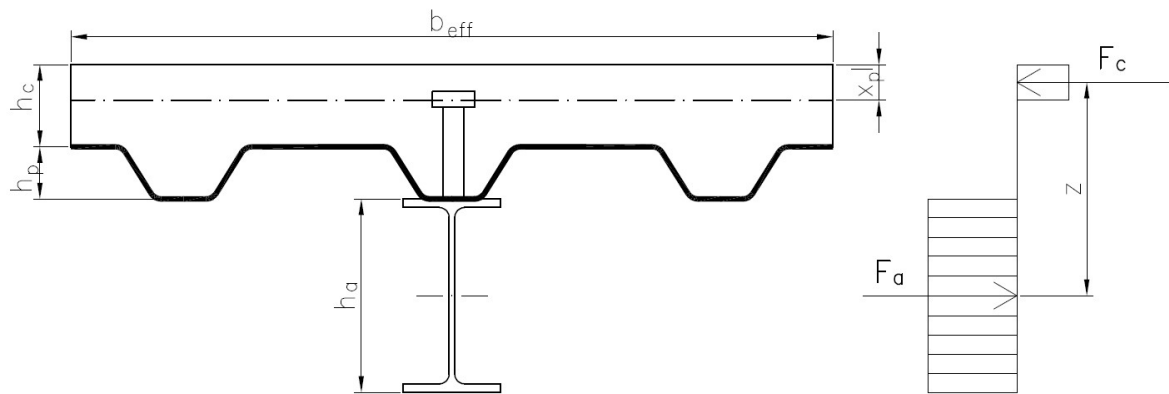
Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$ Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$ Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$ **Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:**

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 6,261 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0577 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

**Posouzení na ohyb:**

$$\max M_{ed} = 286,08 \text{ kNm}$$

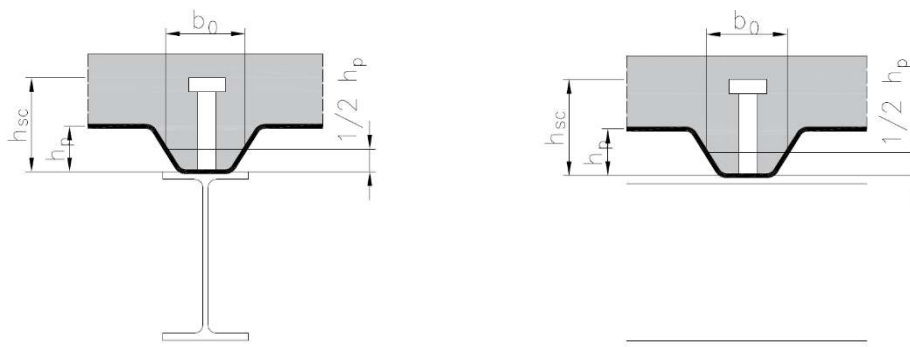
Prut číslo 300, kombinace výsledků 1

$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,33 + 0,0485 - \frac{0,0577}{2} - \frac{0,33}{2} = 0,2612 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2612 = 384,313 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{286,08}{384,31} = 0,74 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1471,34 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu: $f_u = 450 \text{ MPa}$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu: $h_{sc} = 91 \text{ mm}$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře: $n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně k ose nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1471,34}{74,36} = 19,79 \rightarrow 20$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 22$$

$$22 \geq 20 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 143,52 \text{ kN}$$

Prut číslo 300, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,081 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 418,06 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{143,52}{418,06} = 0,34 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.2.3.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 201,30 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 101,01 \text{ kN}$$

Prut číslo 300, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 330

Výška průvlaku:

$$h_a = 330 \text{ mm}$$

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 6,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 6,261 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,500 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2900 = 1,816 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,03825 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 1,816 \cdot 10^{-3} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 2,150 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{2,150 \cdot 10^{-3}}{1,500 \cdot 10^{-2}} = 0,1433 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,177 \cdot 10^{-4} + 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1467^2 = 2,524 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,1051^2 = 1,323 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 2,524 \cdot 10^{-4} + \frac{1,323 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 3,532 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{101,01 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 3,532 \cdot 10^{-4}} = 0,0104 \text{ m} \rightarrow 10,4 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 10,4 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.2.4 Stropní průvlak prostě uložený – přiléhající ke schodišťovému prostoru

Posouzení schodišťových průvlaků spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha E

5.2.4.1 Mezní stav únosnosti

Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
999	IPE 270		
	KV1	$0.62 \leq 1.00$	ST364) Posouzení stability - ohyb a tlak podle 6.3.3. metoda 2

5.3 Posouzení sloupů

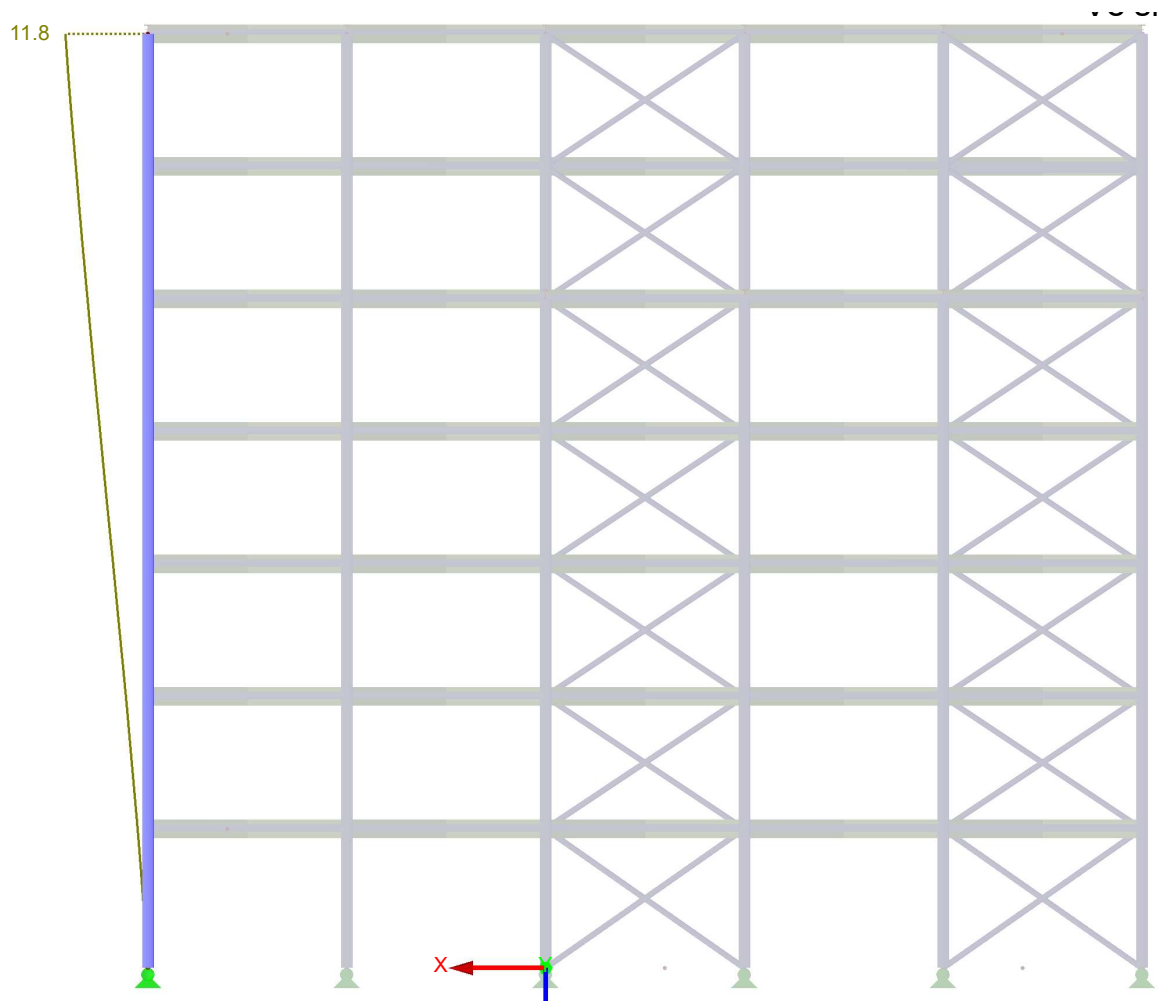
Posouzení sloupů bylo spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha F

Pro sloupy byly použity vzpěrné délky, převzaté z modulu RF-STABILITY, kde se zjistily vlastní tvary vybočení konstrukce pro nejméně příznivý zatěžovací stav.

5.3.1.1 Mezní stav únosnosti

Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
7	PRO 350x250x16		
	KV1	$0.73 \leq 1.00$	ST364) Posouzení stability - ohyb a tlak podle 6.3.3. metoda 2

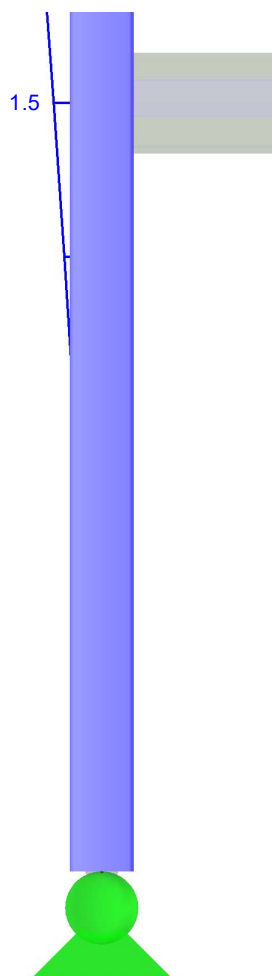
5.3.1.2 Mezní stav použitelnosti – globální vodorovný průhyb



$$w_0 = 11,8 \text{ mm}$$

$$w_{lim,0} = \frac{l_0}{500} = \frac{28200}{500} = 56,4 \text{ mm}$$

$$w_0 = 11,8 \text{ mm} \leq w_{lim,0} = 56,4 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.3.1.3 Mezní stav použitelnosti – lokální vodorovný průhyb

$$w = 12,0 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{300} = \frac{4200}{300} = 14 \text{ mm}$$

$$w_0 = 1,5 \text{ mm} \leq w_{lim,0} = 14,0 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

5.4 Posouzení ztužidel

5.4.1 Stěnové ztužidlo

Posouzení sloupů bylo spočítáno v modulu RF STELL EC3: viz. Příloha G

Pro průběžné ztužidlo jsou použity součinitelé vzpěrné délky $l_{cr,y(z)} = 1,0 \cdot l$. Ztužidlo připojené má menší moment setrvačnosti a tím i tuhost spoje $l_{cr,y(z)} = 0,5 \cdot l$.

5.4.1.1 Mezní stav únosnosti

Prut číslo	Kombinace zatížení	Návrhové využití	Rozhodující posouzení dle vzorce
1266	PRO 350x250x16		
	KV1	$0.73 \leq 1.00$	ST364) Posouzení stability – vzpěr okolo y podle 6.3.1.1 a 6.3.1.2

6 Posouzení vhodnosti variant

6.1 Varianta A – spotřeba oceli

KONSTRUKČNÍ PRVEK	POUŽITÉ PROFILY	CELKOVÁ DÉLKA PRUTŮ [m]	OBJEM MATERIÁLU [m³]	HMOTNOST POUŽITÉHO MATERIÁLU [kg]
Stropnice	IPE 140 IPE 200 IPE 240 IPE 400	2838.0	14.233	111729.1
Průvlaky	IPE 500	1176.0	12.852	100888.2
Sloupy	QRO 400x20	959.6	28.788	225985.8
Svary	Odhad 2% z použitého materiálu			8772.061
Tuhé rámové přípoje	Odhad 3% z použitého materiálu			13158.1
Celková hmotnost konstrukční oceli				460533.2

Na variantu A je zapotřebí přibližně 460,5 tun. Značná část oceli, necelých 226 tun je zapotřebí na nosné sloupy, které jsou velice masivní a to především z důvodu velkých vodorovných deformací konstrukce. Konstrukce sloupů v této variantě představuje téměř 50% spotřeby oceli. Stropnice a průvlaky, které tvoří tuhé rámové vazby musí být z masivnějších profilů z důvodu zajištění dostatečné tuhosti přípojů, i kvůli zajištění mezního stavu únosnosti, kdy při záporném ohybovém momentu není tlačené pásnici zabráněno vybočení a průřez je náchylný na klopení. Klopení snižuje únosnost profilu a je tedy nutné používat masivnější profily. Tato varianta bude náročná z hlediska provádění a značná bude i časová náročnost. Rámové přípoje jsou náročné na výrobu a budou prodrazovat celou stavbu.

6.2 Varianta B – spotřeba oceli

KONSTRUKČNÍ PRVEK	POUŽITÉ PROFILY	CELKOVÁ DÉLKA PRUTŮ [m]	OBJEM MATERIÁLU [m³]	HMOTNOST POUŽITÉHO MATERIÁLU [kg]
Stropnice	IPE 160 IPE 270 IPE 240 IPE 330	2838.0	9.154	71858.9
Průvlaky	IPE 270 IPE 330 IPE 360	1176.0	7.051	55350.4
Sloupy	QRO 350x250x1 6	959.6	17.177	134839.5
Ztužidla	RO 177.8x12.5	809.4	5.253	41236.1
Svary	Odhad 2% z použitého materiálu			6065.695
Celková hmotnost konstrukční oceli				309350.4

Varianta B vychází na spotřebu oceli výrazně lépe než první varianta. 309,4 tun znamená přibližně 33% úsporu konstrukční oceli oproti variantě A. Výrazná úspora je zde dosažena především dimenzí průvlaků, které nemusí být tak masivní z důvodu tvoření tuhých vazeb, jelikož jsou zde přenášeny vodorovné účinky pomocí příhradového ztužení. Velikou předností příhradového ztužení je jeho tuhost, tím pádem je možné ušetřit oproti první variantě dostatek materiálu na ostatních konstrukčních částech. Použity jsou masivní trubky kruhového průřezu, které jsou dimenzovány na přenos osových sil, jejich hmotnost se pohybuje okolo 41,2 tun. I přes výraznou hmotnost materiálu pro konstrukci ztužidel jde o řešení, které uspoří velikou část materiálu a navíc zajistí v porovnání s variantou A nejméně dvojnásobně menší deformace celé konstrukce ve vodorovném směru. V této variantě jsou přípoje stropnic a průvlaků řešeny jako kloubové, což znamená daleko menší časovou náročnost a pracnost při přípravě konstrukčních prvků. Z porovnání variant vyplývá, že výhodnější je z pohledu pracnosti, časové náročnosti i spotřeby oceli varianta B. Tyto skutečnosti jasně naznačují ekonomickou efektivnost varianty B oproti variantě s tuhými rámovými vazbami a bude proto podrobně zpracována.



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

D - STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Cejpek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVAN BALÁZS, Ph.D.

BRNO 2018

Obsah:

1	Úvod	1
1.1	Poznámky k modelu objektu.....	1
1.1.1	Návrh ekvivalentní příhradové soustavy	2
2	Geometrie	4
2.1	Schématický půdorys	4
2.2	Schématický pohled A-A‘	5
2.3	Schématický pohled B-B‘	5
2.4	Axonometrie	6
3	Umístění stavby	7
3.1	Situace širších vztahů.....	7
3.2	Vyznačení objektu v mapě.....	8
4	Zatížení	9
4.1	ZS1 – Vlastní tíha	9
4.2	ZS2 – Ostatní stálé zatížení	9
4.2.1	Zatížení od souvrství typické střechy	9
4.2.2	Zatížení do souvrství vegetační střechy	10
4.2.3	Zatížení od souvrství podlahy na typickém podlaží	11
4.2.4	Zatížení od souvrství podlahy nad arkýřovou částí objektu	12
4.2.5	Zatížení od prosklené fasády	13
4.3	ZS3 – Proměnné zatížení	13
4.3.1	Rozdělení budovy na 3 části pro účely klimatických zatížení.....	15
4.3.1.1	Část budovy 1	15
4.3.1.2	Část budovy 2	15
4.3.1.3	Část budovy 3	16
4.4	ZS4 – Sníh plný	16

4.5	ZS5 – Sníh navátý.....	17
4.5.1	Část budovy číslo 1	17
4.5.2	Část budovy číslo 3	18
4.6	ZS6, ZS7 – Vítr podélný 1 (+ ; -)	20
4.7	ZS8, ZS9 – Vítr podélný 2 (+ ; -)	20
4.7.1	Zatížení svislých stěn:	23
4.7.1.1	Část budovy 1	25
4.7.1.2	Část budovy 2	26
4.7.1.3	Část budovy 3	27
4.7.1.4	Podélná stěna u podélného větru.....	27
4.7.2	Zatížení střešní konstrukce:	28
4.7.2.1	Část budovy 1	29
4.7.2.2	Část budovy 2	30
4.7.2.3	Část budovy 3	30
4.8	ZS10, ZS11 – Vítr příčný 1 (+ ; -)	31
4.9	ZS12, ZS13 – Vítr příčný 2 (+ ; -)	31
4.9.1	Zatížení svislých stěn	31
4.9.2	Zatížení střešní konstrukce	32
	Rozdělení intenzity zatížení stěn v závislosti na výšce:	32
4.9.2.1	Část budovy 1	33
4.9.2.2	Část budovy 2	34
4.9.2.3	Část budovy 3	35
5	Kombinace zatížení	35
6	Návrh a posouzení hlavní nosné konstrukce	36
6.1	Posouzení trapézových plechů.....	36
6.1.1	Trapézový plech stropní konstrukce – administrativní část	36

6.1.2	Posouzení v montážním stavu	37
6.1.2.1	Mezní stav únosnosti	37
6.1.2.2	Mezní stav použitelnosti	38
6.2	Posouzení stropnic	39
6.2.1	Spřažená střešní stropnice – typická střecha – krajní stropnice	40
6.2.1.1	Mezní stav únosnosti	40
6.2.1.2	Mezní stav použitelnosti	44
6.2.2	Spřažená střešní stropnice – vegetační střecha – krajní stropnice.....	46
6.2.2.1	Mezní stav únosnosti	46
6.2.2.2	Mezní stav použitelnosti	50
6.2.3	Spřažená stropnice – typické podlaží – krajní stropnice	52
6.2.3.1	Mezní stav únosnosti	52
6.2.3.2	Mezní stav použitelnosti	56
6.2.4	Spřažená střešní stropnice – standardní střecha – mezilehlá stropnice	58
6.2.4.1	Mezní stav únosnosti	58
6.2.4.2	Mezní stav použitelnosti	62
6.2.5	Spřažená střešní stropnice – vegetační střecha – mezilehlá stropnice.....	63
6.2.5.1	Mezní stav únosnosti	64
6.2.5.2	Mezní stav použitelnosti	68
6.2.6	Spřažená stropnice – typické podlaží – mezilehlá stropnice	69
6.2.6.1	Mezní stav únosnosti	70
6.2.6.2	Mezní stav použitelnosti	74
6.3	Posouzení průvlaků.....	76
6.3.1	Spřažený střešní průvlak– typická střecha – krajní průvlak	77
6.3.1.1	Mezní stav únosnosti	77
6.3.1.2	Mezní stav použitelnosti	81

6.3.2	Spřažený střešní průvlak– vegetační střecha – krajní průvlak	82
6.3.2.1	Mezní stav únosnosti	83
6.3.2.2	Mezní stav použitelnosti	87
6.3.3	Spřažený průvlak– typické podlaží – krajní průvlak	88
6.3.3.1	Mezní stav únosnosti	89
6.3.3.2	Mezní stav použitelnosti	93
6.3.4	Spřažený střešní průvlak – typická střecha – mezilehlý průvlak	94
6.3.4.1	Mezní stav únosnosti	95
6.3.4.2	Mezní stav použitelnosti	99
6.3.5	Spřažený střešní průvlak – vegetační střecha – mezilehlý průvlak	100
6.3.5.1	Mezní stav únosnosti	101
6.3.5.2	Mezní stav použitelnosti	105
6.3.6	Spřažený průvlak – typické podlaží – mezilehlý průvlak	106
6.3.6.1	Mezní stav únosnosti	107
6.3.6.2	Mezní stav použitelnosti	111
6.4	Posouzení nosníků přiléhajících ke schodišťovému prostoru	112
6.4.1	Nosník přiléhající ke schodišťovému prostoru – 1	114
6.4.1.1	Mezní stav únosnosti	114
6.4.1.2	Mezní stav použitelnosti	120
6.4.2	Nosník přiléhající ke schodišťovému prostoru – 2	120
6.4.2.1	Mezní stav únosnosti	120
6.4.2.2	Mezní stav použitelnosti	122
6.4.3	Nosník umístěný uprostřed schodišťového prostoru – 3	123
6.4.3.1	Mezní stav únosnosti	123
6.4.3.2	Mezní stav použitelnosti	128
6.5	Posouzení příhradového ztužení	128

6.5.1	Příhradové ztužidlo 1	129
6.5.1.1	Mezní stav únosnosti	129
6.5.2	Příhradové ztužidlo 2.....	130
6.5.2.1	Mezní stav únosnosti	130
6.6	Posouzení sloupů	132
6.6.1	Posouzení vnitřního sloupu – spodní část	134
6.6.1.1	Mezní stav únosnosti	134
6.6.1.2	Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb	138
6.6.2	Posouzení krajního sloupu – spodní část.....	138
6.6.2.1	Mezní stav únosnosti	138
6.6.2.2	Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb	143
6.6.3	Posouzení vnitřního sloupu – horní část.....	144
6.6.3.1	Mezní stav únosnosti	144
6.6.3.2	Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb	148
6.6.4	Posouzení krajního sloupu – horní část	148
6.6.4.1	Mezní stav únosnosti	148
6.6.4.2	Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb	152
6.7	Ověření únosnosti stropní konstrukce při montážním stavu.....	152
7	Přípoje.....	153
7.1	Kloubový přípoj stropnice na průvlak	153
7.1.1	Svarový přípoj na typické střešní stropnici (přivaření čelní desky)	153
7.1.1.1	Posouzení svaru	154
7.1.1.2	Posouzení šroubů	154
7.1.1.3	Posouzení na smyk.....	154
7.1.1.4	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	155
7.1.2	Svarový přípoj na vegetační střešní stropnici (přivaření čelní desky)	156

7.1.2.1	Posouzení svaru	156
7.1.2.2	Posouzení šroubů	157
7.1.2.3	Posouzení na smyk.....	157
7.1.2.4	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	158
7.1.3	Přípoj na typickou podlažní stropnici (přivaření čelní desky).....	159
7.1.3.1	Posouzení svaru	159
7.1.3.2	Posouzení šroubů	159
7.1.3.3	Posouzení na smyk.....	160
7.2	Kloubový přípoj stropnice na sloup.....	161
7.2.1	Přípoj na sloup pro krajní, typickou střešní stropnici.....	161
7.2.1.1	Posouzení svaru	161
7.2.1.2	Posouzení šroubů	162
7.2.1.3	Posouzení na smyk.....	162
7.2.1.4	Posouzení únosnosti plechu	163
7.2.1.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	163
7.2.2	Přípoj na sloup pro krajní, vegetační střešní stropnici.....	164
7.2.2.1	Posouzení svaru	164
7.2.2.2	Posouzení šroubů	165
7.2.2.3	Posouzení na smyk.....	165
7.2.2.4	Posouzení únosnosti plechu	166
7.2.2.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	166
7.2.3	Přípoj na sloup pro krajní, typickou podlažní stropnici.....	167
7.2.3.1	Posouzení svaru	167
7.2.3.2	Posouzení šroubů	168
7.2.3.3	Posouzení na smyk.....	168
7.2.3.4	Posouzení únosnosti plechu	169

7.2.4	Přípoj na sloup pro mezilehlou, typickou střešní stropnici	169
7.2.4.1	Posouzení svaru	169
7.2.4.2	Posouzení šroubů	170
7.2.4.3	Posouzení na smyk.....	170
7.2.4.4	Posouzení únosnosti plechu	171
7.2.5	Přípoj na sloup pro mezilehlou, vegetační střešní stropnici	171
7.2.5.1	Posouzení svaru	172
7.2.5.2	Posouzení šroubů	172
7.2.5.3	Posouzení na smyk.....	173
7.2.5.4	Posouzení únosnosti plechu	173
7.2.5.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	174
7.2.6	Přípoj na sloup pro mezilehlou, typickou podlažní stropnici	174
7.2.6.1	Posouzení svaru	174
7.2.6.2	Posouzení šroubů	175
7.2.6.3	Posouzení na smyk.....	176
7.2.6.4	Posouzení únosnosti plechu	176
7.2.6.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	177
7.2.7	Přípoj na sloup pro krajní, typický střešní průvlak.....	178
7.2.7.1	Posouzení svaru	178
7.2.7.2	Posouzení šroubů	179
7.2.7.3	Posouzení na smyk.....	179
7.2.7.4	Posouzení únosnosti materiálu úhelníků.....	180
7.2.7.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	180
7.2.8	Přípoj na sloup pro krajní, vegetační střešní průvlak	181
7.2.8.1	Posouzení svaru	181
7.2.8.2	Posouzení šroubů	182

7.2.8.3	Posouzení na smyk.....	182
7.2.8.4	Posouzení únosnosti materiálu úhelníků.....	183
7.2.8.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	183
7.2.9	Přípoj na sloup pro krajní, typický podlažní průvlak	184
7.2.9.1	Posouzení svaru	184
7.2.9.2	Posouzení šroubů	185
7.2.9.3	Posouzení na smyk.....	185
7.2.9.4	Posouzení únosnosti materiálu úhelníků.....	186
7.2.9.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	186
7.2.10	Přípoj na sloup pro mezilehlý, typický střešní průvlak	187
7.2.10.1	Posouzení svaru	187
7.2.10.2	Posouzení šroubů	188
7.2.10.3	Posouzení na smyk.....	188
7.2.10.4	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	189
7.2.10.5	Posouzení únosnosti materiálu úhelníků.....	189
7.2.11	Přípoj na sloup pro mezilehlý, vegetační střešní průvlak.....	190
7.2.11.1	Posouzení svaru	190
7.2.11.2	Posouzení šroubů	191
7.2.11.3	Posouzení na smyk.....	191
7.2.11.4	Posouzení únosnosti materiálu úhelníků.....	192
7.2.11.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	192
7.2.12	Přípoj na sloup pro mezilehlý, typický podlažní průvlak.....	193
7.2.12.1	Posouzení svaru	193
7.2.12.2	Posouzení šroubů	194
7.2.12.3	Posouzení na smyk.....	194
7.2.12.4	Posouzení únosnosti materiálu úhelníků.....	195

7.2.12.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	195
7.2.13	Připojení příhradového ztužidla typu 1 ke sloupu	196
7.2.13.1	Posouzení svaru styčnickového plechu na plech	197
7.2.13.2	Posouzení svaru styčnickového plechu na prut ztužidla	198
7.2.13.3	Posouzení šroubů přípoje diagonály	198
7.2.13.4	Posouzení na smyk.....	198
7.2.13.5	Posouzení materiálu plechu	199
7.2.13.6	Posouzení šroubů přípoje typického podlažního průvlaku	199
7.2.13.7	Posouzení na smyk.....	199
7.2.13.8	Posouzení oslabeného průřezu průvlaku na smyk	200
7.2.13.9	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	200
7.2.14	Připojení příhradového ztužidla typu 2 ke sloupu	201
7.2.14.1	Posouzení svaru styčnickového plechu	202
7.2.14.2	Posouzení svaru styčnickového plechu na prut ztužidla	203
7.2.14.3	Posouzení šroubů přípoje diagonály	203
7.2.14.4	Posouzení na smyk.....	204
7.2.14.5	Posouzení materiálu plechu	204
7.2.14.6	Posouzení na vytržení skupiny šroubů.....	205
7.2.15	Křížení příhradového ztužidla typu 1	206
7.2.15.1	Posouzení svaru styčnickového plechu	206
7.2.16	Křížení příhradového ztužidla typu 2	207
7.2.16.1	Posouzení svaru styčnickového plechu	207
7.2.17	Připojení příhradového ztužidla typu 1 ke sloupu	208
7.2.17.1	Posouzení svaru styčnickového plechu na plech	209
7.2.18	Montážní spoj sloupu	210
8	Kotvení sloupu.....	210

8.1	Kotvení K1.....	210
8.1.1	Návrh a patního plechu.....	211
8.1.2	Přenos vodorovné síly	212
8.1.3	Návrh a posouzení kotevní zarážky.....	213
8.2	Kotvení K2.....	213
8.3	Kotvení K3.....	214

1 Úvod

Výpočet nosné ocelové konstrukce byl proveden v programu RFEM od společnosti Dlubal. V programu byl vymodelován prostorový prutový model, který odpovídá modelu konstrukce vybrané jako výhodnější ve zhodnocení obou variant. Výpočet vnitřních sil a posudky jednotlivých prvků jsou provedeny ve výpočetním programu RFEM 5.10.01. Další použité moduly jsou:

- RF-STEEL EC3
- RF STABILITY

Posouzení jednotlivých prvků je provedeno ručním výpočtem. Všechny konstrukční části jsou vyrobeny z konstrukční oceli S235 JR+AR dle ČSN EN 10025-2.

1.1 Poznámky k modelu objektu

Sloupy jsou uvažovány jako oboustranně kloubově uložené a tuhost je zajištěna systémem příhradových ztužidel. Stropní konstrukce v jednotlivých podlažích je tvořena tuhou železobetonovou deskou, která leží na stropnicích. Deska je spřažena pomocí trnů se stropnicemi i průvlaky. V modelu jsou tyto stropní desky nahrazeny ekvivalentní příhradovou soustavou ve vodorovné rovině. Z důvodů zohlednění tuhosti stropní desky ve vodorovné rovině. Výpočet ekvivalentní příhradové soustavy je proveden na základě virtuálních prací za předpokladu stejné velikosti deformace neboli zkosení u ekvivalentní příhradové soustavy.

Pro vyvolání deformace je zvolena síla $F = 500 \text{ kN}$. Vlastní tíha železobetonové desky je v modelu zadána samostatně a prvky ekvivalentní příhrady jsou vytvořeny z materiálu s charakteristikami převzatými z oceli S235, pouze tíha materiálu je zadána jako nulová. Náhradní příhradovina je v modelu pouze pro upřesnění chování modelu, tyto prvky nebudou použity pro výstavbu samotné konstrukce.

1.1.1 Návrh ekvivalentní příhradové soustavy

Výpočet plochy A prutů příhradové soustavy ve vodorovné rovině jednotlivých podlaží:

Materiálové charakteristiky a základní rozměry - ocel:

$$E_a = 210 \text{ GPa}$$

Materiálové charakteristiky – beton:

$$E_c = 32 \text{ GPa}$$

$$t_c = 91 \text{ mm}$$

$$G_c = 13,33 \text{ GPa}$$

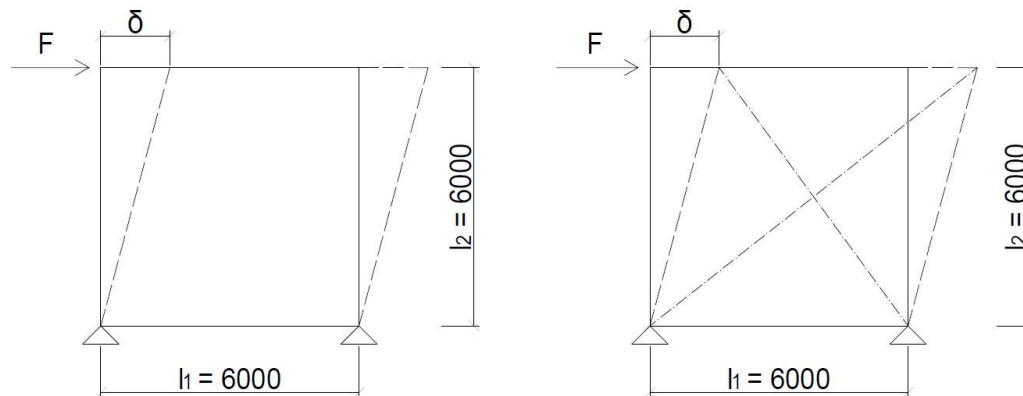
Základní rozměry:

$$l_1 = 6 \text{ m}$$

$$l_2 = 6 \text{ m}$$

$$F = 500 \text{ kN}$$

Předpoklad: $\delta_c = \delta_a$



Obr. 1.1 schéma ekvivalentní příhradové soustavy

Železobetonová deska:

$$\tau = G \cdot \gamma = \frac{F}{l_1 \cdot t_c} \dots \text{smykové napětí}$$

$$\gamma = \frac{\delta_c}{l_2} \dots \text{poměrné zkosení}$$

$$\delta_c = \gamma \cdot l_2$$

$$\gamma = \frac{\tau}{l_2} = \frac{F}{G \cdot l_1 \cdot t}$$

$$\delta_c = \gamma \cdot l_2 = \frac{F \cdot l_2}{G \cdot l_1 \cdot t}$$

Náhradní příhradová soustava:

$$\delta_a = 2 \cdot \frac{N_d \cdot \overline{N_d} \cdot l_d}{E \cdot A}$$

$$N_d = \frac{F}{2 \cdot \cos \alpha}$$

$$\overline{N_d} = \frac{1}{2 \cdot \cos \alpha}$$

$$l_d = \frac{l_1}{\cos \alpha}$$

$$\delta_a = \frac{F \cdot l_1}{2 \cdot \cos^3 \alpha \cdot E \cdot A}$$

$$\cos \alpha = \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + l_2^2}}$$

$$\delta_a = \frac{F \cdot l_1}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \frac{(l_1^2 + l_2^2)^{\frac{3}{2}}}{l_1^2} = \frac{F \cdot (l_1^2 + l_2^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \cdot E \cdot A \cdot l_1^2}$$

$$\delta_c = \gamma \cdot l_2 = \frac{F \cdot l_2}{G \cdot l_1 \cdot t}$$

Potřebná plocha A profilů náhradní příhradové soustavy:

$$A = \frac{G_c \cdot t \cdot (l_1^2 + l_2^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot E_a} = \frac{13\,333 \cdot 0,091 \cdot (6^2 + 6^2)^{\frac{3}{2}}}{2 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 210\,000} = 0,0490 \, m^2 = 49024,8 \, mm^2$$

V jednom řezu se nacházejí dva pruty příhradoviny, tudíž plocha profilu $A_1 = A/2$

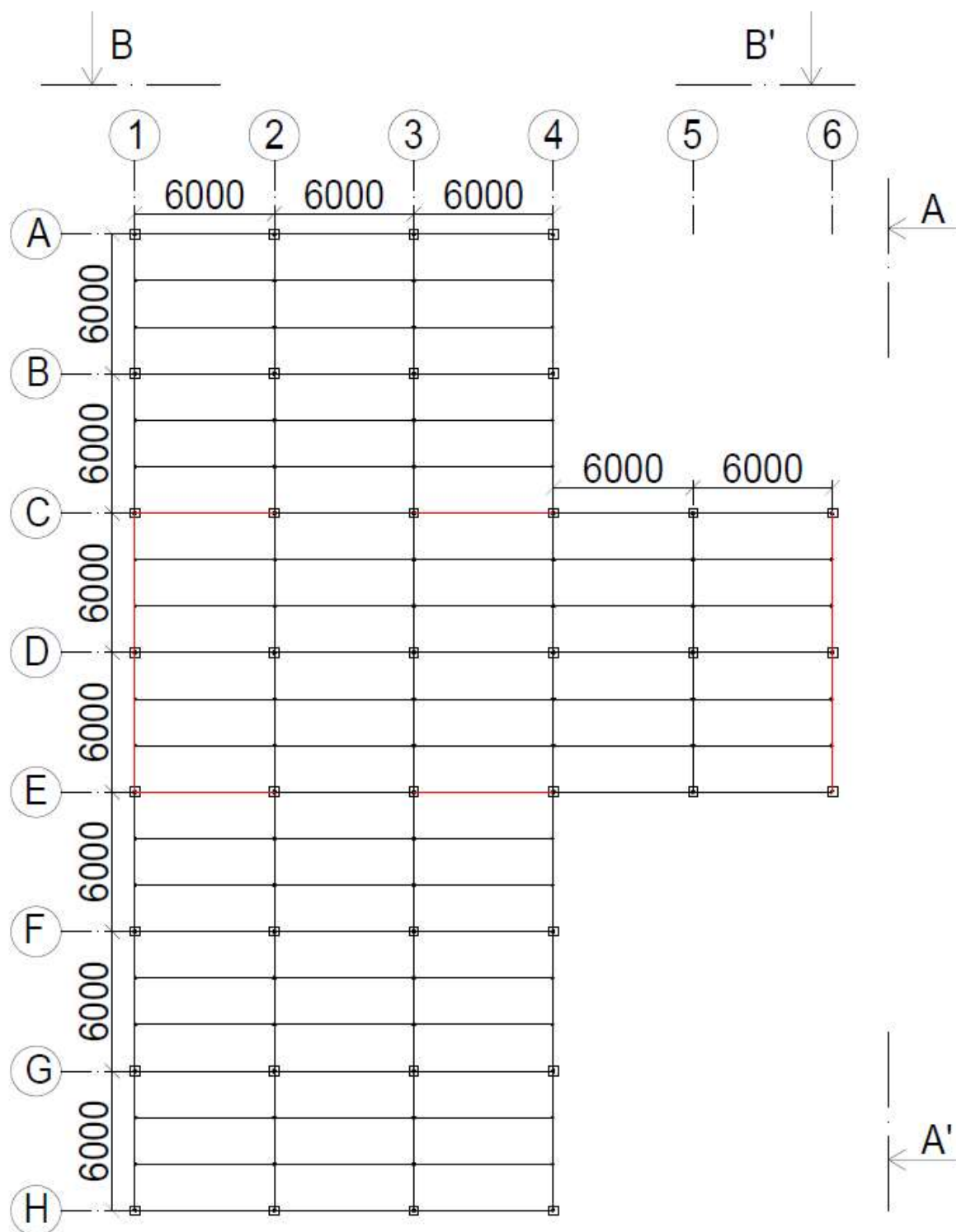
A_1 je potřebná průřezová plocha jednoho profilu

$$A_1 = 24\,512,4 \, mm^2$$

Průřezové ploše odpovídá např. profil - HEA 650 - $A_1 = 24\,160 \, mm^2$. Profil HEA 650 je použit v modelu jako náhradní příhradový prut.

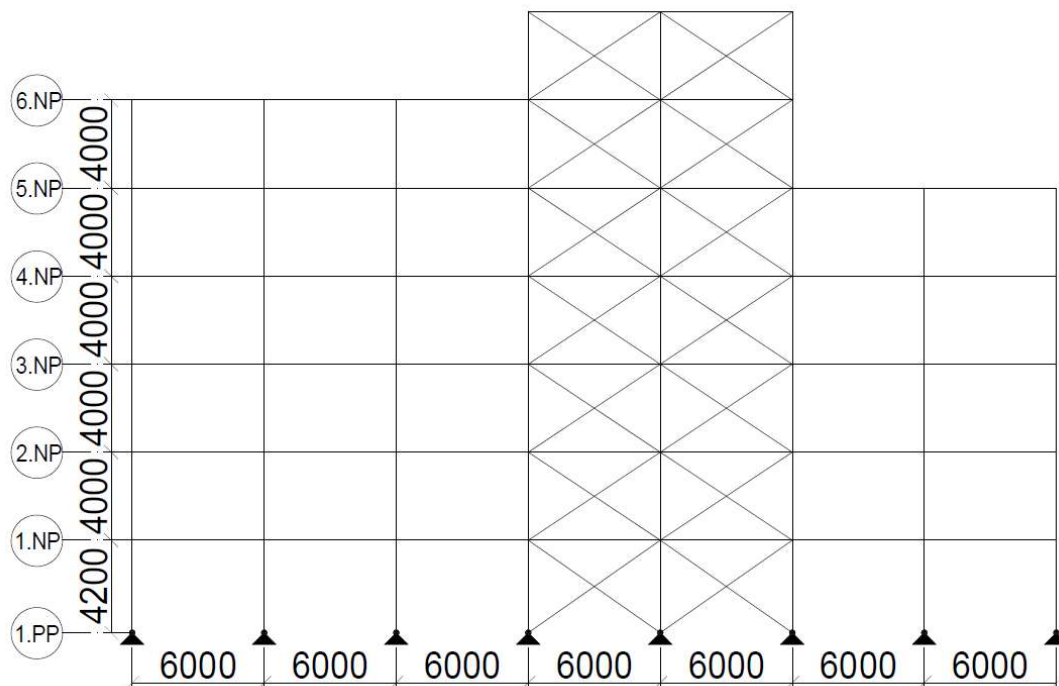
2 Geometrie

2.1 Schématický půdorys



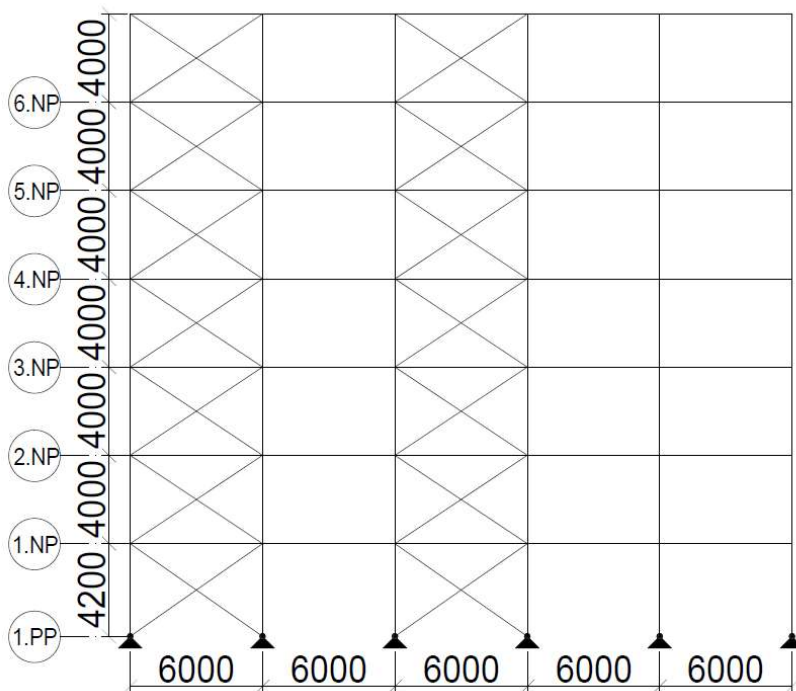
Obr. 2.1 schématické půdorysné uspořádání

2.2 Schématický pohled A-A'



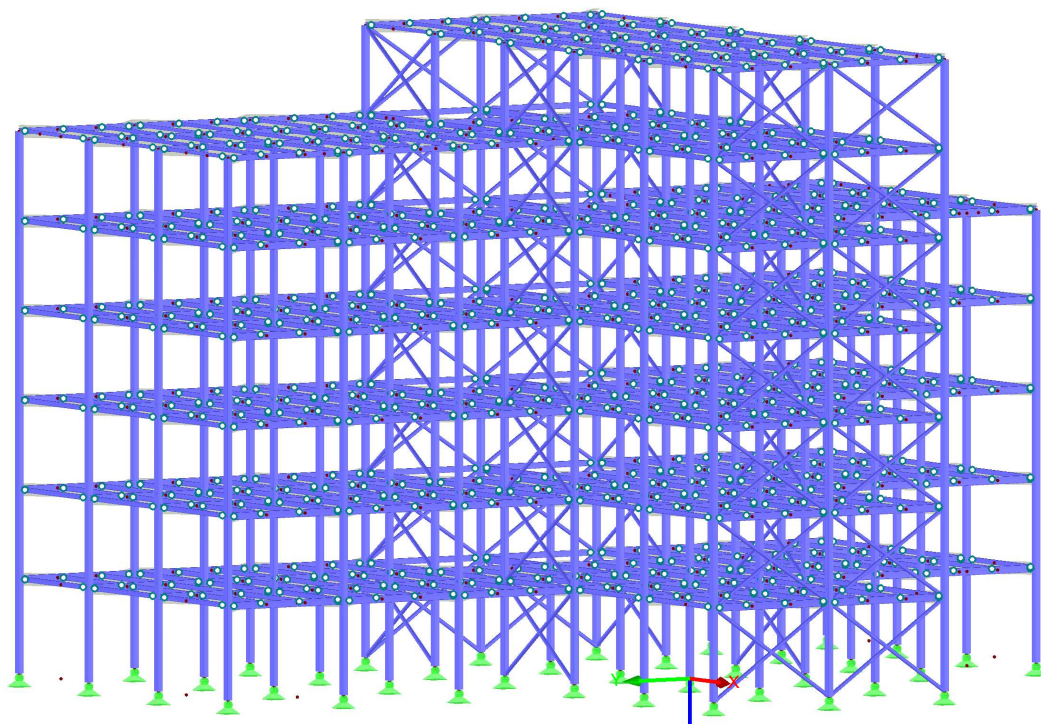
Obr. 2.2 schématický pohled A-A'

2.3 Schématický pohled B-B'

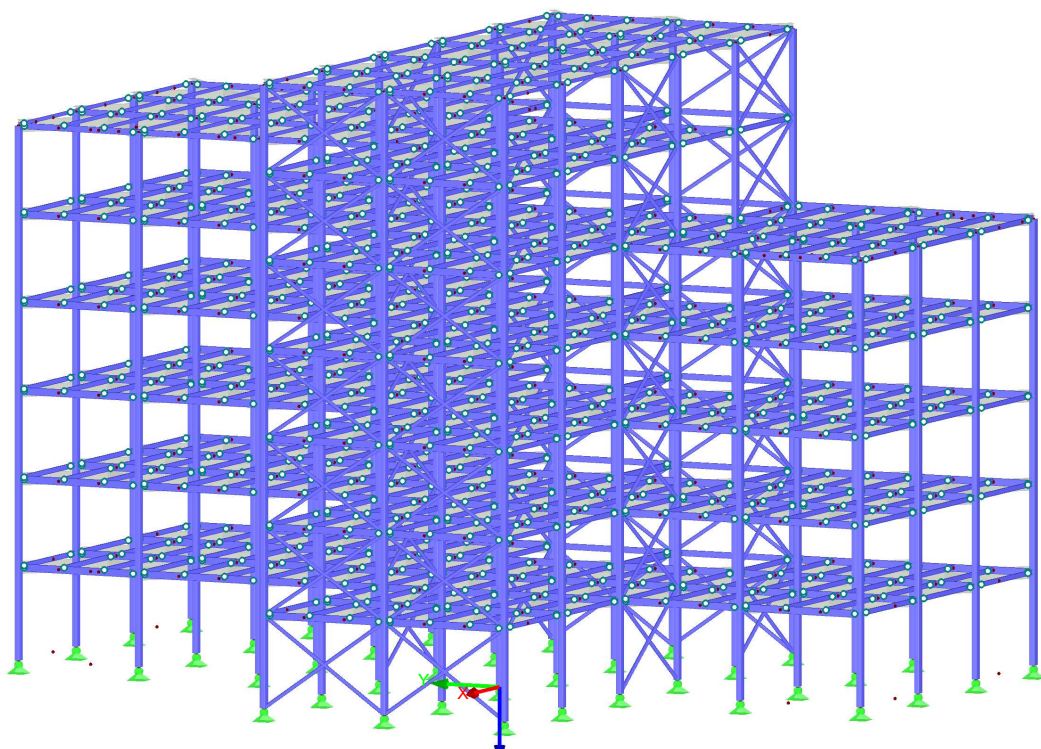


Obr. 2.3 schématický pohled B-B'

2.4 Axonometrie



Obr. 2.4 axonometrie

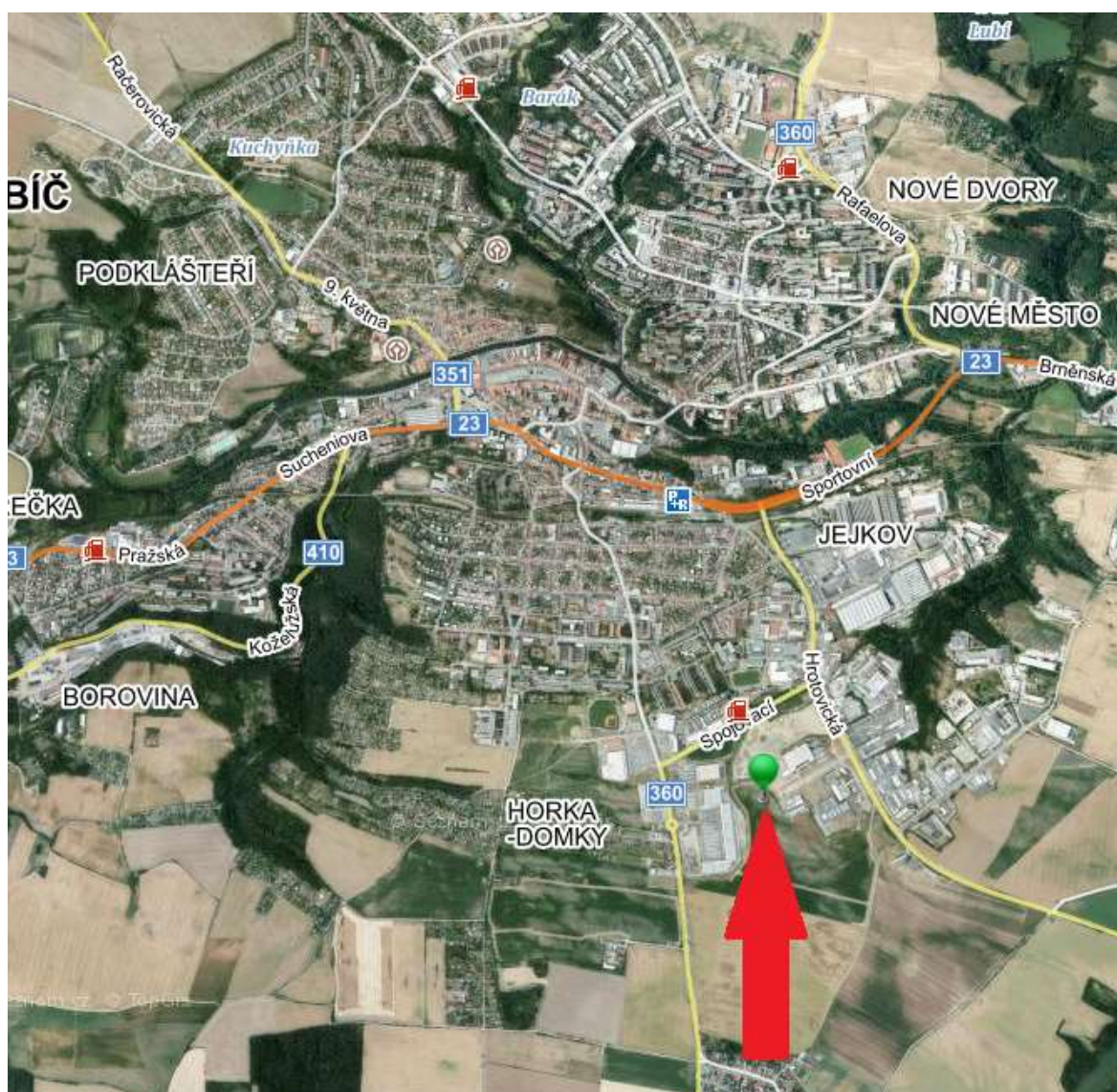


Obr. 2.5 axonometrie

3 Umístění stavby

Stavba je umístěna na jižním okraji města Třebíče, kde jsou umístěny průmyslové a kancelářské prostory. Stavba bude tvořit značnou část kancelářských prostor, které v této rozrůstající se průmyslové části chybí.

3.1 Situace širších vztahů



Obr. 3.1 mapa širších vztahů [1]

3.2 Vyznačení objektu v mapě



Obr. 3.2 umístění objektu na parcele [1]

4 Zatížení

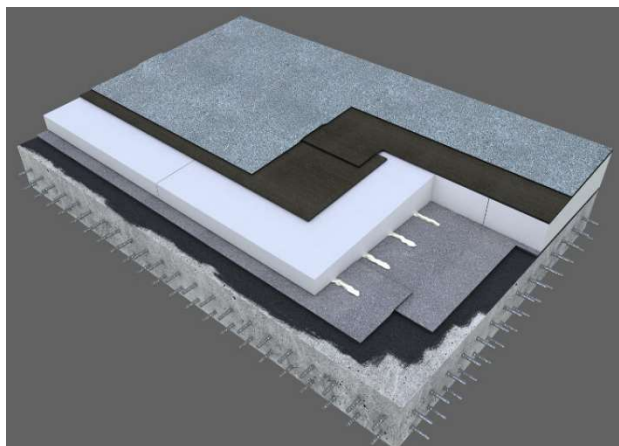
4.1 ZS1 – Vlastní tíha

Zatížení od vlastní tíhy je spočítáno v softwaru Dlubal RFEM 5.05 dle dimenzí jednotlivých prvků.

4.2 ZS2 – Ostatní stálé zatížení

4.2.1 Zatížení od souvrství typické střechy

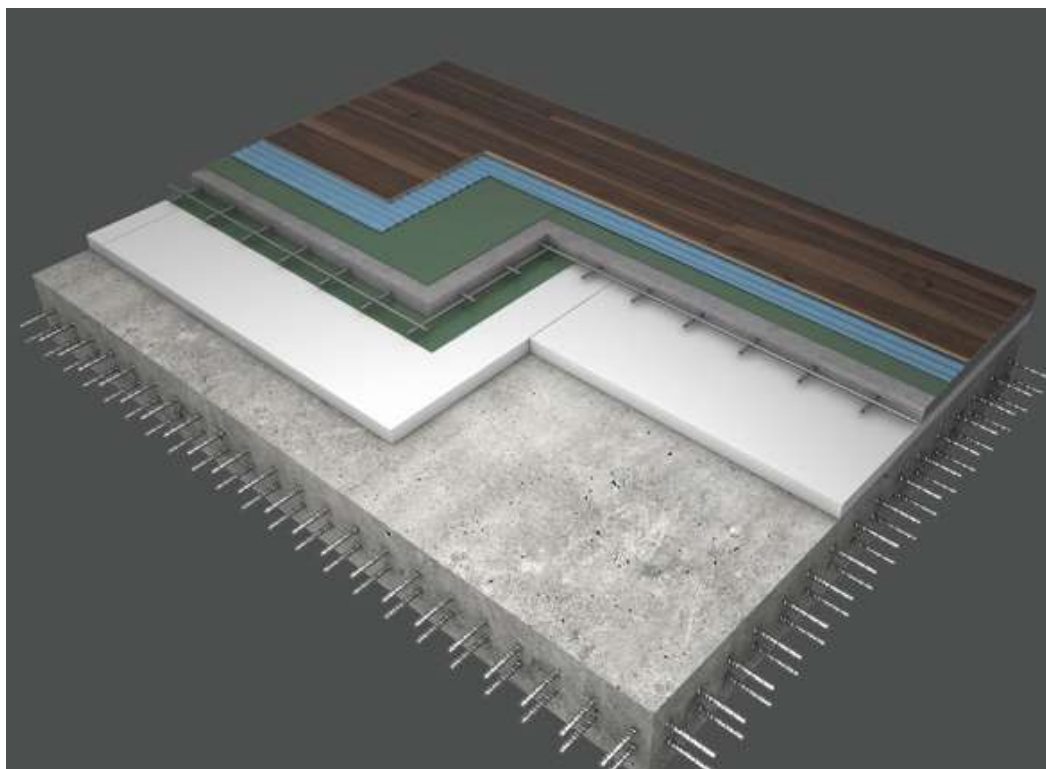
Vrstva	Tloušťka [m]	Tíha [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]
Pás z modifikovaného asfaltu – ELASTEK 40 GRAPHITE	0.005	-	0.055
Samolepící pás z SBS modifikovaného asfaltu – GLASTEK 30 STICKER ULTRA G.B.	0.003	-	0.037
Spádové klíny ze stabilizovaného pěnového polystyrenu – EPS 100, průměrné tloušťky 160 mm	0.160	0.23	0.002
Polyuretanové lepidlo – INSTA-STIK STD (PUK 3D)	-	-	-
Pás z SBS modifikovaného asfaltu s hliníkovou vložkou – GLASTEK AL 40 MINERAL	4.000	-	0.043
Asfaltová vodou ředitelná emulze – DEKPRIMER	-	-	0.004
Železobetonová vrstva – beton C30/37, průměrné tloušťky 93 mm	0.093	25	2.325
Trapézový plech TR 50/250	-	-	0.126
Konstrukce podhledu, uchycení instalací, osvětlení	-	-	0.550
Celková hodnota charakteristického zatížení g_k [kN/m ²]			3.142



Obr. 4.1 skladba střechy [2]

4.2.3 Zatížení od souvrství podlahy na typickém podlaží

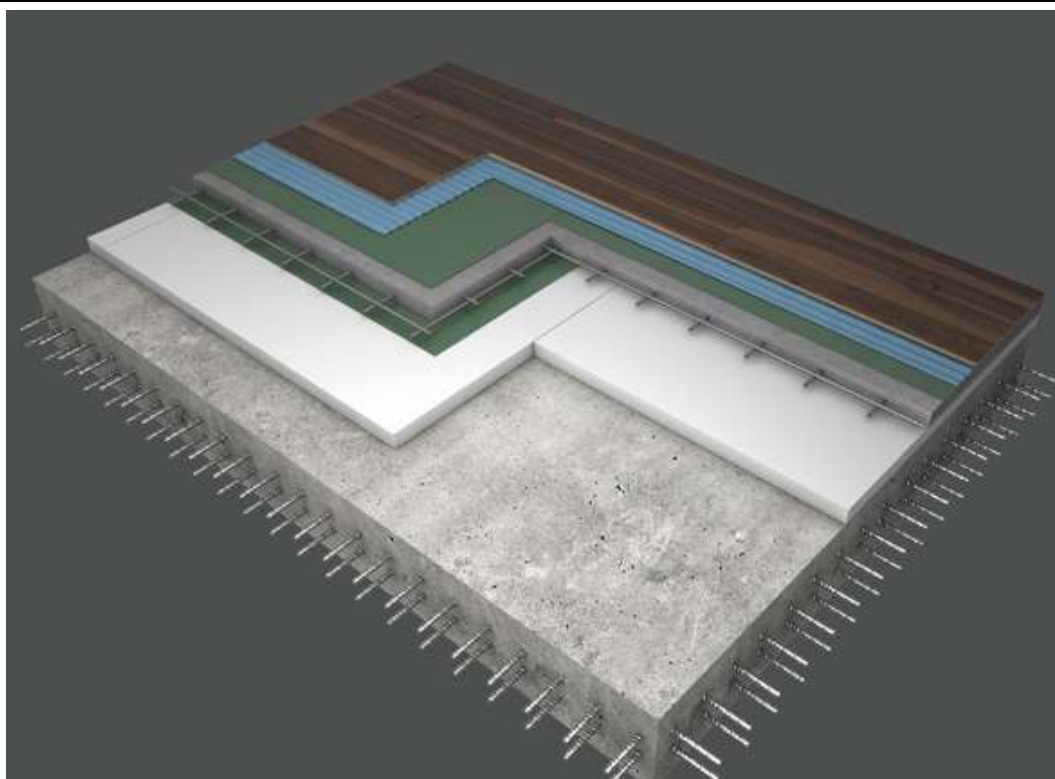
Vrstva	Tloušťka [m]	Tíha [kN/m ³]	g _k [kN/m ²]
Laminátová podlaha s HDF jádrem – EGGER FLOOR LINE	0.010	-	0.091
Pásy z pěněného polyethylenu	0.005	-	0.001
Separační polyethylenová fólie – DEKSEPAR	0.0002	-	0.001
Roznášecí vrstva z betonu vyztužená KARI sítí 150/150/4	0.050	25	1.250
Separační polyethylenová fólie – DEKSEPAR	0.0002	-	0.001
Tepelněizolační desky z elastifikovaného pěnového polystyrenu – RIGIFLOOR 4000	0.030	0.15	0.005
Železobetonová vrstva – beton C30/37, průměrné tloušťky 93 mm	0.093	25	2.325
Trapézový plech TR 50/250	-	-	0.126
Konstrukce podhledu, uchycení instalací, osvětlení	-	-	0.550
Celková hodnota charakteristického zatížení g _k [kN/m ²]			4.350



Obr. 4.3 skladba podlahy [2]

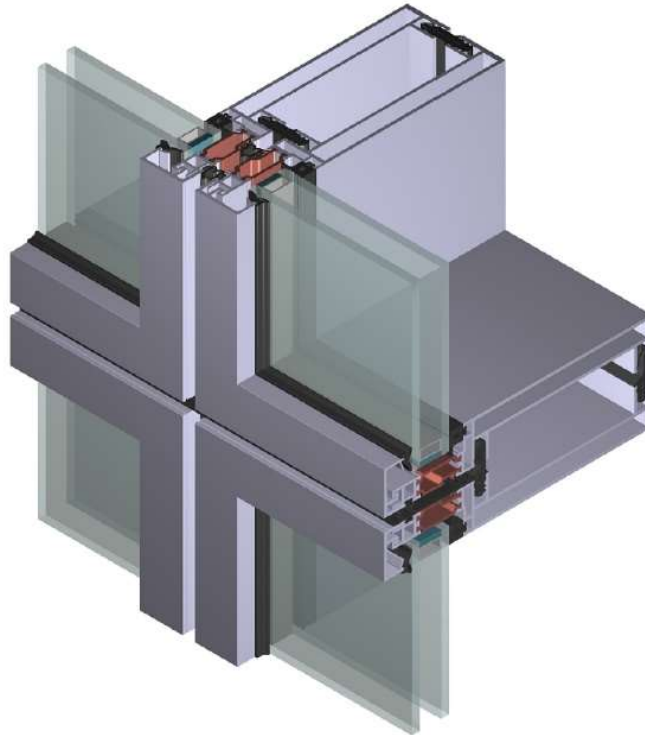
4.2.4 Zatížení od souvrství podlahy nad arkýřovou částí objektu

Vrstva	Tloušťka [m]	Tíha [kN/m ³]	g _k [kN/m ²]
Laminátová podlaha s HDF jádrem – EGGER FLOOR LINE	0.010	-	0.091
Pásky z pěněného polyethylenu	0.005	-	0.001
Separální polyethylenová fólie – DEKSEPAR	0.0002	-	0.001
Roznášecí vrstva z betonu vyztužená KARI sítí 150/150/4	0.050	25	1.250
Separální polyethylenová fólie – DEKSEPAR	0.0002	-	0.001
Tepelněizolační desky z elastifikovaného pěnového polystyrenu – RIGIFLOOR 4000	0.030	0.15	0.005
Železobetonová vrstva – beton C30/37, průměrné tloušťky 93 mm	0.093	25	2.325
Trapézový plech TR 50/250	-	-	0.126
Desky ze stabilizovaného pěnového polystyrenu – EPS 100	0.200	0.23	0.046
Konstrukce podhledu, uchycení instalací, osvětlení	-	-	0.550
Celková hodnota charakteristického zatížení g _k [kN/m ²]			4.395



Obr. 4.4 skladba podlahy [2]

4.2.5 Zatížení od prosklené fasády



Obr. 4.5 fasádní systém mb-se75 [3]

Do ostatního stálého zatížení dále patří zatížení od proskleného fasádního systému, které je uvažováno charakteristickou hodnotou rovnoměrného plošného zatížení $g_k = 0,90 \text{ kN/m}^2$

Fasádní systém mb-se75 bude působit tímto zatížením přibližně ve vzdálenosti 0,2 od nosných sloupů. Vzniklá excentricita je nahrazena liniovým ohybovým momentem o velikosti

$$m_k = 0,18 \text{ kNm/m}$$

4.3 ZS3 – Proměnné zatížení

Proměnné zatížení je uvažováno dle normy ČSN EN 1991-1-1 následovně:

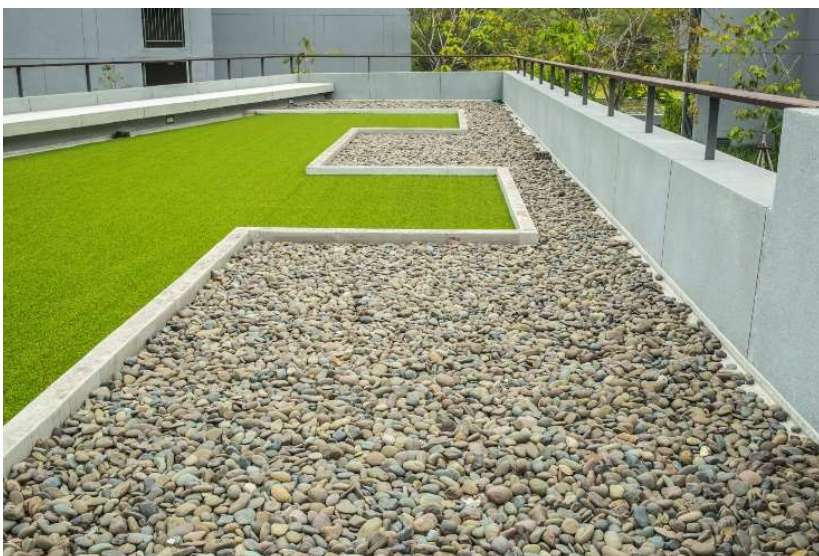
- Typické podlaží – kategorie zatěžované plochy B
rovnoměrné proměnné zatížení v hodnotě $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ dle národní přílohy

- Typické podlaží – přemístitelné příčky s vlastní tíhou $\leq 1,00 \text{ kN/m}$
rovnoměrné proměnné zatížení v hodnotě $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$



Obr. 4.6 přemístitelné příčky [4]

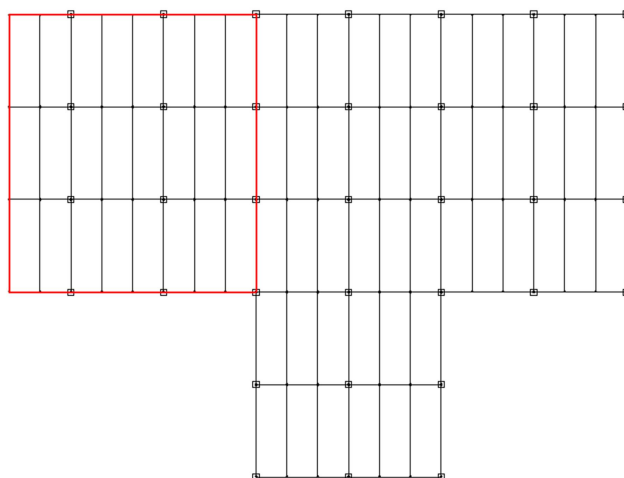
- Schodišťový prostor – kategorie zatěžované plochy A – schodiště
rovnoměrné proměnné zatížení v hodnotě $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ dle národní přílohy
- Vegetační střecha – kategorie zatěžovací plochy I
rovnoměrné proměnné zatížení v hodnotě $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$



Obr. 4.7 vegetační střecha [5]

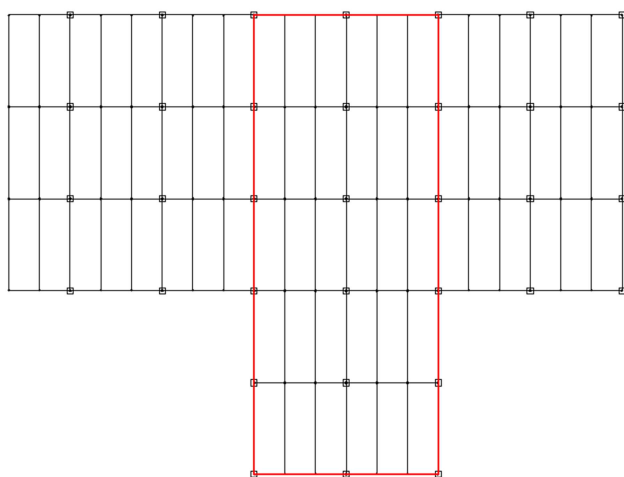
4.3.1 Rozdělení budovy na 3 části pro účely klimatických zatížení

4.3.1.1 Část budovy 1



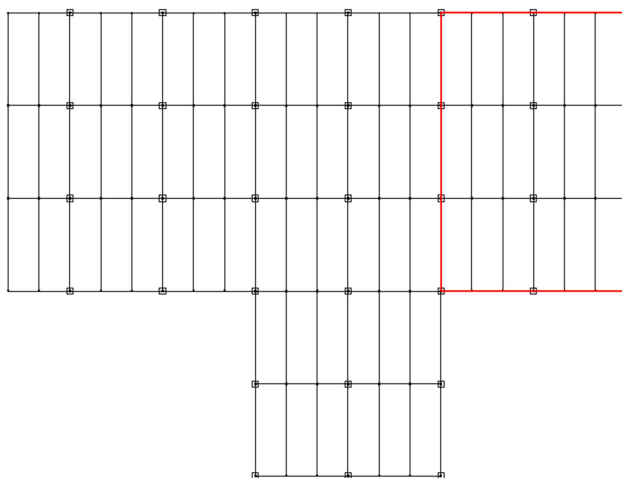
Obr. 4.8 schéma rozdělení budovy

4.3.1.2 Část budovy 2



Obr. 4.9 schéma rozdělení budovy

4.3.1.3 Část budovy 3



Obr. 4.10 schéma rozdělení budovy

4.4 ZS4 – Sníh plný

Zatížení sněhem počítáno dle ČSN EN 1991-1-3

Konstrukce se nachází v městě Třebíč se sněhovou oblastí II.

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_l = 0,8$

Součinitel expozice $c_e = 1,0$

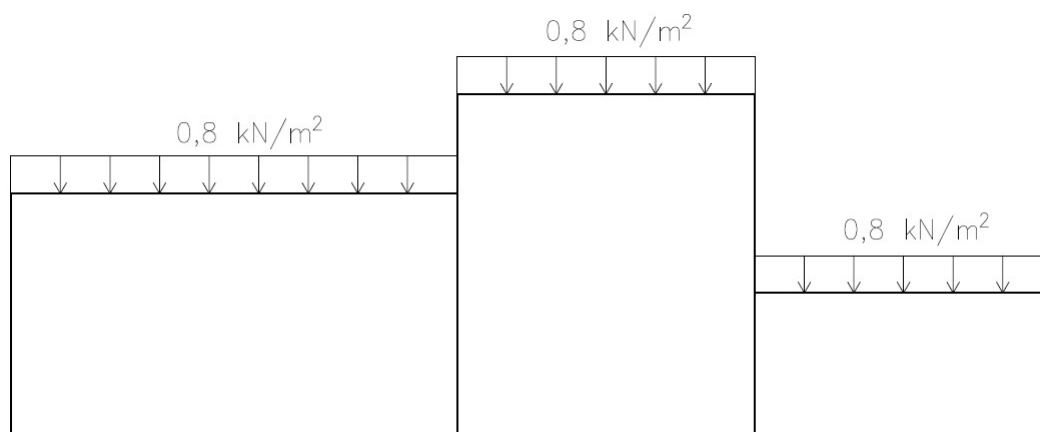
Tepelný součinitel $c_t = 1,0$

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

Zatížení sněhem na střeše

$$s = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Sníh plný se nachází na střešních rovinách každé ze tří částí o velikosti $0,8 \text{ kN/m}^2$.



Obr. 4.11 plné zatížení sněhem

4.5 ZS5 – Sníh navátý

4.5.1 Část budovy číslo 1

Tvarový součinitel zatížení sněhem ($\alpha < 15^\circ$)

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_l = 0,8$

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_s = 0,0$

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma h}{s_k}$$

$$\mu_w = \frac{12 + 18}{2 \cdot 4} \leq \frac{2 \cdot 4}{1}$$

$$\mu_w = 3,75 \leq 8$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_w = 3,75$

$$l_s = 2h \leq 15$$

$$l_s = 2 \cdot 4 \leq 15$$

$$l_s = 8 \leq 15$$

Délka návěje $l_s = 8 \text{ m}$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

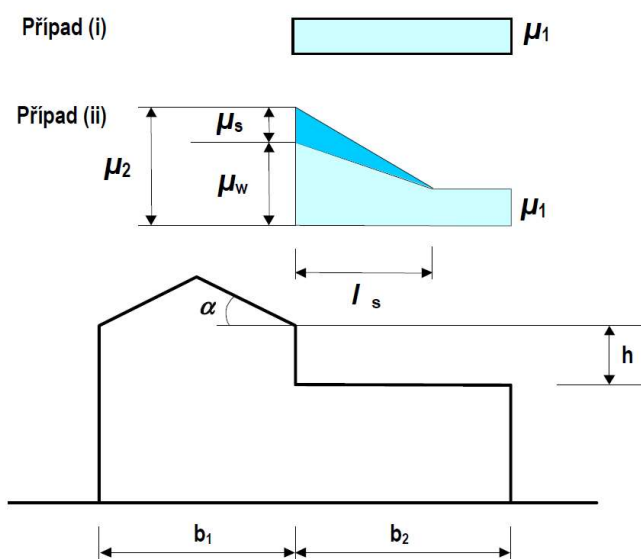
$$\mu_2 = 0 + 3,75$$

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem	$\mu_2 = 2,0$
Součinitel expozice	$c_e = 1,0$
Tepelný součinitel	$c_t = 1,0$
Charakteristická hodnota zatížení sněhem	$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$
Zatížení sněhem na střeše	

$$s_1 = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = \mu_2 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 4.12 schéma návějí [6]

4.5.2 Část budovy číslo 3

Tvarový součinitel zatížení sněhem ($\alpha < 15^\circ$)

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_l = 0,8$

Tvarový součinitel zatížení sněhem $\mu_s = 0,0$

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma h}{s_k}$$

$$\mu_w = \frac{12 + 12}{2 \cdot 8} \leq \frac{2 \cdot 8}{1}$$

$$\mu_w = 1,5 \leq 16$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem

$$\mu_w = 1,5$$

$$l_s = 2h \leq 15$$

$$l_s = 2 \cdot 8 \leq 15$$

$$l_s = 16 \leq 15$$

Délka návěje

$$l_s = 15 \text{ m}$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

$$\mu_2 = 0 + 1,5$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem

$$\mu_2 = 1,5$$

Součinitel expozice

$$c_e = 1,0$$

Tepelný součinitel

$$c_t = 1,0$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sněhem na střeše

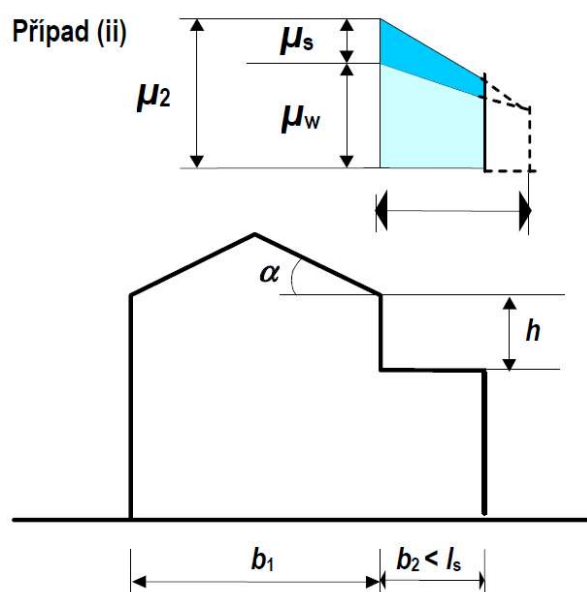
$$s = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_2 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

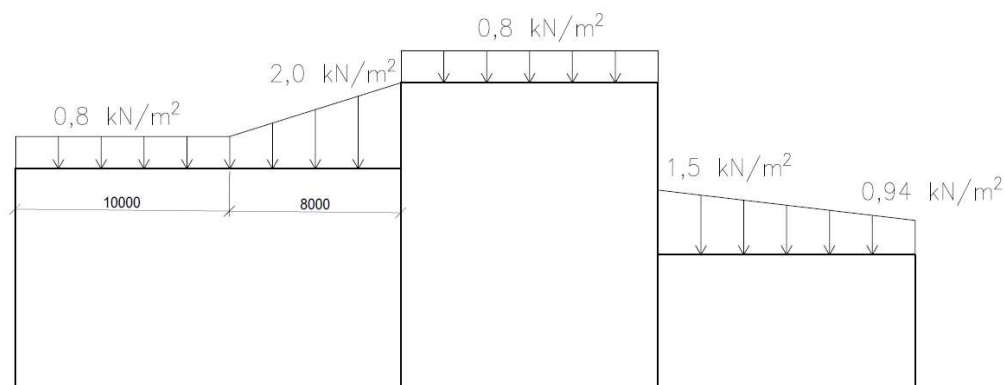
Případ (i)



Případ (ii)



Obr. 4.13 schéma návějí [6]



Obr. 4.14 zatížení sněhem s návějemi

4.6 ZS6, ZS7 – Vítr podélný 1 (+ ; -)

4.7 ZS8, ZS9 – Vítr podélný 2 (+ ; -)

Zatížení větrem počítáno dle ČSN EN 1991-1-4

Vítr působí rovnoběžně délkou objektu. Pro město Třebíč je uvažována větrná oblast II.

Střední rychlost větru

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel směru větru

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

Součinitel ročního období

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

Kategorie terénu

$$z_0 = 0,3 \text{ m}; z_{\min} = 5 \text{ m}$$

Výška konstrukce nad terénem

$$z_1 = 12,0 \text{ m}$$

$$z_2 = 16,2 \text{ m}$$

$$z_3 = 18,0 \text{ m}$$

$$z_4 = 20,2 \text{ m}$$

$$z_5 = 24,2 \text{ m}$$

$$z_6 = 28,2 \text{ m}$$

Maximální výška nad terénem

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

Součinitel orografie

$$c_{o(z)} = 1,0$$

Základní rychlost větru ve výšce 10 m nad terénem:

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

Součinitel terénu:

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

Součinitel drsnosti terénu pro $z = 12$ m:

$$c_r(z_1) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,3}\right) = 0,793$$

$$\text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Součinitel drsnosti terénu pro $z = 16,2$ m:

$$c_r(z_2) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{16,2}{0,3}\right) = 0,858$$

$$\text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Součinitel drsnosti terénu pro $z = 18$ m:

$$c_r(z_3) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_3}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{18}{0,3}\right) = 0,880$$

$$\text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Součinitel drsnosti terénu pro $z = 20,2$ m:

$$c_r(z_4) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_4}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{20,2}{0,3}\right) = 0,905$$

$$\text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Součinitel drsnosti terénu pro $z = 24,2$ m:

$$c_r(z_5) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_5}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{24,2}{0,3}\right) = 0,944$$

$$\text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Součinitel drsnosti terénu pro $z = 28,2$ m:

$$c_r(z_6) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_6}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{28,2}{0,3}\right) = 0,977$$

$$\text{pro } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Základní rychlost větru:

$$v_m(z_1) = c_r(z_1) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,793 \cdot 1,0 \cdot 25 = 19,825 \text{ m/s}$$

$$v_m(z_2) = c_r(z_2) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,858 \cdot 1,0 \cdot 25 = 21,450 \text{ m/s}$$

$$v_m(z_3) = c_r(z_3) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,880 \cdot 1,0 \cdot 25 = 22,000 \text{ m/s}$$

$$v_m(z_4) = c_r(z_4) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,905 \cdot 1,0 \cdot 25 = 22,625 \text{ m/s}$$

$$v_m(z_5) = c_r(z_5) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,944 \cdot 1,0 \cdot 25 = 23,600 \text{ m/s}$$

$$v_m(z_6) = c_r(z_6) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,977 \cdot 1,0 \cdot 25 = 24,425 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence větru:

$$I_v(z_1) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{12,0}{0,3}\right)} = 0,271$$

$$I_v(z_2) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{16,2}{0,3}\right)} = 0,251$$

$$I_v(z_3) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_3}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{18,0}{0,3}\right)} = 0,244$$

$$I_v(z_4) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_4}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{20,2}{0,3}\right)} = 0,238$$

$$I_v(z_5) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_5}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{24,2}{0,3}\right)} = 0,228$$

$$I_v(z_6) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_6}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{28,2}{0,3}\right)} = 0,220$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_p(z_1) = [1 + 7 \cdot I_v(z_1)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_1) = [1 + 7 \cdot 0,271] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 19,825^2 = 0,7116 \text{ kPa}$$

$$q_p(z_2) = [1 + 7 \cdot I_v(z_2)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_2) = [1 + 7 \cdot 0,251] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 21,450^2 = 0,7928 \text{ kPa}$$

$$q_p(z_3) = [1 + 7 \cdot I_v(z_3)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_3) = [1 + 7 \cdot 0,244] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 22,000^2 = 0,8192 \text{ kPa}$$

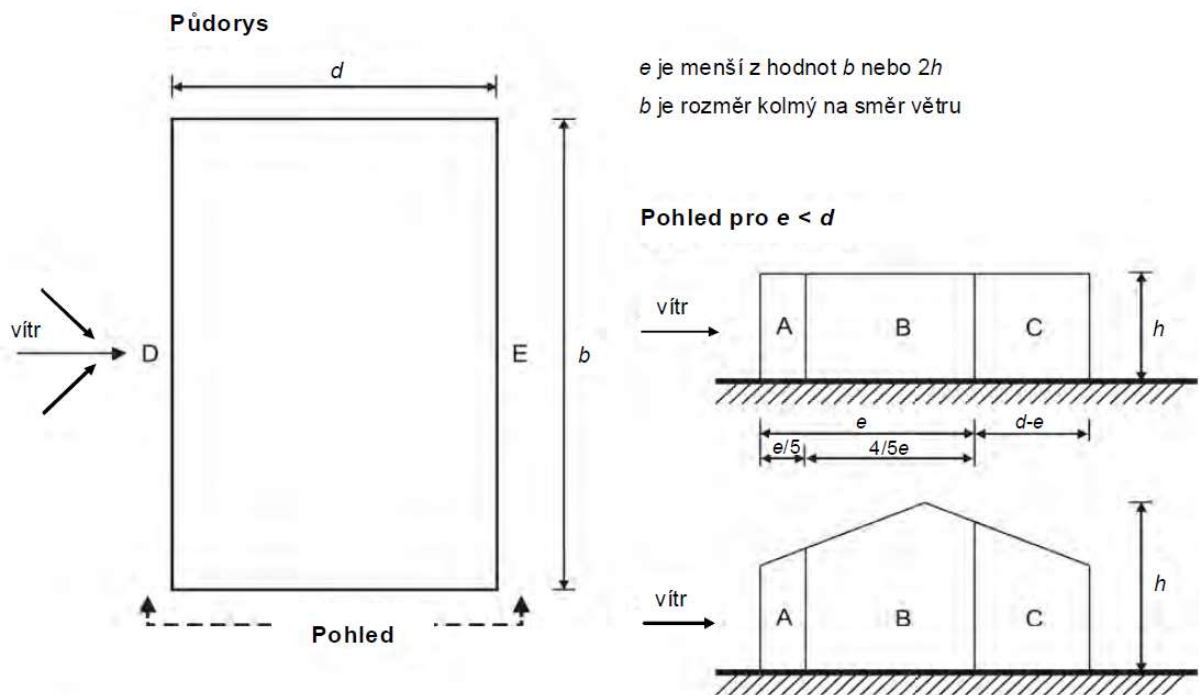
$$q_p(z_4) = [1 + 7 \cdot I_v(z_4)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_4) = [1 + 7 \cdot 0,238] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 22,625^2 = 0,8529 \text{ kPa}$$

$$q_p(z_5) = [1 + 7 \cdot I_v(z_5)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_5) = [1 + 7 \cdot 0,228] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 23,600^2 = 0,9037 \text{ kPa}$$

$$q_p(z_6) = [1 + 7 \cdot I_v(z_6)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_6) = [1 + 7 \cdot 0,220] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 24,425^2 = 0,9471 \text{ kPa}$$

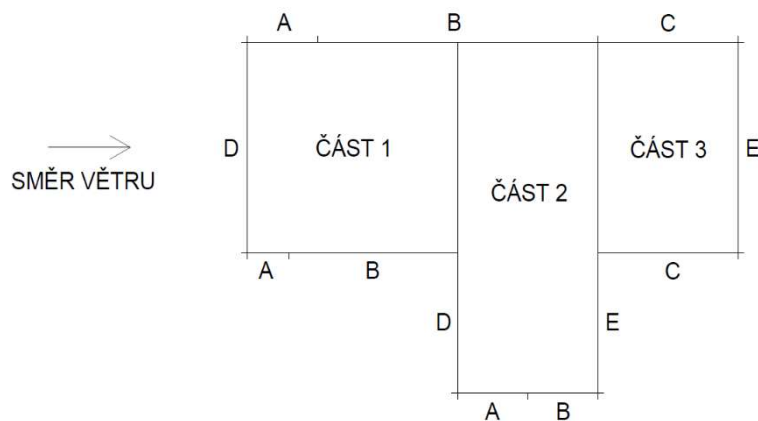
4.7.1 Zatížení svislých stěn:

Budova je půdorysně rozdělena na 3 části

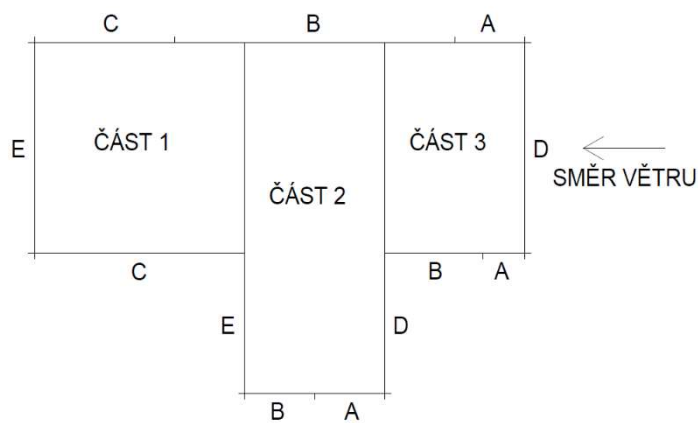


Obr. 4.15 schéma zatížení sněhem od větru [7]

Směr větru a označení jednotlivých oblastí na stěnách:

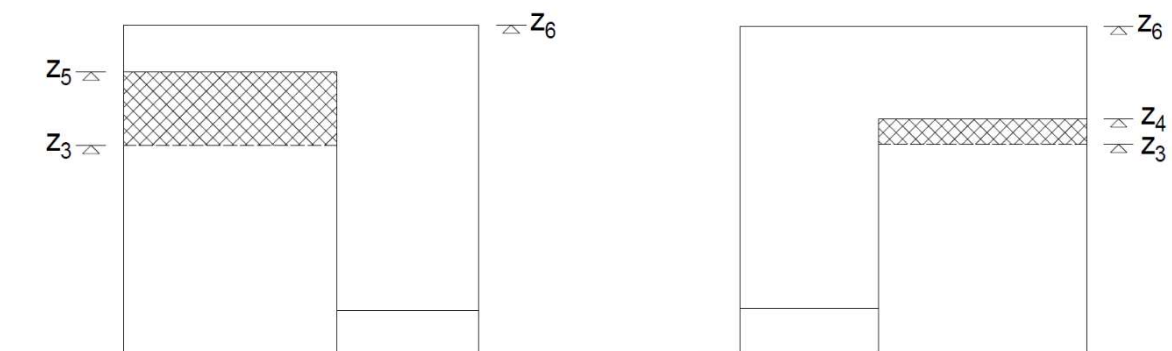


Obr. 4.16 oblasti zatížení větrem

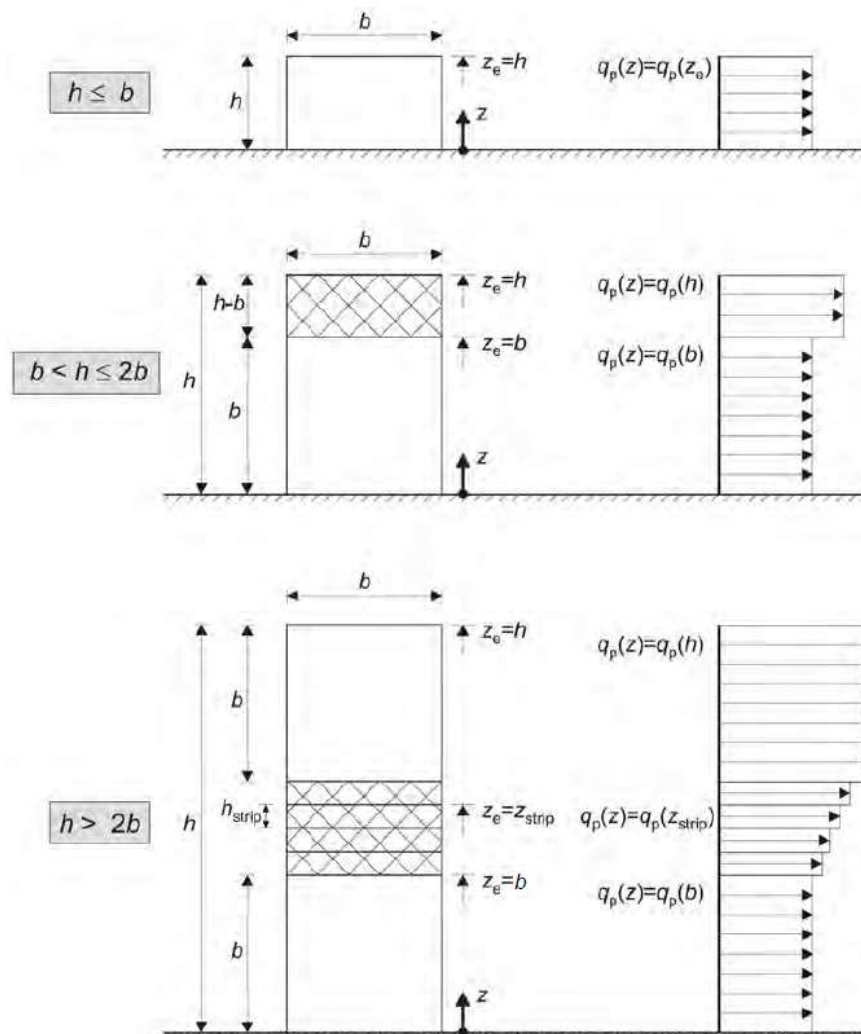


Obr. 4.17 oblasti zatížení větrem

Rozdělení intenzity zatížení stěn v závislosti na výšce:



Obr. 4.18 rozdělení oblastí po výšce budovy



Obr. 4.19 rozdělení budovy po výšce [7]

4.7.1.1 Část budovy 1

Rozměr kolmý na směr větru $b = 18 \text{ m}$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru $d = 18 \text{ m}$

Výška objektu $h = 24,2 \text{ m}$

Poměr výšky objektu a hrany d $h/d = 1,34$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(18; 2 \cdot 24,2) = \min(18; 48,4) = 18 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,20$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,80$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,50$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,80$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,517$$

Tlak větru na jednotlivé oblasti:

$$w_{e,A} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(A) = 0,9037 \cdot (-1,20) = -1,084 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(B) = 0,9037 \cdot (-0,80) = -0,723 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(C) = 0,9037 \cdot (-0,50) = -0,452 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,9037 \cdot 0,80 = 0,723 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,8192 \cdot 0,80 = 0,655 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,9037 \cdot (-0,517) = -0,467 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,8192 \cdot (-0,517) = -0,424 \text{ kN/m}^2$$

4.7.1.2 Část budovy 2

Rozměr kolmý na směr větru $b = 30 \text{ m}$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru $d = 12 \text{ m}$

Výška objektu $h = 28,2 \text{ m}$

Poměr výšky objektu a hrany $d \quad h/d = 2,35$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(30; 2 \cdot 28,2) = \min(30; 56,4) = 30 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,20$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,80$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,50$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,80$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,568$$

Tlak větru na jednotlivé oblasti:

$$w_{e,A} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(A) = 0,9471 \cdot (-1,20) = -1,137 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(B) = 0,9471 \cdot (-0,80) = -0,758 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(C) = 0,9471 \cdot (-0,50) = -0,474 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,9471 \cdot 0,80 = 0,758 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,9471 \cdot (-0,568) = -0,538 \text{ kN/m}^2$$

4.7.1.3 Část budovy 3

Rozměr kolmý na směr větru	$b = 18 \text{ m}$
Rozměr rovnoběžný se směrem větru	$d = 12 \text{ m}$
Výška objektu	$h = 20,2 \text{ m}$
Poměr výšky objektu a hrany d	$h/d = 1,68$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(18; 2 \cdot 20,2) = \min(18; 40,4) = 18 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,20$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,80$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,50$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,80$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,534$$

Tlak větru na jednotlivé oblasti:

$$w_{e,A} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(A) = 0,8529 \cdot (-1,20) = -1,023 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(B) = 0,8529 \cdot (-0,80) = -0,682 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(C) = 0,8529 \cdot (-0,50) = -0,426 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,8529 \cdot 0,80 = 0,682 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,8192 \cdot 0,80 = 0,655 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,8529 \cdot (-0,534) = -0,455 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,8192 \cdot (-0,534) = -0,437 \text{ kN/m}^2$$

4.7.1.4 Podélná stěna u podélného větru

Stěna je rozdělena a součinitelé jsou určeny pro rozměry:

Rozměr kolmý na směr větru	$b = 30 \text{ m}$
Rozměr rovnoběžný se směrem větru	$d = 42$
Průměrná výška objektu	$h_{prům} = 24,2$
Poměr výšky objektu a hrany d	$h/d = 0,58$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(30; 2 \cdot 24,2) = \min(30; 48,4) = 30 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,20$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,80$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,50$$

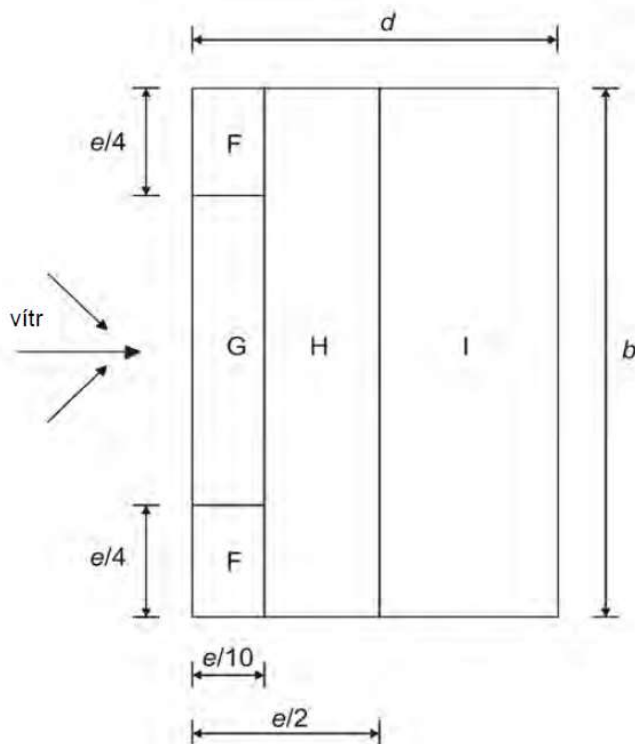
Tlak větru na jednotlivé oblasti:

$$w_{e,A} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(A) = 0,9037 \cdot (-1,20) = -1,084 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(B) = 0,9037 \cdot (-0,80) = -0,723 \text{ kN/m}^2$$

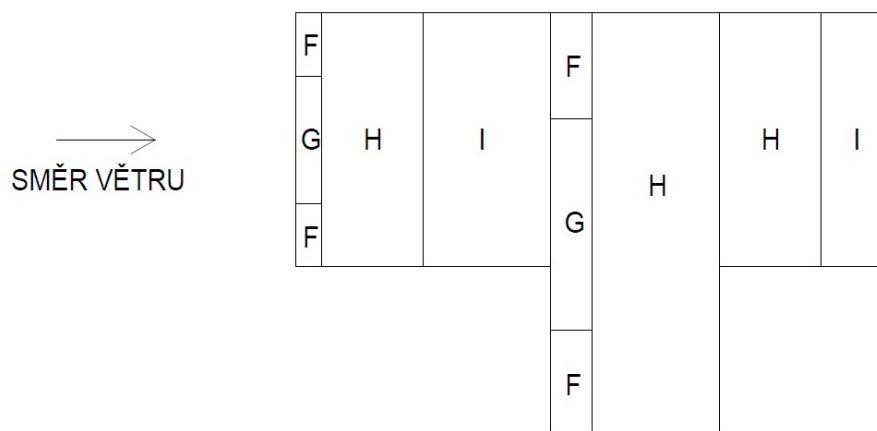
$$w_{e,C} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(C) = 0,9037 \cdot (-0,50) = -0,452 \text{ kN/m}^2$$

4.7.2 Zatížení střešní konstrukce:

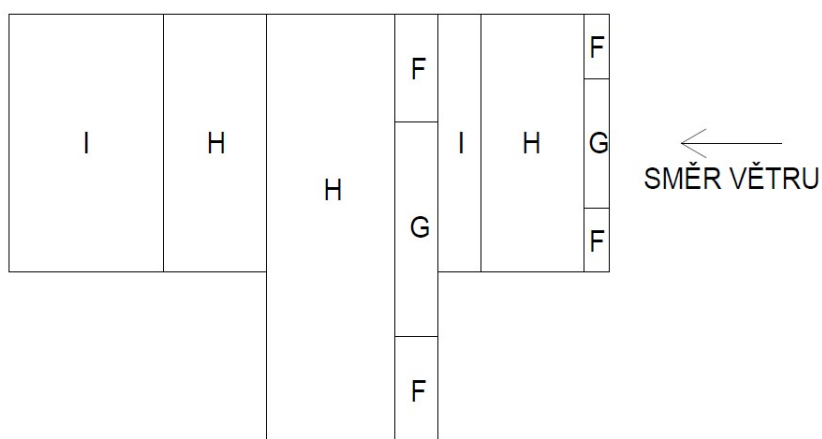


Obr. 4.20 schéma oblastí na střeše [7]

Směr větru a označení jednotlivých oblastí na střeše:



Obr. 4.21 schéma rozdělení oblastí na střeše



Obr. 4.22 schéma rozdělení oblastí na střeše

Výška atiky

$$h_p = 0,5 \text{ m}$$

Součinitelé vnějšího tlaku $C_{pe,10}$

$$c_{pe,10}(F) = -1,635$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,117$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,70$$

$$c_{pe,10}(I) = \pm 0,20$$

Hodnoty zatížení na povrch střešní konstrukce:

4.7.2.1 Část budovy 1

Součinitelé vnějšího tlaku $C_{pe,10}$:

$$c_{pe,10}(F) = -1,635$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,117$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,70$$

$$c_{pe,10}(I) = \pm 0,20$$

$$w_{e,F} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(F) = 0,9037 \cdot (-1,635) = -1,478 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(G) = 0,9037 \cdot (-1,117) = -1,009 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(H) = 0,9037 \cdot (-0,70) = -0,633 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(I) = 0,9037 \cdot (\pm 0,20) = \pm 0,181 \text{ kN/m}^2$$

4.7.2.2 Část budovy 2

Součinitelé vnějšího tlaku $C_{pe,10}$:

$$c_{pe,10}(F) = -1,658$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,129$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,70$$

$$c_{pe,10}(I) = \pm 0,20$$

$$w_{e,F} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(F) = 0,9471 \cdot (-1,658) = -1,570 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(G) = 0,9471 \cdot (-1,129) = -1,069 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(H) = 0,9471 \cdot (-0,70) = -0,663 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(I) = 0,9471 \cdot (\pm 0,20) = \pm 0,189 \text{ kN/m}^2$$

4.7.2.3 Část budovy 3

Součinitelé vnějšího tlaku $C_{pe,10}$:

$$c_{pe,10}(F) = -1,602$$

$$c_{pe,10}(G) = -1,101$$

$$c_{pe,10}(H) = -0,70$$

$$c_{pe,10}(I) = \pm 0,20$$

$$w_{e,F} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(F) = 0,8529 \cdot (-1,602) = -1,366 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(G) = 0,8529 \cdot (-1,101) = -0,939 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(H) = 0,8529 \cdot (-0,70) = -0,597 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(I) = 0,8529 \cdot (\pm 0,20) = \pm 0,171 \text{ kN/m}^2$$

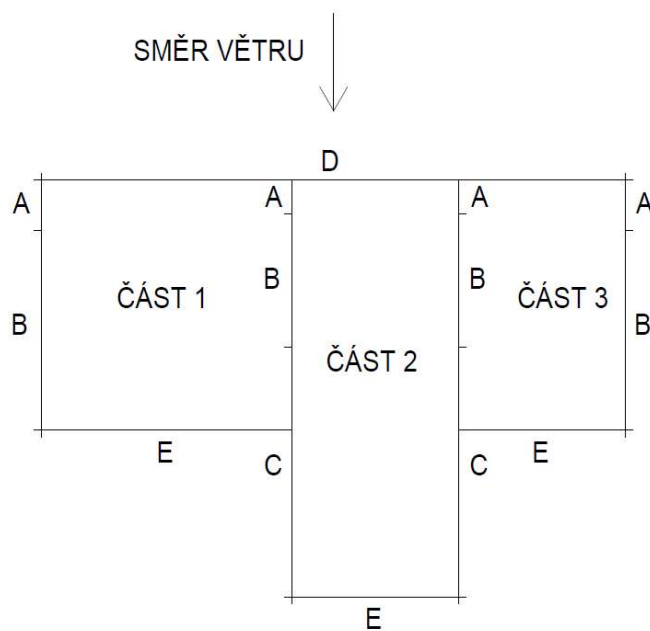
4.8 ZS10, ZS11 – Vítr příčný 1 (+ ; -)

4.9 ZS12, ZS13 – Vítr příčný 2 (+ ; -)

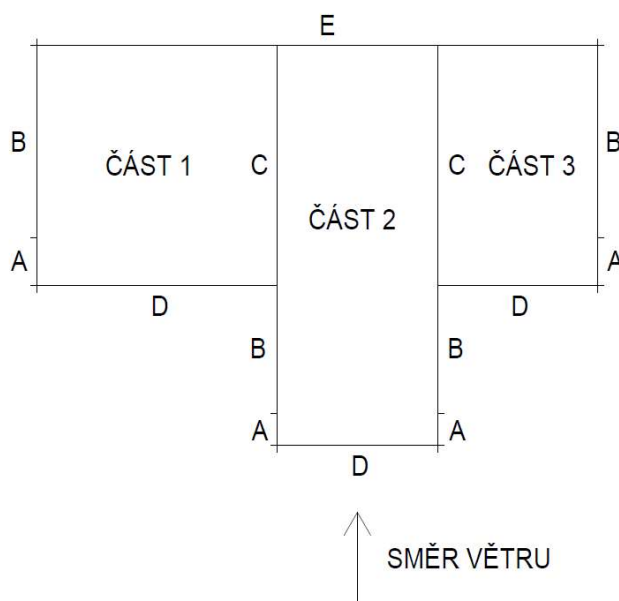
Vítr působí kolmo na šířku objektu

4.9.1 Zatížení svislých stěn

Směr větru a označení jednotlivých oblastí na stěnách:



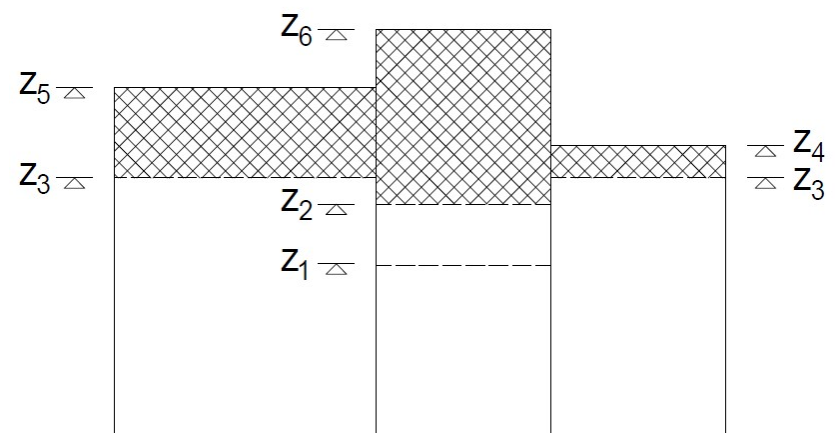
Obr. 4.23 schéma rozdělení oblastí stěn



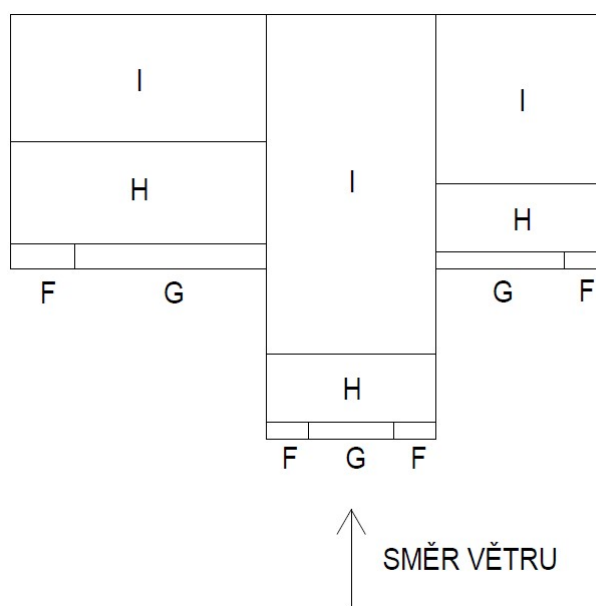
Obr. 4.24 schéma rozdělení oblastí stěn

4.9.2 Zatížení střešní konstrukce

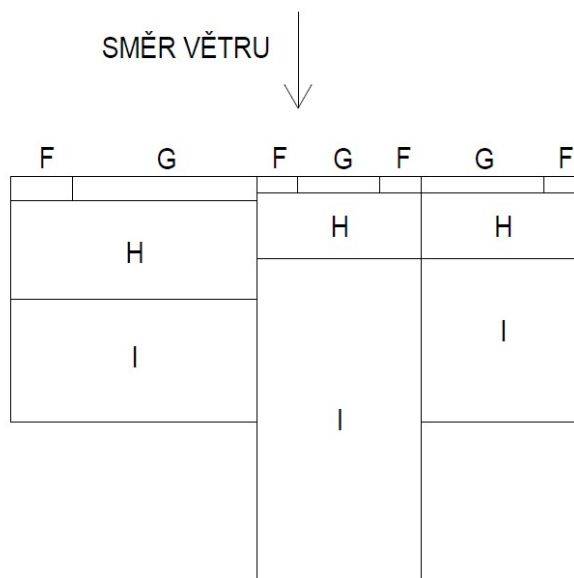
Rozdělení intenzity zatížení stěn v závislosti na výšce:



Obr. 4.25 schéma rozdělení intenzity větru po výšce



Obr. 4.26 schéma rozdělení oblastí střechy



Obr. 4.27 schéma rozdělení oblastí střechy

4.9.2.1 Část budovy 1

Rozměr kolmý na směr větru $b = 18 \text{ m}$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru $d = 18 \text{ m}$

Výška objektu $h = 24,2 \text{ m}$

Poměr výšky objektu a hrany $d \quad h/d = 1,34$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(18; 2 \cdot 24,2) = \min(18; 48,4) = 18 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,20$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,80$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,50$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,80$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,517$$

Tlak větru na jednotlivé oblasti:

$$w_{e,A} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(A) = 0,9037 \cdot (-1,20) = -1,084 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(B) = 0,9037 \cdot (-0,80) = -0,723 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,9037 \cdot 0,80 = 0,452 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,8192 \cdot 0,80 = 0,655 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_5) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,9037 \cdot (-0,517) = -0,467 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,8192 \cdot (-0,517) = -0,424 \text{ kN/m}^2$$

4.9.2.2 Část budovy 2

Rozměr kolmý na směr větru $b = 12 \text{ m}$

Rozměr rovnoběžný se směrem větru $d = 30 \text{ m}$

Výška objektu $h = 28,2 \text{ m}$

Poměr výšky objektu a hrany d $h/d = 0,94$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(12; 2 \cdot 28,2) = \min(12; 56,4) = 12 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,20$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,80$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,50$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,792$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,484$$

Tlak větru na jednotlivé oblasti:

$$w_{e,A} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(A) = 0,9471 \cdot (-1,20) = -1,137 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(B) = 0,9471 \cdot (-0,80) = -0,758 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(C) = 0,9471 \cdot (-0,50) = -0,474 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,9471 \cdot 0,792 = 0,750 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_2) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,7928 \cdot 0,792 = 0,628 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_1) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,7116 \cdot 0,792 = 0,564 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_6) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,9471 \cdot (-0,484) = -0,458 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_2) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,7928 \cdot (-0,484) = -0,384 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_1) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,7116 \cdot (-0,484) = -0,344 \text{ kN/m}^2$$

4.9.2.3 Část budovy 3

Rozměr kolmý na směr větru	$b = 12 \text{ m}$
Rozměr rovnoběžný se směrem větru	$d = 18 \text{ m}$
Výška objektu	$h = 20,2 \text{ m}$
Poměr výšky objektu a hrany d	$h/d = 1,12$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(12; 2 \cdot 20,2) = \min(12; 40,4) = 12 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}(A) = -1,20$$

$$c_{pe,10}(B) = -0,80$$

$$c_{pe,10}(C) = -0,50$$

$$c_{pe,10}(D) = 0,8$$

$$c_{pe,10}(E) = -0,506$$

Tlak větru na jednotlivé oblasti:

$$w_{e,A} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(A) = 0,8529 \cdot (-1,20) = -1,023 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(B) = 0,8529 \cdot (-0,80) = -0,682 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,8529 \cdot 0,80 = 0,682 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(D) = 0,8192 \cdot 0,80 = 0,655 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_4) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,8529 \cdot (-0,506) = -0,432 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = q_p(z_3) \cdot c_{pe,10}(E) = 0,8192 \cdot (-0,506) = -0,415 \text{ kN/m}^2$$

5 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení jsou provedeny automatickým generátorem programu RFEM. Výpis kombinací je k dispozici v příloze I.

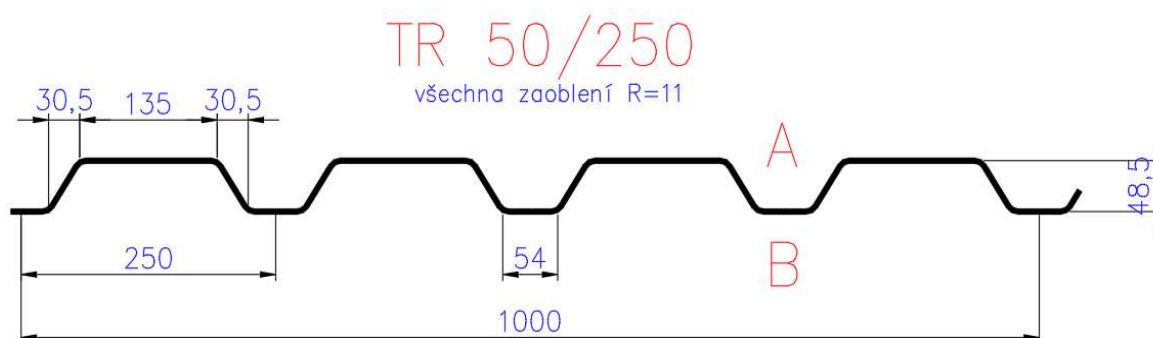
6 Návrh a posouzení hlavní nosné konstrukce

6.1 Posouzení trapézových plechů

6.1.1 Trapézový plech stropní konstrukce – administrativní část

Průřez:

Trapézový plech TR50/250



Obr. 6.1 trapézový plech TR 50/250 [8]

Průřezové charakteristiky:

Tloušťka plechu:

$$t = 1,25 \text{ mm}$$

Plocha průřezu:

$$A = 4,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Modul průřezu:

$$W_{y,eff+} = 17,05 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$W_{y,eff-} = 17,47 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$I_{y,eff+} = 0,424 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$$

$$I_{y,eff-} = 0,550 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$$

Materiálové charakteristiky:

Ocel S 320 GD

Mez kluzu oceli:

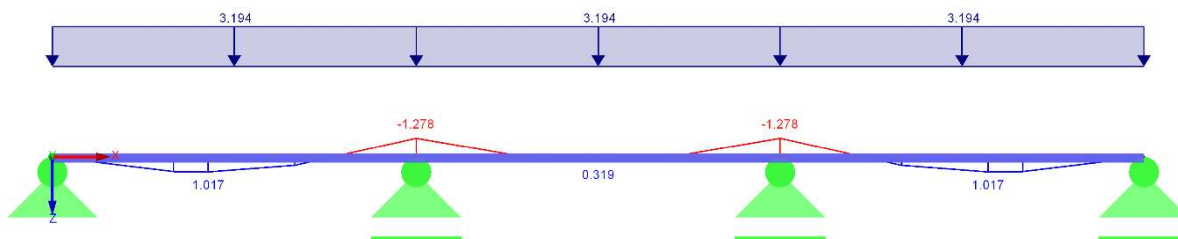
$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti:

$$E = 210 \text{ GPa}$$

Zatížení:

- stálé (vrstva betonu + vlastní tíha trapézového plechu): $g_k = 2,366 \text{ kN/m}^2$
 $g_d = 3,194 \text{ kN/m}^2$
- proměnné v montážním stavu (3x3 m): $q_d = 2,25 \text{ kN/m}^2$
- proměnné v montážním stavu (v ostatní ploše): $q_d = 1,125 \text{ kN/m}^2$



Obr. 6.2 stálé zatížení

6.1.2 Posouzení v montážním stavu**6.1.2.1 Mezní stav únosnosti**

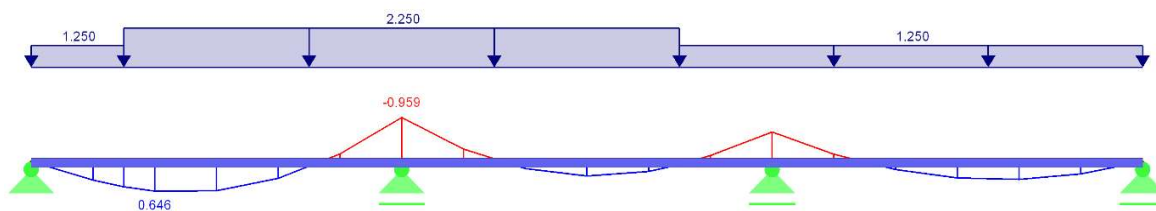
Záporný ohybový moment:

$$M_{Ed} = -1,259 - 0,959 = -2,218 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{y,eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,47 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4,106 \text{ kNm}$$

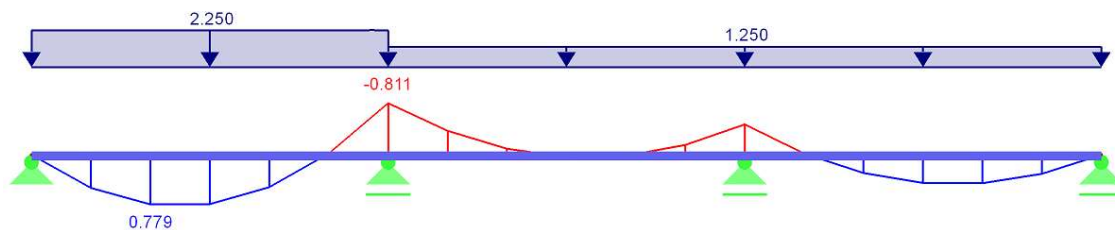
$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{-2,218}{4,106} = 0,54 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

Kladný ohybový moment:



Obr. 6.3 proměnné zatížení

Kladný ohybový moment:



Obr. 6.4 proměnné zatížení

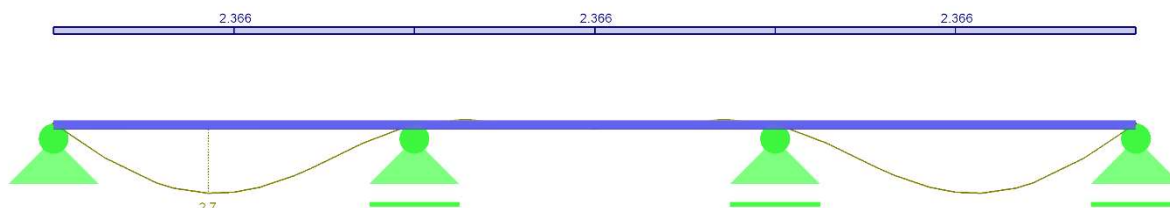
$$M_{Ed} = 1,029 + 0,779 = 1,808 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{y,eff+} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,05 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 4,007 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{1,808}{4,007} = 0,45 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.1.2.2 Mezní stav použitelnosti

Průhyb od čerstvého betonu:



Obr. 6.5 průhyb trapézového plechu

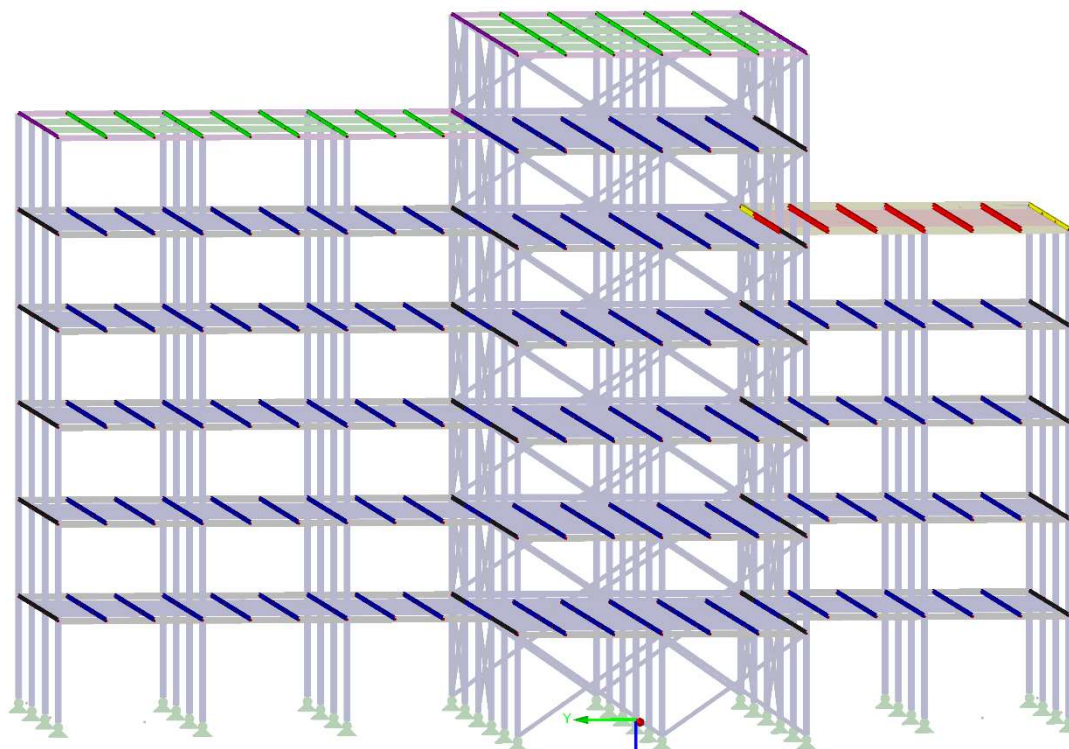
$$\delta = 2,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{350} = \frac{2000}{350} = 5,7 \text{ mm}$$

$$\delta = 2,7 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = 5,7 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.2 Posouzení stropnic

Schéma umístění jednotlivých typů stropnic:



Obr. 6.6 schéma jednotlivých typů stropnic

Typická střecha – krajní stropnice



Typická střecha – mezilehlá stropnice



Vegetační střecha – krajní stropnice



Vegetační střecha – mezilehlá stropnice



Typické podlaží – krajní stropnice



Typické podlaží – mezilehlá stropnice



Přesné rozložení je vidět na půdoryse střešní konstrukce a půdoryse typického podlaží, kde jsou jednotlivé prvky popsány a u každého je uvedena dimenze jednotlivého prvku.

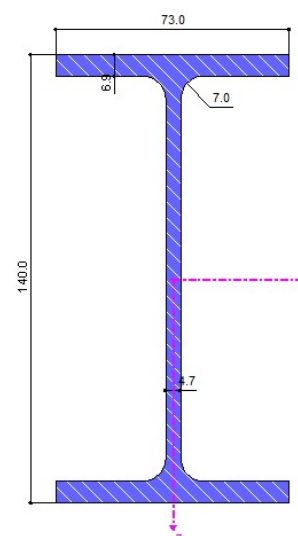
6.2.1 Spřažená střešní stropnice – typická střecha – krajní stropnice**Průřezové charakteristiky:**

Plocha průřezu:	$A_a = 1,643 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 5,988 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 5,412 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 7,732 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 8,834 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 140 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 73 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 4,7 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 6,9 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 7 \text{ mm}$

IPE 140

**Materiálové charakteristiky - ocel:**

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.2.1.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levé stropnice:	$B_l = 0 \text{ m}$
Osová vzdálenost do pravé stropnice:	$B_p = 2 \text{ m}$
Účinná šířka betonové pásnice:	

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 0) = 0,00 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,00 + 0,75 + 0 = 0,75 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

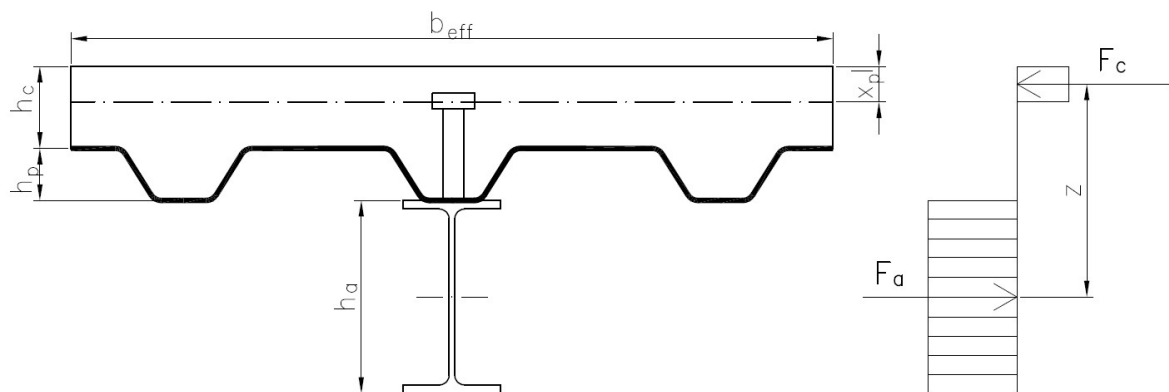
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 1,643 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,75} = 0,0303 \text{ m}$$

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

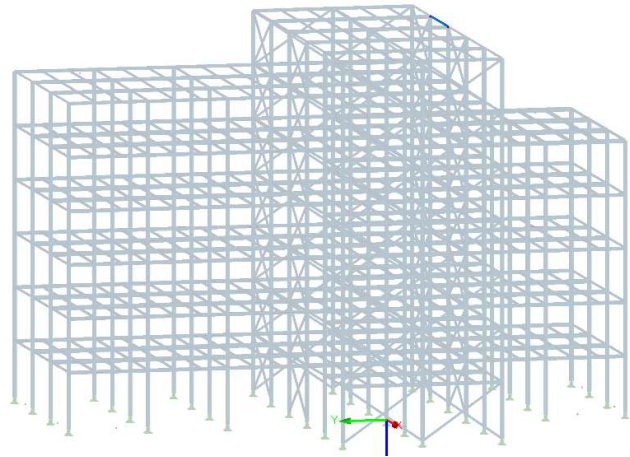


Obr. 6.7 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 32,86 \text{ kNm}$$

Prut číslo 657, kombinace výsledků 1

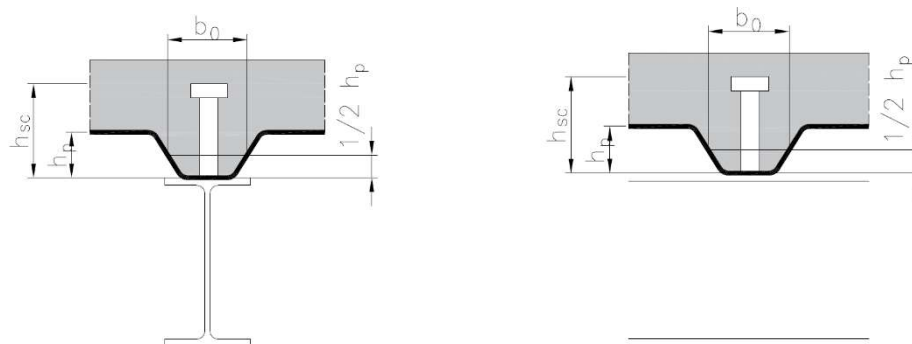


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,14 + 0,0485 - \frac{0,0303}{2} - \frac{0,14}{2} = 0,1799 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,1799 = 69,46 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{32,86}{69,46} = 0,47 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.8 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 81,24 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:	$d = 19 \text{ mm}$
Mez pevnosti trnu:	$f_u = 450 \text{ MPa}$
Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:	$h_{sc} = 91 \text{ mm}$
	$l = 100 \text{ mm}$
	$h_{sc} / d = 4,7895$
Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu:	$n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{386,11}{81,66} = 4,73 \rightarrow 5$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

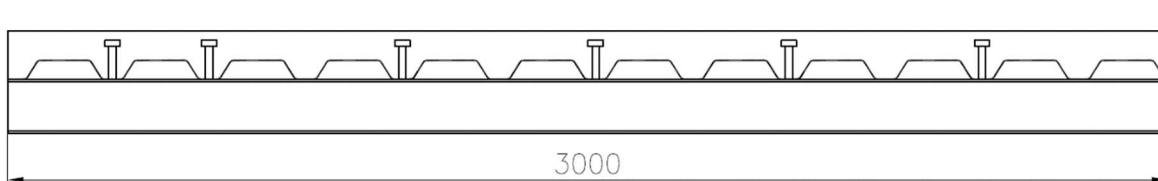
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 6$$

$6 \geq 5$... **VYHOVUJE**



Obr. 6.9 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 21,63 \text{ kN}$$

Prut číslo 657, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5,988 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 81,24 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{21,63}{81,24} = 0,27 \leq 1,00 \text{ ... VYHOVUJE}$$

6.2.1.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 23,12 \text{ kNm}$$

Prut číslo 657, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 750 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 2,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 140

Výška stropnice:

$$h_a = 140 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 1,643 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 5,412 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 0,750 \cdot 0,0765 = 0,0574 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 1,643 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0574}{13,125} = 6,000 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 0,195 = 3,204 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 0,0574 \cdot 0,03825 = 2,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 3,204 \cdot 10^{-4} + \frac{2,195 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 4,876 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{4,876 \cdot 10^{-4}}{6,000 \cdot 10^{-3}} = 0,0813 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 5,412 \cdot 10^{-6} + 1,643 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1137^2 = 2,666 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 2,798 \cdot 10^{-5} + 0,0574 \cdot 0,0430^2 = 1,342 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 2,666 \cdot 10^{-5} + \frac{1,342 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 3,689 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 23,12}{6^2} = 5,14 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5,14 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 3,689 \cdot 10^{-5}} = 0,0112 \text{ m} \rightarrow 11,2 \text{ mm}$$

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

$$w = 11,2 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

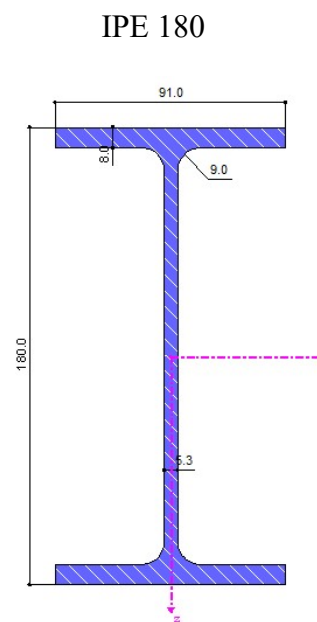
6.2.2 Spřažená střešní stropnice – vegetační střecha – krajní stropnice

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 2,395 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 1,125 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 1,317 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 1,463 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 1,664 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 180 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 91 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 5,3 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 8,0 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 9 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky – ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ Mpa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ Gpa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ Gpa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.2.2.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levé stropnice:	$B_l = 0 \text{ m}$
Osová vzdálenost do pravé stropnice:	$B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 0) = 0,00 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,00 + 0,75 + 0 = 0,75 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

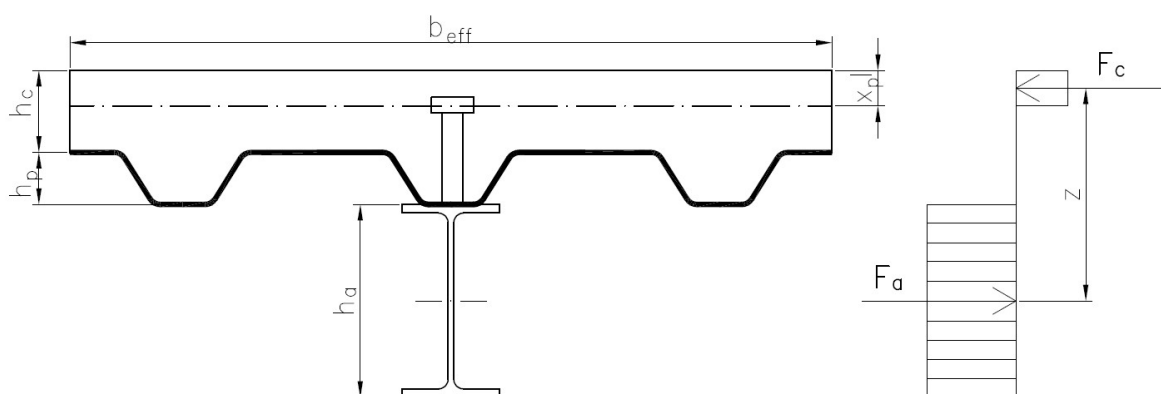
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 2,395 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,75} = 0,0441 \text{ m}$$

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

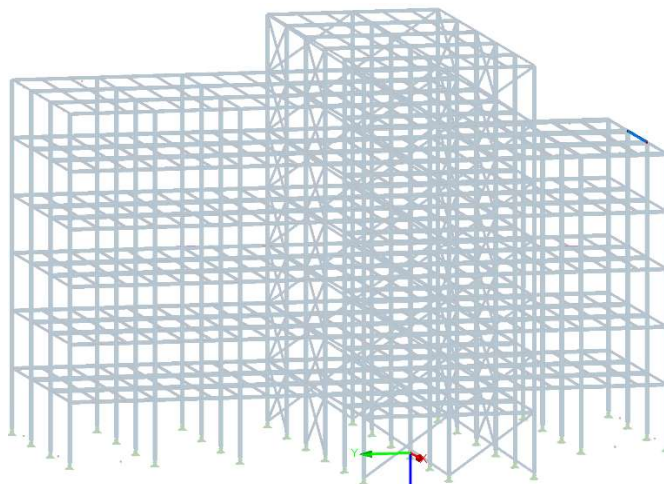


Obr. 6.10 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 69,38 \text{ kNm}$$

Prut číslo 707, kombinace výsledků 1

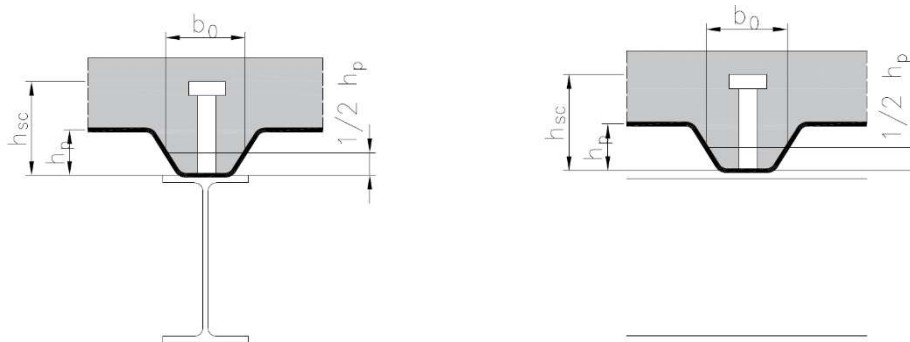


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,18 + 0,0485 - \frac{0,0441}{2} - \frac{0,18}{2} = 0,1930 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,1930 = 108,63 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{69,38}{108,63} = 0,64 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.11 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 562,83 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:	$d = 19 \text{ mm}$
Mez pevnosti trnu:	$f_u = 450 \text{ MPa}$
Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:	$h_{sc} = 91 \text{ mm}$
	$l = 100 \text{ mm}$
	$h_{sc} / d = 4,7895$
Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu:	$n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,re} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{562,83}{81,66} = 6,89 \rightarrow 7$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

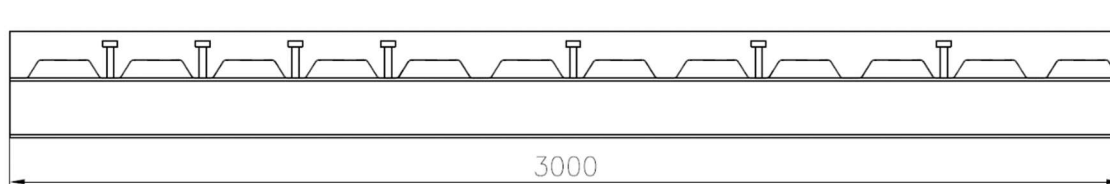
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 7$$

$$7 \geq 7 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.12 schéma rozmístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 46,12 \text{ kN}$$

Prut číslo 707, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,125 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 152,69 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{46,12}{152,69} = 0,30 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.2.2.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 48,41 \text{ kNm}$$

Prut číslo 707, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 750 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 2,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 180

Výška stropnice:

$$h_a = 180 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 2,395 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 1,317 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 0,750 \cdot 0,0765 = 0,0574 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 2,395 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0574}{13,125} = 6,800 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 0,215 = 5,149 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 0,0574 \cdot 0,0383 = 2,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 5,149 \cdot 10^{-4} + \frac{2,195 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 6,821 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{6,821 \cdot 10^{-4}}{6,800 \cdot 10^{-3}} = 0,1003 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,317 \cdot 10^{-5} + 2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1147^2 = 4,476 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 2,798 \cdot 10^{-5} + 0,0574 \cdot 0,0621^2 = 2,490 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 4,476 \cdot 10^{-5} + \frac{2,490 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 6,364 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 48,41}{6^2} = 10,76 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,76 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 6,364 \cdot 10^{-5}} = 0,0136 \text{ m} \rightarrow 13,6 \text{ mm}$$

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

$$w = 13,6 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

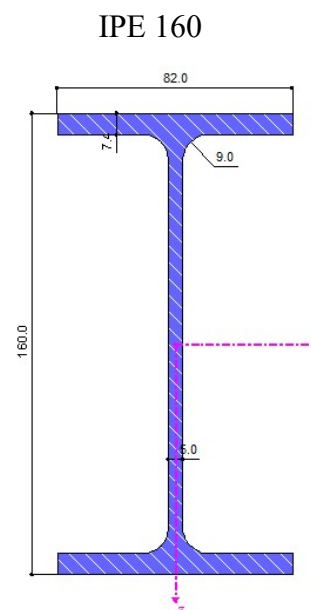
6.2.3 Spřažená stropnice – typické podlaží – krajní stropnice

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 2,009 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 7,333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 8,693 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 1,087 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 1,239 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 160 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 82 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 5,0 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 7,4 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 9 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.2.3.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levé stropnice:	$B_l = 0 \text{ m}$
Osová vzdálenost do pravé stropnice:	$B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 0) = 0,00 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,00 + 0,75 + 0 = 0,75 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

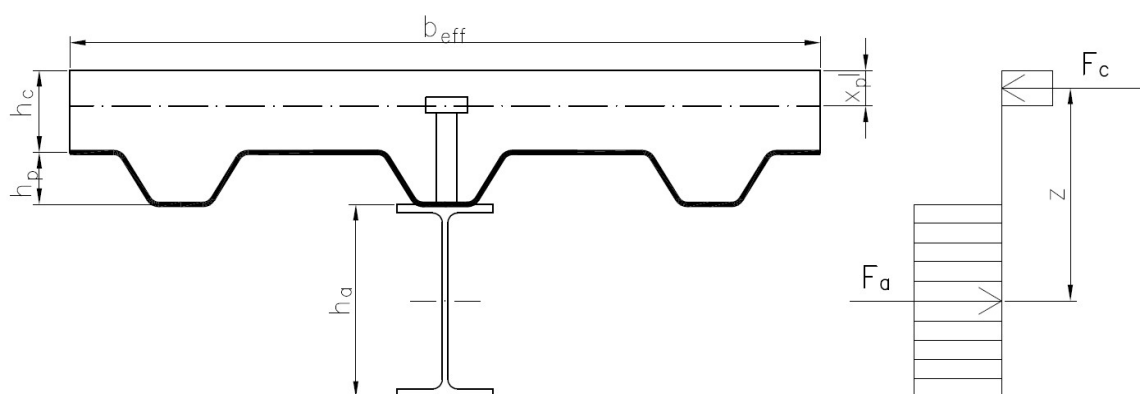
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 2,009 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,75} = 0,0370 \text{ m}$$

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

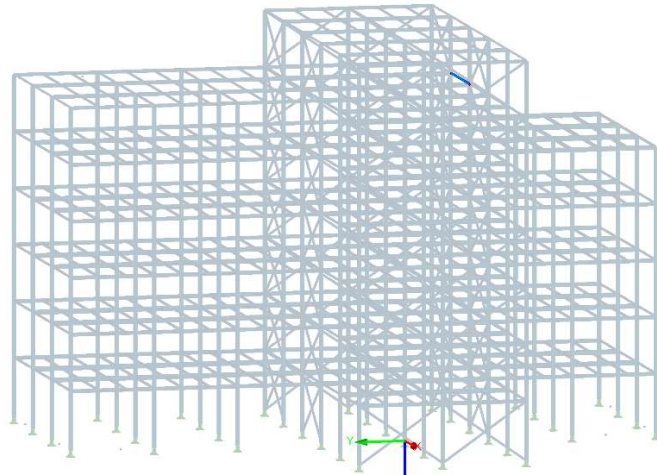


Obr. 6.13 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 59,61 \text{ kNm}$$

Prut číslo 652, kombinace výsledků 1

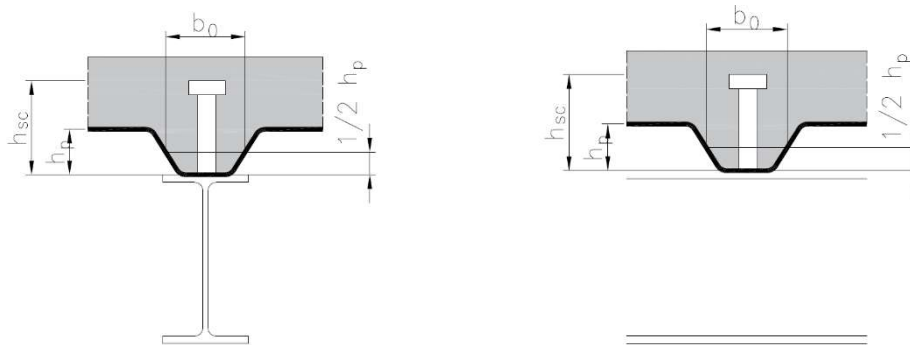


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,16 + 0,0485 - \frac{0,0370}{2} - \frac{0,16}{2} = 0,1865 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,1865 = 88,05 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{59,61}{88,05} = 0,68 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.14 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 472,12 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:	$d = 19 \text{ mm}$
Mez pevnosti trnu:	$f_u = 450 \text{ MPa}$
Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:	$h_{sc} = 91 \text{ mm}$
	$l = 100 \text{ mm}$
	$h_{sc} / d = 4,7895$
Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu:	$n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{472,12}{81,66} = 5,78 \rightarrow 6$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

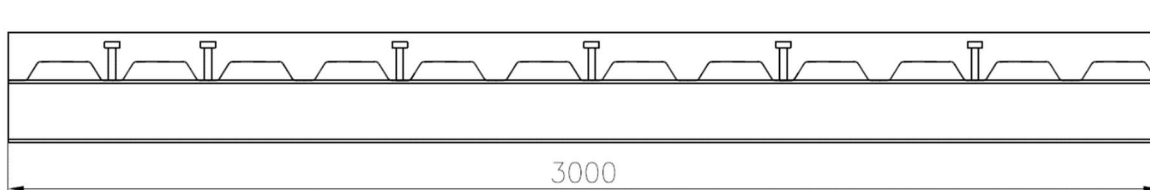
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 6$$

$$6 \geq 6 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.15 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 40,04 \text{ kN}$$

Prut číslo 652, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7,333 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 99,49 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{40,04}{99,49} = 0,40 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.2.3.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 41,34 \text{ kNm}$$

Prut číslo 652, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 750 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 2,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 160

Výška stropnice:

$$h_a = 160 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 2,009 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 8,693 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 0,750 \cdot 0,0765 = 0,0574 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 2,009 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0574}{13,125} = 6,400 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 0,205 = 4,118 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 0,0574 \cdot 0,0383 = 2,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 4,118 \cdot 10^{-4} + \frac{2,195 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 5,791 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{5,791 \cdot 10^{-4}}{6,400 \cdot 10^{-3}} = 0,0905 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 8,693 \cdot 10^{-6} + 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1145^2 = 3,504 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 2,798 \cdot 10^{-5} + 0,0574 \cdot 0,0522^2 = 1,845 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 3,504 \cdot 10^{-5} + \frac{1,845 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 4,910 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 41,34}{6^2} = 9,19 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{9,19 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 4,910 \cdot 10^{-5}} = 0,0150 \text{ m} \rightarrow 15,0 \text{ mm}$$

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

$$w = 15,0 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

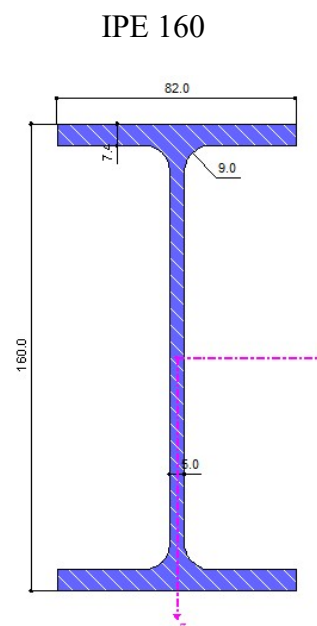
6.2.4 Spřažená střešní stropnice – standardní střecha – mezilehlá stropnice

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 2,009 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 7,333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 8,693 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 1,087 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 1,239 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 160 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 82 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 5,0 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 7,4 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 9 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.2.4.1 Mezní stav únosnosti

Účinná šířka desky:

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levé stropnice:	$B_l = 2 \text{ m}$
Osová vzdálenost do pravé stropnice:	$B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

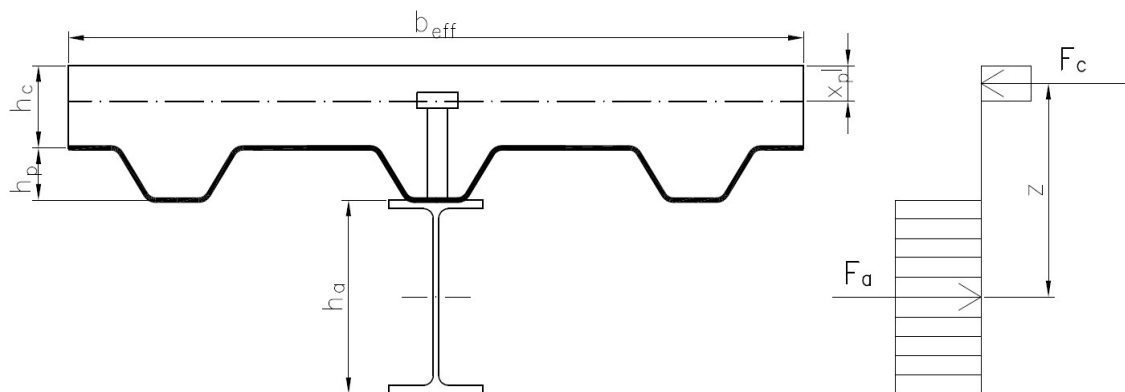
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 2,009 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0185 \text{ m}$$

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

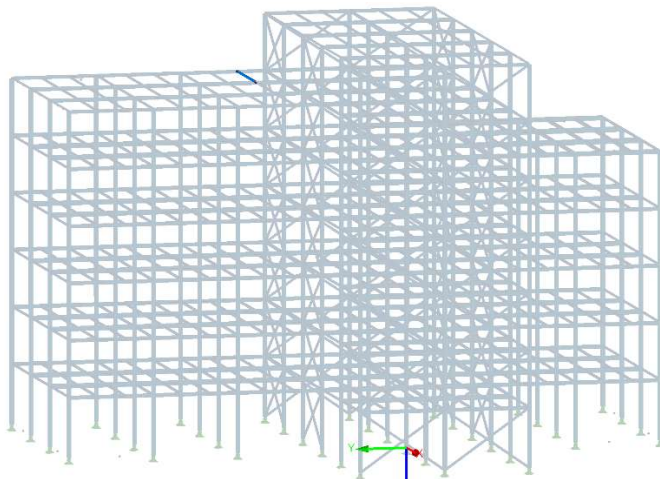


Obr.6.16 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 63,53 \text{ kNm}$$

Prut číslo 773, kombinace výsledků 1



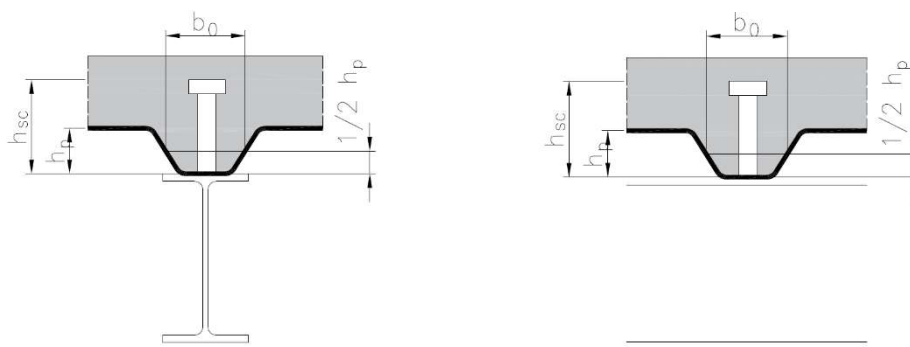
$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,16 + 0,0485 - \frac{0,0185}{2} - \frac{0,16}{2} = 0,1958 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,1958 = 92,44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{63,53}{92,44} = 0,69 \leq 1,0 \dots \text{VYHOVUJE}$$

Spřažení:



Obr. 6.17 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 472,12 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu: $d = 19 \text{ mm}$

Mez pevnosti trnu: $f_u = 450 \text{ MPa}$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu: $h_{sc} = 91 \text{ mm}$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu: $n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrované desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{472,12}{81,656} = 5,78 \rightarrow 6$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

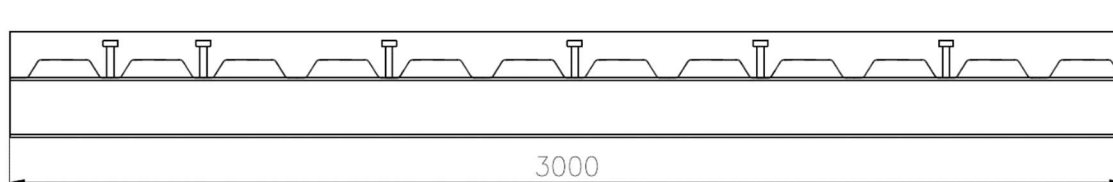
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 6$$

$$6 \geq 6 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.18 schéma rozmístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 42,26 \text{ kN}$$

Prut číslo 773, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7,333 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 99,49 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{42,26}{99,49} = 0,42 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.2.4.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 45,25 \text{ kNm}$$

Prut číslo 773, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 160

Výška stropnice:

$$h_a = 160 \text{ mm}$$

Průřezová plocha stropnice:

$$A_a = 2,009 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 8,693 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 2,009 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,080 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 0,205 = 4,118 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 4,118 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 7,463 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{7,463 \cdot 10^{-4}}{1,080 \cdot 10^{-2}} = 0,0691 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 8,693 \cdot 10^{-6} + 2,009 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1359^2 = 4,580 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0309^2 = 1,652 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 4,580 \cdot 10^{-5} + \frac{1,652 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 5,838 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 45,25}{6^2} = 10,06 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,06 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 5,838 \cdot 10^{-5}} = 0,0138 \text{ m} \rightarrow 13,8 \text{ mm}$$

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

$$w = 13,8 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.2.5 Spřažená střešní stropnice – vegetační střecha – mezilehlá stropnice

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Smyková plocha: $A_v = 1,915 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Moment setrvačnosti: $I_{a,y} = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Moduly průřezu: $W_{a,y} = 3,243 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$W_{a,y,pl} = 3,666 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu: $h_a = 240 \text{ mm}$

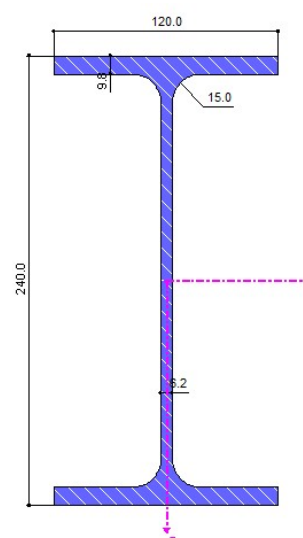
Šířka průřezu: $b_a = 120 \text{ mm}$

Tloušťka stojiny: $t_w = 6,2 \text{ mm}$

Tloušťka pásnic: $t_f = 9,8 \text{ mm}$

Poloměr zaoblení: $r = 15 \text{ mm}$

IPE 240



Materiálové charakteristiky - ocel:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E_a = 210 \text{ GPa}$ **Materiálové charakteristiky – beton:**

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.2.5.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od levé stropnice: $B_l = 2 \text{ m}$ Osová vzdálenost do pravé stropnice: $B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

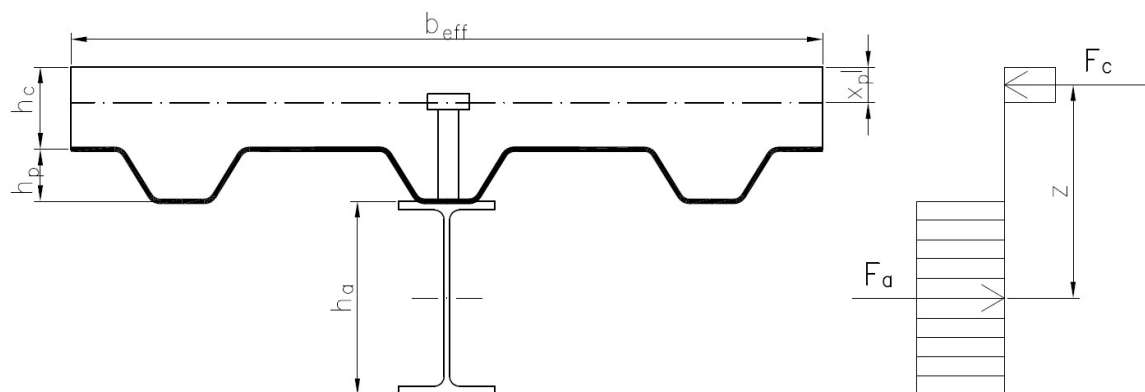
Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$ Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$ Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$ **Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:**

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 3,912 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0361 \text{ m}$$



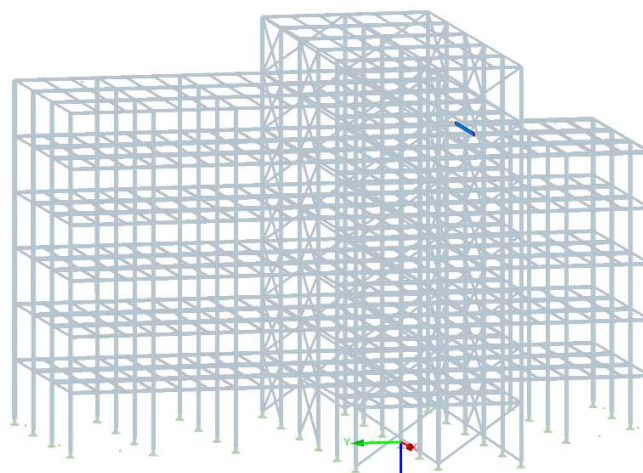
Obr. 6.19 schéma působení sil v průřezu

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 142,82 \text{ kNm}$$

Prut číslo 904, kombinace výsledků 1

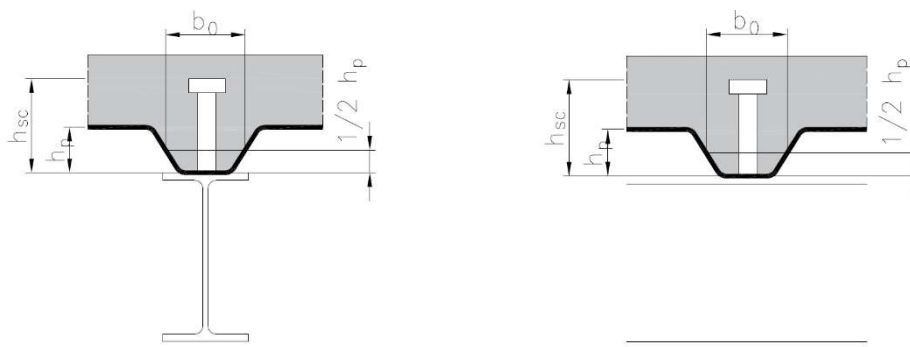


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,24 + 0,0485 - \frac{0,0361}{2} - \frac{0,24}{2} = 0,2270 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2270 = 208,69 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{142,82}{208,69} = 0,68 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.20 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 919,32 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{919,32}{81,656} = 11,26 \rightarrow 12$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

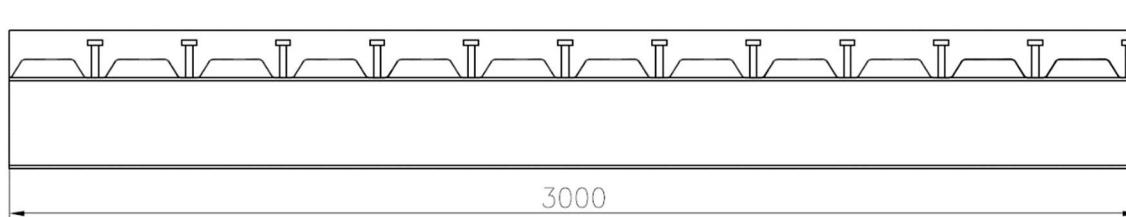
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 12$$

$$12 \geq 12 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.21 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 95,16 \text{ kN}$$

Prut číslo 904, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,915 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 259,80 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{95,16}{259,80} = 0,37 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.2.5.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 99,80 \text{ kNm}$$

Prut číslo 680, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

$$\text{Účinná šířka betonové desky:} \quad b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

$$\text{Tloušťka betonové desky:} \quad h_c = 76,5 \text{ mm}$$

$$\text{Výška žebra trapézového plechu:} \quad h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

$$\text{Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:} \quad I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 240

$$\text{Výška stropnice:} \quad h_a = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Průřezová plocha stropnice:} \quad A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:} \quad I_a = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 3,912 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,270 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,245 = 9,584 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 9,584 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,293 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,293 \cdot 10^{-3}}{1,270 \cdot 10^{-2}} = 0,1018 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 3,892 \cdot 10^{-5} + 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1432^2 = 1,191 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,11475 \cdot 0,0636^2 = 5,194 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 1,191 \cdot 10^{-4} + \frac{5,194 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 1,587 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 99,80}{6^2} = 22,18 \text{ kN/m}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{22,18 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,587 \cdot 10^{-4}} = 0,0112 \text{ m} \rightarrow 11,2 \text{ mm}$$

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

$$w = 11,2 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.2.6 Sprážená stropnice – typické podlaží – mezilehlá stropnice

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:

$$A_a = 2,848 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Smyková plocha:

$$A_v = 1,400 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti:

$$I_{a,y} = 1,943 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Moduly průřezu:

$$W_{a,y} = 1,940 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{a,y,pl} = 2,206 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:

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

Šířka průřezu:

$$b_a = 100 \text{ mm}$$

Tloušťka stojiny:

$$t_w = 5,6 \text{ mm}$$

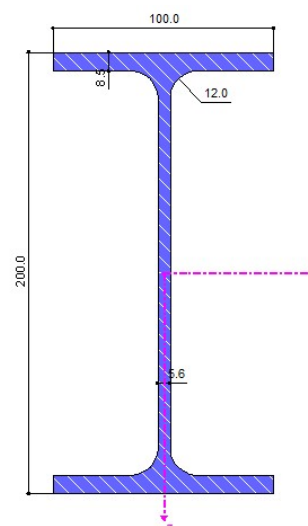
Tloušťka pásnic:

$$t_f = 8,5 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení:

$$r = 12 \text{ mm}$$

IPE 200



Materiálové charakteristiky – ocel:

Mez kluzu oceli:

$$f_y = 235 \text{ Mpa}$$

Modul pružnosti:

$$E_a = 210 \text{ Gpa}$$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$

Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ Gpa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.2.6.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**

Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od levé stropnice: $B_l = 2 \text{ m}$

Osová vzdálenost do pravé stropnice: $B_p = 2 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 1) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

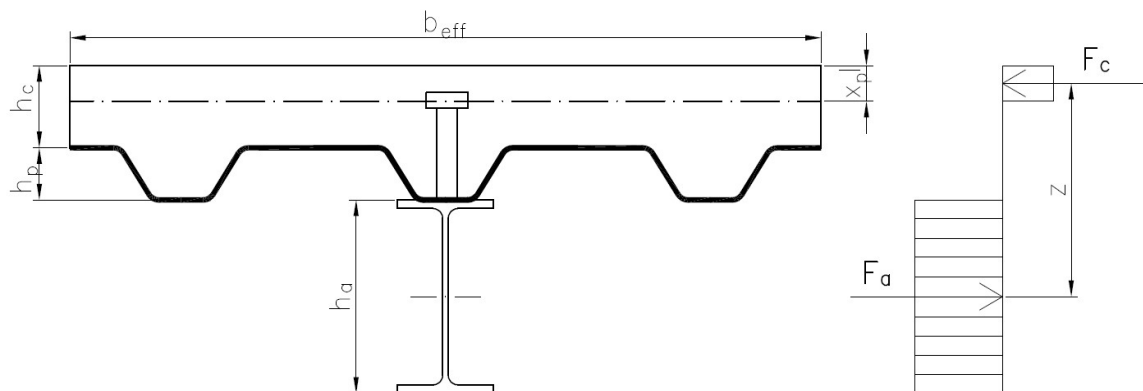
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 2,848 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0262 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

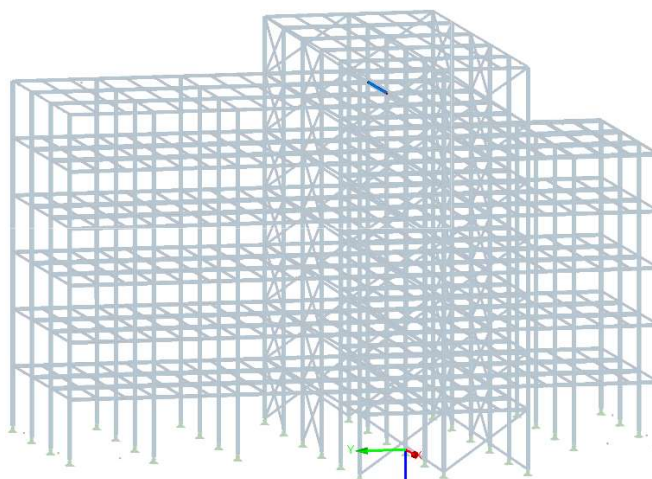


Obr. 6.22 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 115,37 \text{ kNm}$$

Prut číslo 513, kombinace výsledků 1

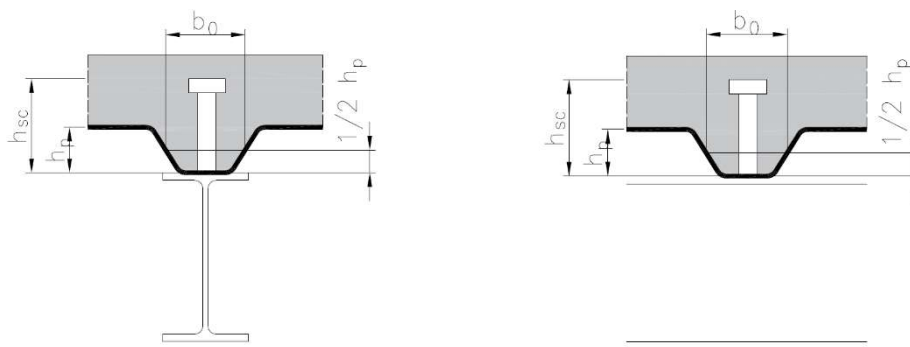


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,20 + 0,0485 - \frac{0,0262}{2} - \frac{0,20}{2} = 0,2119 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2119 = 141,82 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{115,37}{141,82} = 0,81 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.23 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 669,28 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra kolmo k ose nosníku):

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,125}{0,0485} - 1 \right) = 1,062 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_t = 81,66 \cdot 1,0 = 81,66 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{669,28}{81,656} = 9,00 \rightarrow 10$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

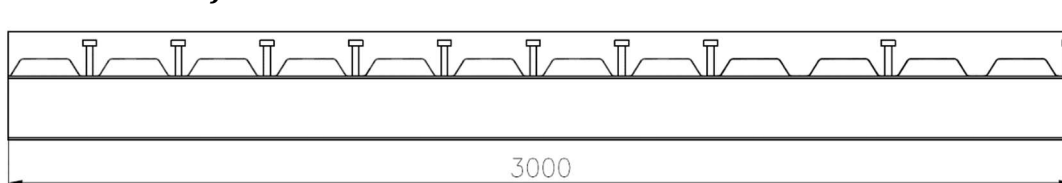
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 10$$

$$10 \geq 10 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.24 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 75,46 \text{ kN}$$

Prut číslo 513, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,400 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 189,98 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{75,46}{189,98} = 0,40 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.2.6.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 82,44 \text{ kNm}$$

Prut číslo 513, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

$$\text{Účinná šířka betonové desky:} \quad b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

$$\text{Tloušťka betonové desky:} \quad h_c = 76,5 \text{ mm}$$

$$\text{Výška žebra trapézového plechu:} \quad h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

$$\text{Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:} \quad I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Stropnice IPE 200

$$\text{Výška stropnice:} \quad h_a = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Průřezová plocha stropnice:} \quad A_a = 2,848 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Moment setrvačnosti stropnice k vlastní těžišťové ose:} \quad I_a = 1,943 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 2,848 \cdot 10^{-3} + \frac{0,11475}{13,125} = 1,160 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 0,225 = 6,408 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 6,408 \cdot 10^{-4} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 9,752 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{9,752 \cdot 10^{-4}}{1,160 \cdot 10^{-2}} = 0,0841 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,943 \cdot 10^{-5} + 2,848 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1409^2 = 7,599 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0458^2 = 2,969 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 7,599 \cdot 10^{-5} + \frac{2,969 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 9,861 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$q = \frac{8 \cdot M_{Ek}}{l^2} = \frac{8 \cdot 82,44}{6^2} = 18,32 \text{ kN/m}$$

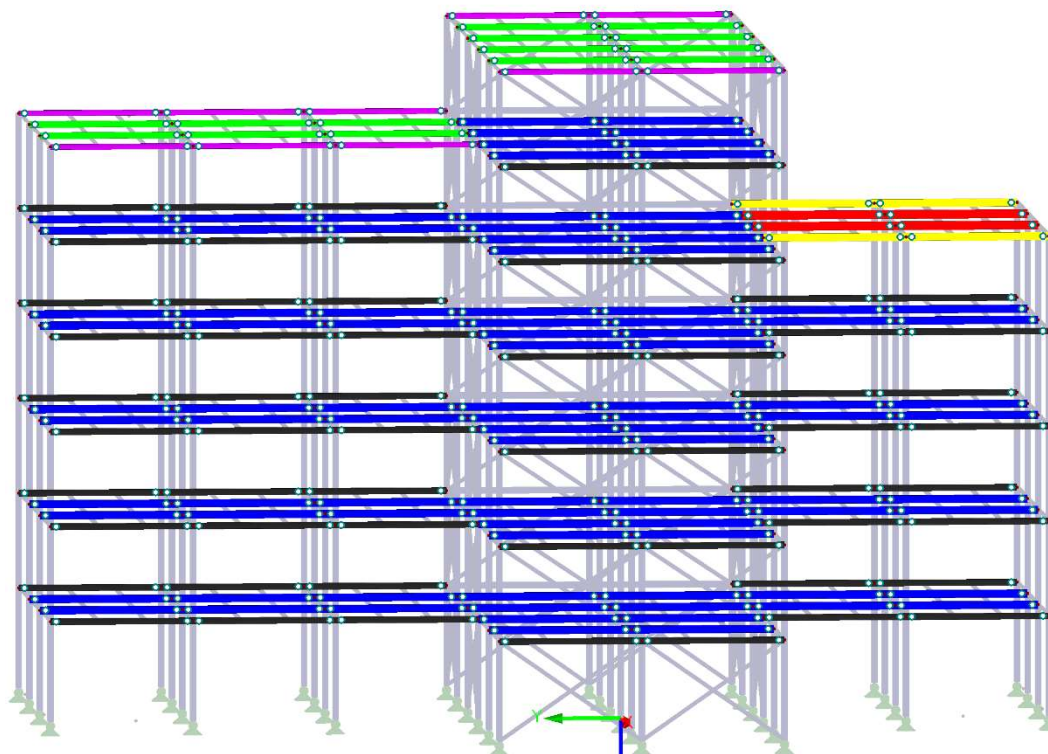
$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{18,32 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 9,861 \cdot 10^{-5}} = 0,0150 \text{ m} \rightarrow 15,0 \text{ mm}$$

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

$$w = 15,0 \text{ mm} \leq w_{lim} = 24 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3 Posouzení průvlaků

Schéma umístění jednotlivých typů průvlaků:



Obr. 6.25 schéma umístění jednotlivých typů průvlaků

Typická střecha – krajní průvlak	
Typická střecha – mezilehlý průvlak	
Vegetační střecha – krajní průvlak	
Vegetační střecha – mezilehlý průvlak	
Typické podlaží – krajní průvlak	
Typické podlaží – mezilehlý průvlak	

Přesné rozložení je vidět na půdoryse střešní konstrukce a půdoryse typického podlaží, kde jsou jednotlivé prvky popsány a u každého je uvedena dimenze jednotlivého prvku.

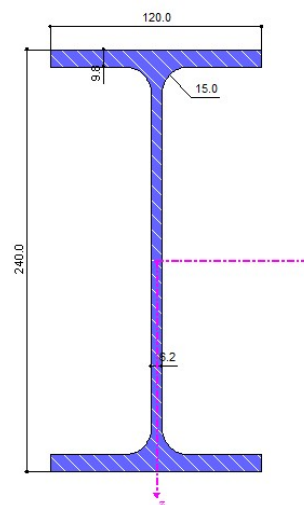
6.3.1 Spřažený střešní průvlak– typická střecha – krajní průvlak**Průřezové charakteristiky:**

Plocha průřezu:	$A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 1,915 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 3,243 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 3,666 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 240 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 120 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 6,2 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 9,8 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 15 \text{ mm}$

IPE 240

**Materiálové charakteristiky - ocel:**

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu:	C 30/37
Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Sečnový modul pružnosti betonu:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.3.1.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**

Roznášecí délka zatížení:	$l_0 = 6 \text{ m}$
Osová vzdálenost od levého průvlaku:	$B_l = 0 \text{ m}$
Osová vzdálenost od pravého průvlaku:	$B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 0) = 0,00 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,00 + 0 = 0,75 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

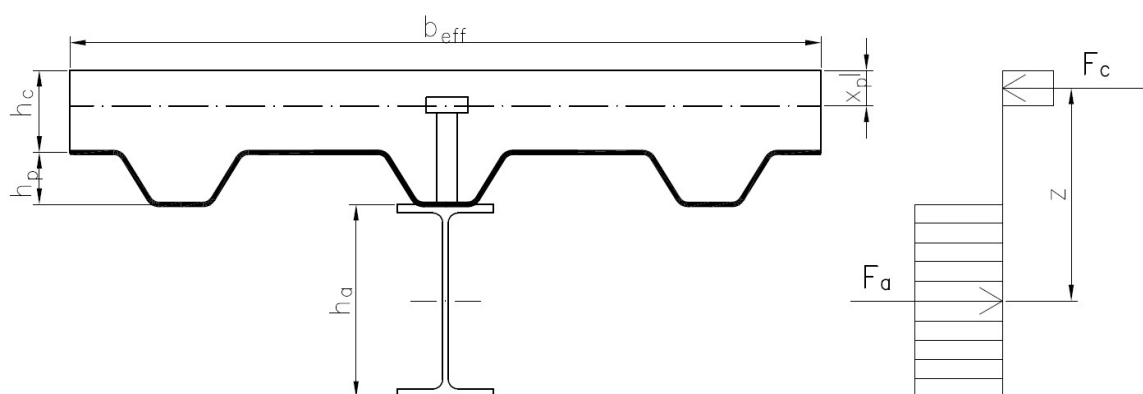
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 3,912 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,75} = 0,0721 \text{ m}$$

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

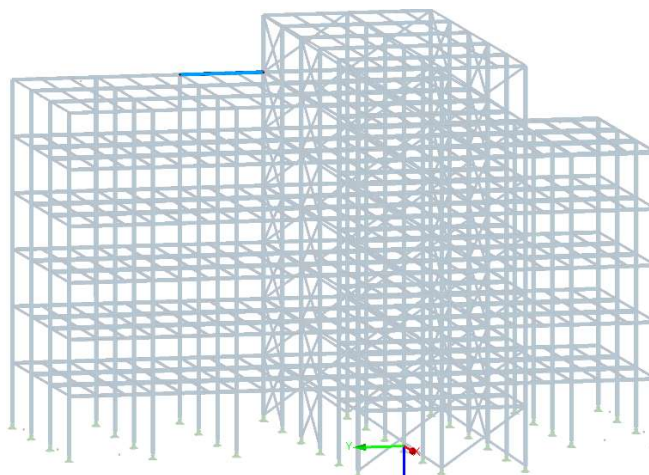


Obr. 6.26 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$\max M_{ed} = 84,05 \text{ kNm}$

Prut číslo 771, kombinace výsledků 1



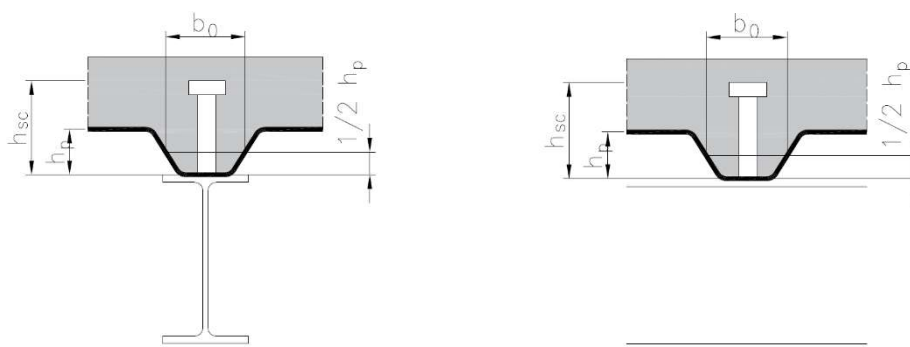
$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,24 + 0,0485 - \frac{0,0721}{2} - \frac{0,24}{2} = 0,2090 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2090 = 192,14 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{84,05}{192,14} = 0,44 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:



Obr. 6.27 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 919,32 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu: $d = 19 \text{ mm}$

Mez pevnosti trnu: $f_u = 450 \text{ MPa}$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu: $h_{sc} = 91 \text{ mm}$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žeburu: $n_r = 1$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrované desce (žebra rovnoběžně k ose nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{919,32}{74,36} = 12,36 \rightarrow 13$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

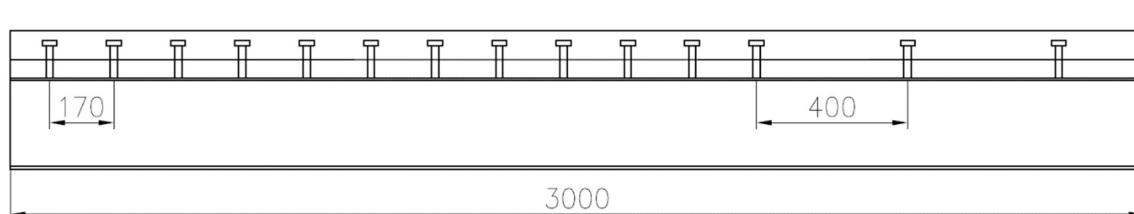
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 14$$

$$14 \geq 13 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.28 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 42,24 \text{ kN}$$

Prut číslo 771, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,915 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 259,80 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{42,24}{259,80} = 0,16 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.1.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 60,94 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 30,85 \text{ kN}$$

Prut číslo 771, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 750 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 2,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 240

Výška průvlaku:

$$h_a = 240 \text{ mm}$$

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 3,912 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 3,892 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 0,750 \cdot 0,0765 = 0,0574 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 3,912 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0574}{13,125} = 8,300 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,245 = 9,584 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 0,0574 \cdot 0,0383 = 2,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 9,584 \cdot 10^{-4} + \frac{2,195 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,126 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,126 \cdot 10^{-3}}{8,300 \cdot 10^{-3}} = 0,1356 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 3,892 \cdot 10^{-5} + 3,912 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1094^2 = 8,572 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 2,798 \cdot 10^{-5} + 0,0574 \cdot 0,0974^2 = 5,720 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 8,572 \cdot 10^{-4} + \frac{5,720 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 1,293 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{30,85 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,293 \cdot 10^{-4}} = 0,0087 \text{ m} \rightarrow 8,7 \text{ mm}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,31 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,293 \cdot 10^{-4}} = 0,0002 \text{ m} \rightarrow 0,2 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 8,9 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.2 Sprážený střešní průvlak– vegetační střecha – krajní průvlak

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A_a = 6,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Smyková plocha: $A_v = 3,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Moment setrvačnosti: $I_{a,y} = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Moduly průřezu: $W_{a,y} = 7,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$W_{a,y,pl} = 8,043 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu: $h_a = 330 \text{ mm}$

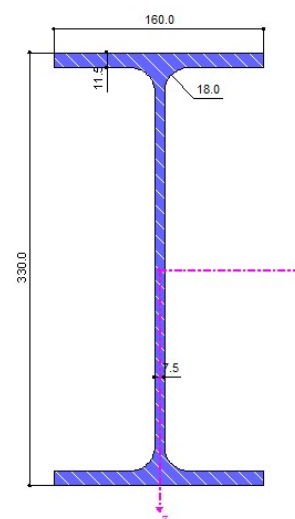
Šířka průřezu: $b_a = 160 \text{ mm}$

Tloušťka stojiny: $t_w = 7,5 \text{ mm}$

Tloušťka pásnic: $t_f = 11,5 \text{ mm}$

Poloměr zaoblení: $r = 18 \text{ mm}$

IPE 330



Materiálové charakteristiky - ocel:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E_a = 210 \text{ GPa}$ **Materiálové charakteristiky – beton:**

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.3.2.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od levého průvlaku: $B_l = 0 \text{ m}$ Osová vzdálenost od pravého průvlaku: $B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 0) = 0,00 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

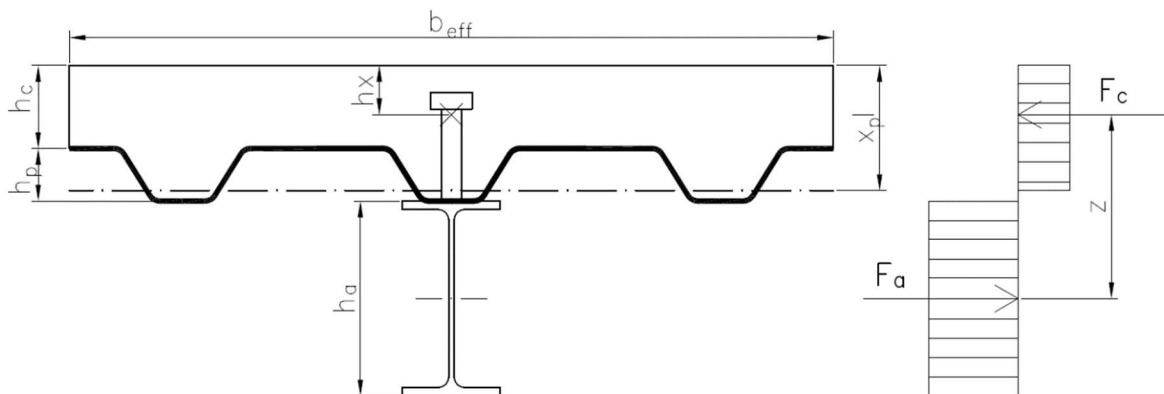
$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,00 + 0 = 0,75 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$ Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$ Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 6,261 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,75} = 0,1154 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad není potvrzen

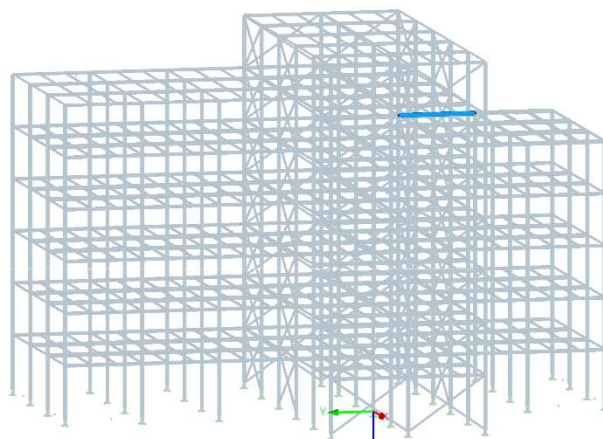


Obr. 6.29 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 193,03 \text{ kNm}$$

Prut číslo 903, kombinace výsledků 1

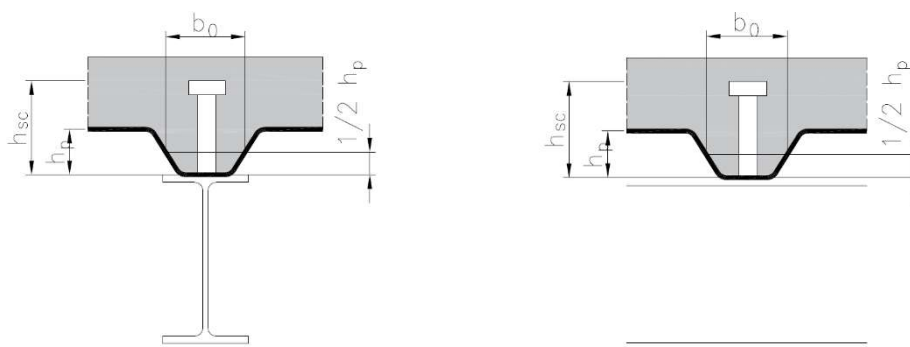


$$z = h_c + h_a + h_p - h_x - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,33 + 0,0485 - 0,0453 - \frac{0,33}{2} = 0,2447 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2447 = 261,25 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{193,03}{261,25} = 0,74 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.30 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1471,34 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně k ose nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1471,34}{74,36} = 17,79 \rightarrow 18$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

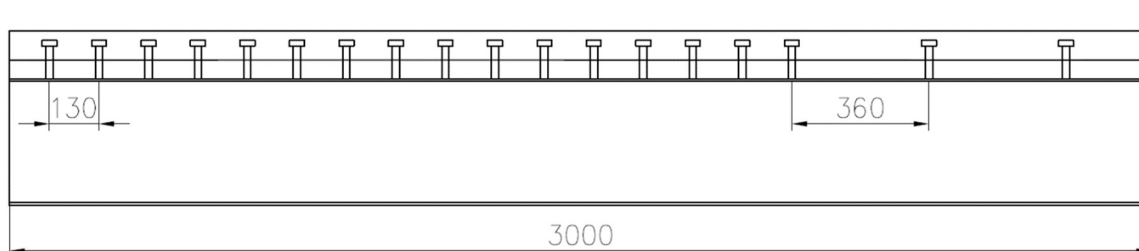
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 18$$

$$18 \geq 18 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.31 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 97,20 \text{ kN}$$

Prut číslo 903, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,081 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 418,06 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{97,20}{418,06} = 0,23 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.2.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 134,93 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 67,95 \text{ kN}$$

Prut číslo 903, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 750 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 2,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 330

Výška průvlaku:

$$h_a = 330 \text{ mm}$$

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 6,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 0,750 \cdot 0,0765 = 0,0574 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 6,261 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0574}{13,125} = 1,060 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 0,290 = 1,816 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 0,0574 \cdot 0,0383 = 2,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 1,816 \cdot 10^{-3} + \frac{2,195 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,983 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,983 \cdot 10^{-3}}{1,060 \cdot 10^{-2}} = 0,1871 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,177 \cdot 10^{-4} + 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1029^2 = 1,840 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 2,798 \cdot 10^{-5} + 0,0574 \cdot 0,1488^2 = 1,299 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 1,840 \cdot 10^{-4} + \frac{1,299 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 2,830 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{67,95 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 2,830 \cdot 10^{-4}} = 0,0088 \text{ m} \rightarrow 8,8 \text{ mm}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,49 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 2,830 \cdot 10^{-4}} = 0,0001 \text{ m} \rightarrow 0,1 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 8,9 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.3 Sprážený průvlak– typické podlaží – krajní průvlak

Průřezové charakteristiky:

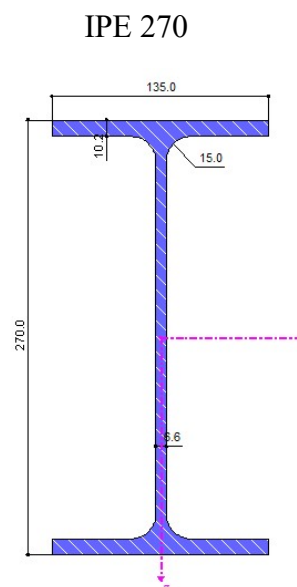
Plocha průřezu:	$A_a = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 2,300 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 4,289 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 4,840 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 270 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 135 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 6,6 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 10,2 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 15 \text{ mm}$

Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$



Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.3.3.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**

Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od levého průvlaku: $B_l = 0 \text{ m}$

Osová vzdálenost od pravého průvlaku: $B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 0) = 0,00 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,00 + 0 = 0,75 \text{ m}$$

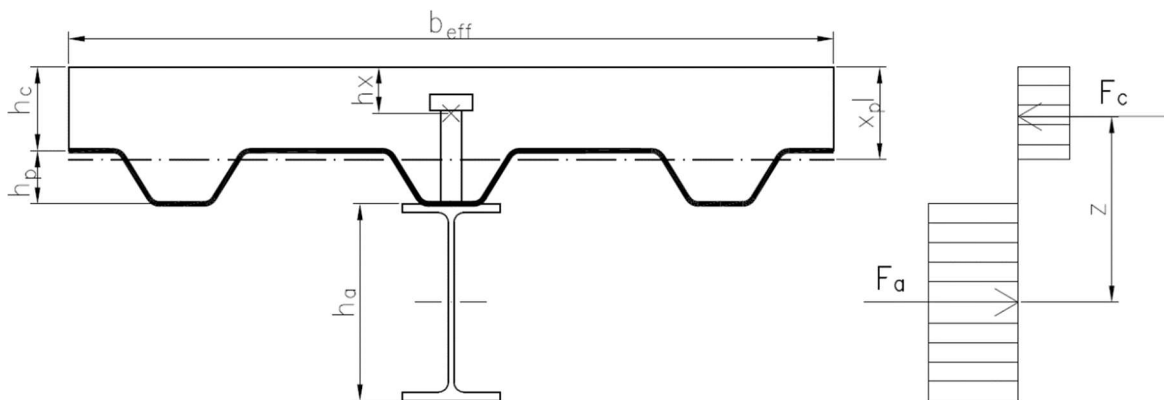
Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 4,595 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,75} = 0,0847 \text{ m}$$



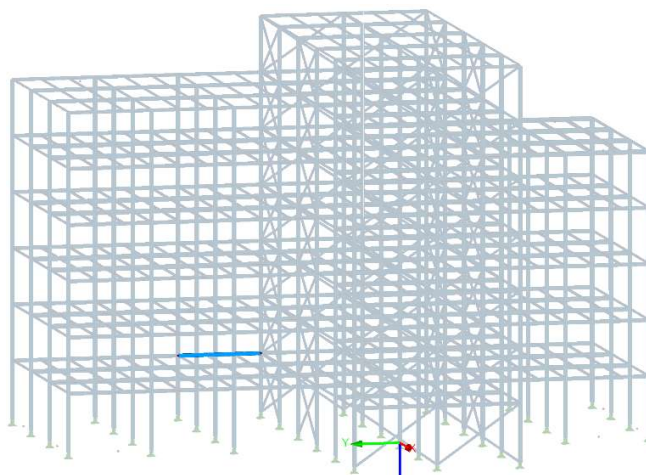
Obr. 6.32 schéma působení sil v průřezu

Plastická neutrální osa leží v plné části betonové desky – předpoklad není potvrzen

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 131,22 \text{ kNm}$$

Prut číslo 746, kombinace výsledků 1

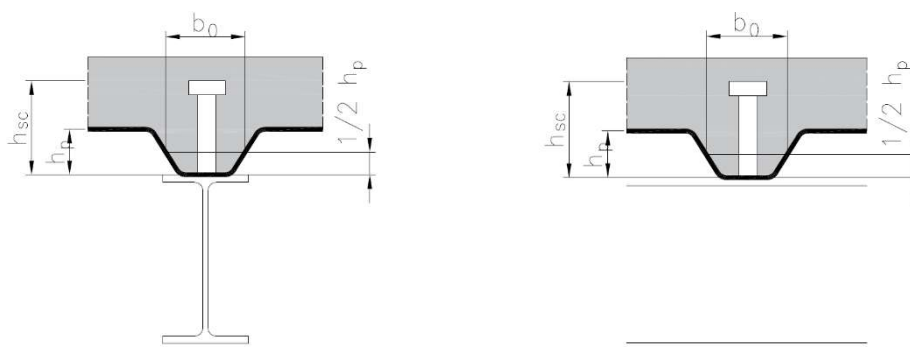


$$z = h_c + h_a + h_p - h_x - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,27 + 0,0485 - 0,0424 - \frac{0,27}{2} = 0,2176 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2176 = 234,97 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{131,22}{234,97} = 0,56 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.33 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,300 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1079,83 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně k ose nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1079,83}{74,36} = 14,52 \rightarrow 15$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

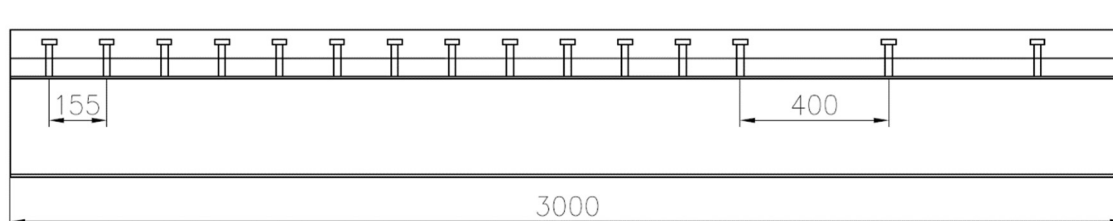
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 15$$

$$15 \geq 15 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.34 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 66,33 \text{ kN}$$

Prut číslo 746, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,300 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 312,03 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{66,33}{312,03} = 0,21 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.3.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 92,42 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 46,70 \text{ kN}$$

Prut číslo 746, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 750 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 2,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 270

Výška průvlaku:

$$h_a = 270 \text{ mm}$$

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 0,750 \cdot 0,0765 = 0,0574 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 4,595 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0574}{13,125} = 9,000 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 0,260 = 1,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 0,0574 \cdot 0,0383 = 2,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 1,195 \cdot 10^{-3} + \frac{2,195 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,362 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,362 \cdot 10^{-3}}{9,000 \cdot 10^{-3}} = 0,1513 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 5,790 \cdot 10^{-5} + 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1087^2 = 1,122 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 2,798 \cdot 10^{-5} + 0,0574 \cdot 0,1131^2 = 7,616 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 1,122 \cdot 10^{-4} + \frac{7,616 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 1,702 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{46,70 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,702 \cdot 10^{-4}} = 0,0100 \text{ m} \rightarrow 10,0 \text{ mm}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,36 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,702 \cdot 10^{-4}} = 0,0002 \text{ m} \rightarrow 0,2 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 10,2 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.4 Sprážený střešní průvlak – typická střecha – mezilehlý průvlak

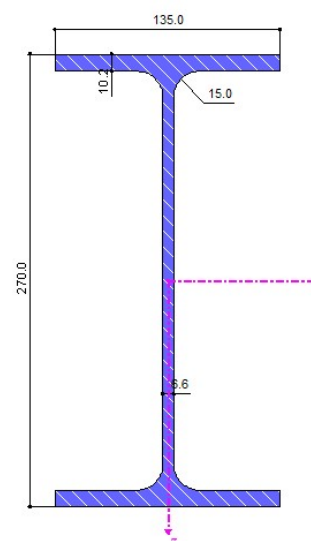
Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 2,300 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 4,289 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 4,840 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 270 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 135 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 6,6 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 10,2 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 15 \text{ mm}$

IPE 270



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.3.4.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**

Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od levého průvlaku: $B_l = 6 \text{ m}$

Osová vzdálenost od pravého průvlaku: $B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$

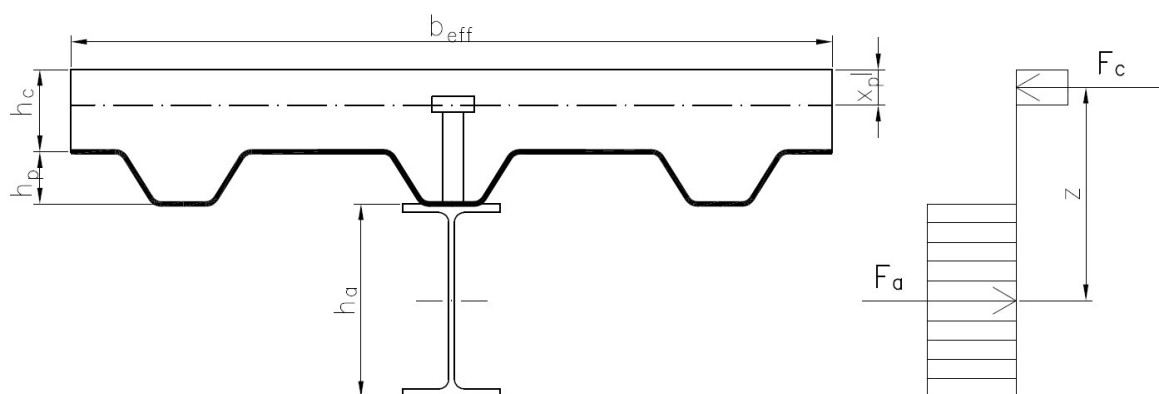
Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$

Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$

Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 4,595 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0423 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

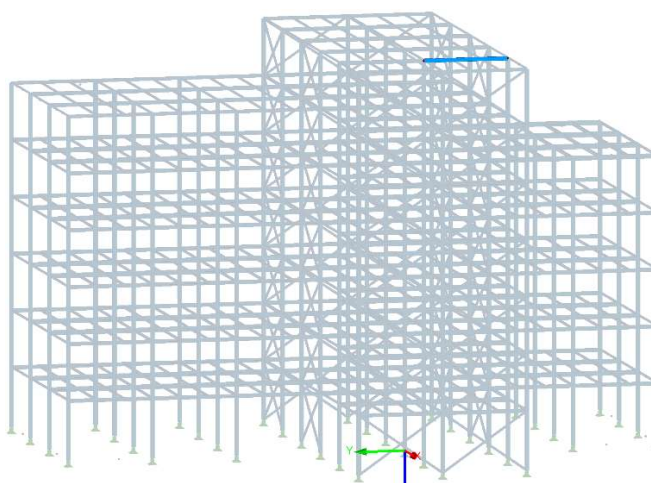


Obr. 6.35 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 168,01 \text{ kNm}$$

Prut číslo 375, kombinace výsledků 1

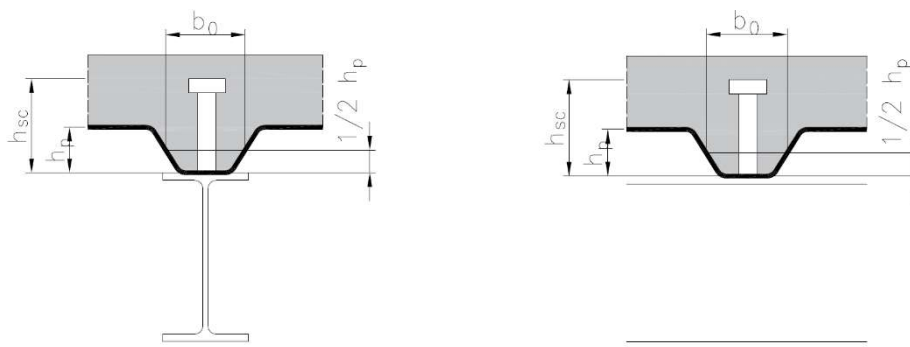


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,27 + 0,0485 - \frac{0,0423}{2} - \frac{0,27}{2} = 0,2389 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2389 = 257,97 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{168,01}{257,97} = 0,65 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.36 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 2,395 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1079,83 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně s osou nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1079,83}{74,36} = 14,52 \rightarrow 15$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

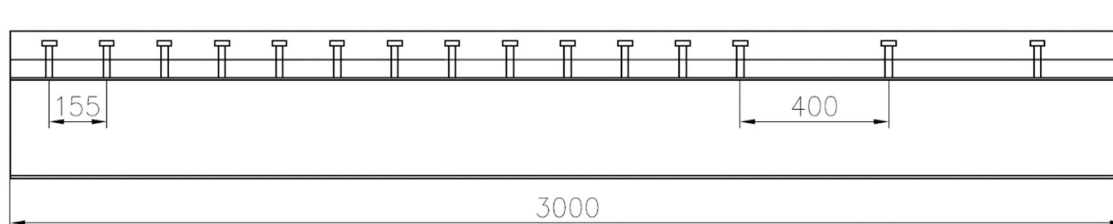
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 15$$

$$15 \geq 15 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.37 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 84,46 \text{ kN}$$

Prut číslo 375, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,300 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 312,03 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{84,46}{312,03} = 0,27 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.4.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 120,04 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 60,28 \text{ kN}$$

Prut číslo 375, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 270

Výška průvlaku:

$$h_a = 270 \text{ mm}$$

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 4,595 \cdot 10^{-3} + \frac{0,1148}{13,125} = 1,330 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 0,260 = 1,195 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 1,195 \cdot 10^{-3} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 1,529 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{1,529 \cdot 10^{-3}}{1,330 \cdot 10^{-2}} = 0,1150 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 5,790 \cdot 10^{-5} + 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1450^2 = 1,545 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0383^2 = 7,314 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 1,545 \cdot 10^{-4} + \frac{7,314 \cdot 10^{-4}}{13,125} = 2,103 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{60,28 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 2,103 \cdot 10^{-4}} = 0,0105 \text{ m} \rightarrow 10,5 \text{ mm}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,31 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 2,103 \cdot 10^{-4}} = 0,0001 \text{ m} \rightarrow 0,1 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 10,6 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.5 Spřažený střešní průvlak – vegetační střecha – mezilehlý průvlak

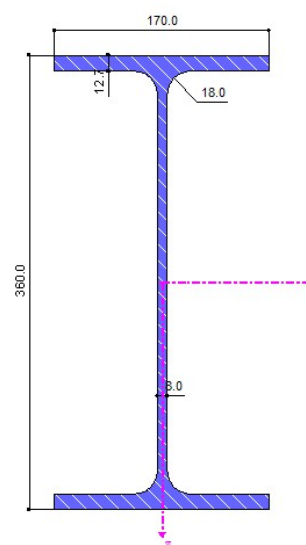
Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 7,273 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 3,514 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 1,627 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 9,036 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 1,019 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 360 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 170 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 8,0 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 12,7 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 18 \text{ mm}$

IPE 360



Materiálové charakteristiky - ocel:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_a = 210 \text{ GPa}$

Materiálové charakteristiky – beton:

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.3.5.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od levého průvlaku: $B_l = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od pravého průvlaku: $B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

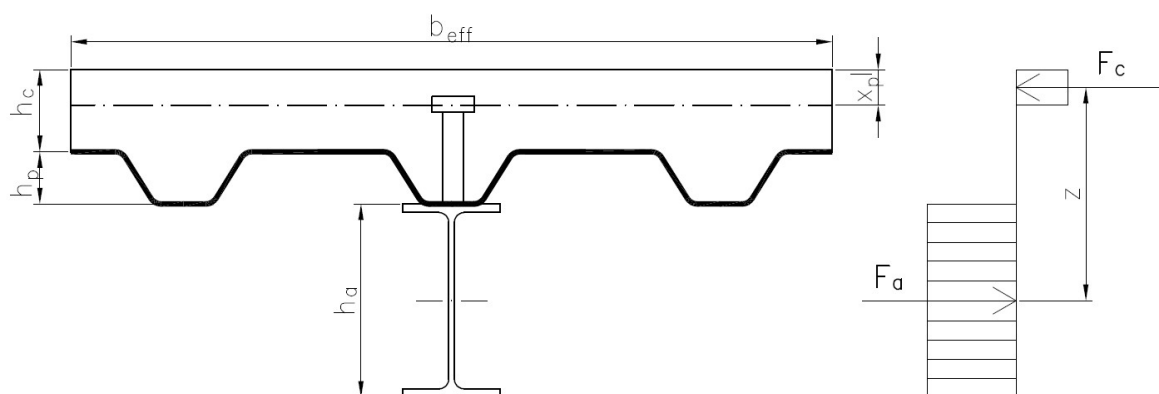
Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$ Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$ Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$ **Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:**

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 4,595 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0670 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

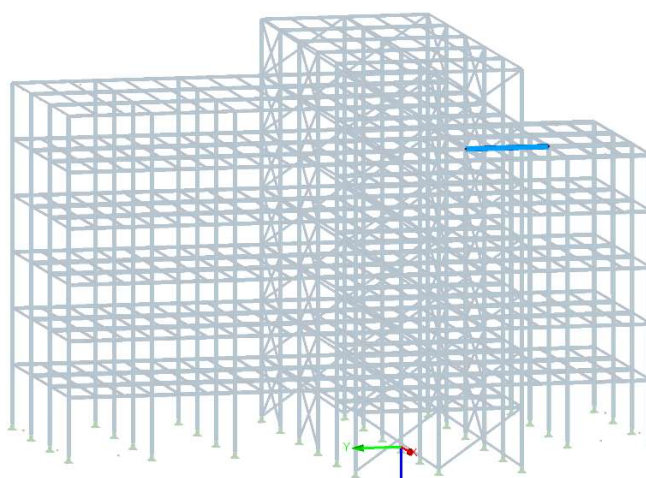


Obr. 6.38 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$$\max M_{ed} = 383,23 \text{ kNm}$$

Prut číslo 445, kombinace výsledků 1

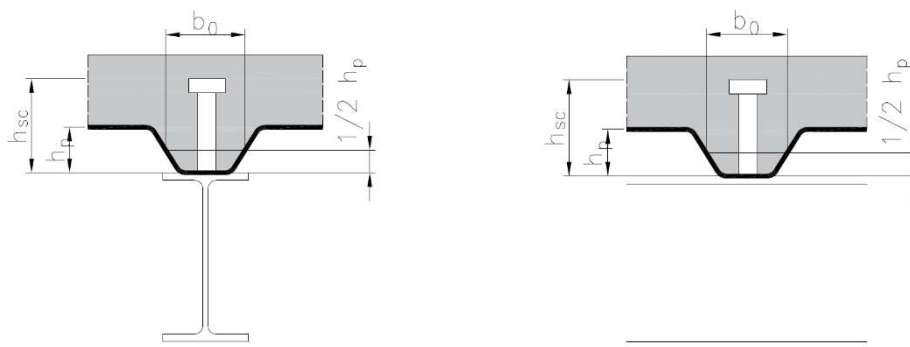


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,36 + 0,0485 - \frac{0,0670}{2} - \frac{0,36}{2} = 0,2715 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2715 = 464,04 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{383,23}{464,04} = 0,83 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.39 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1709,16 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně s osou nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1709,16}{74,36} = 22,99 \rightarrow 23$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

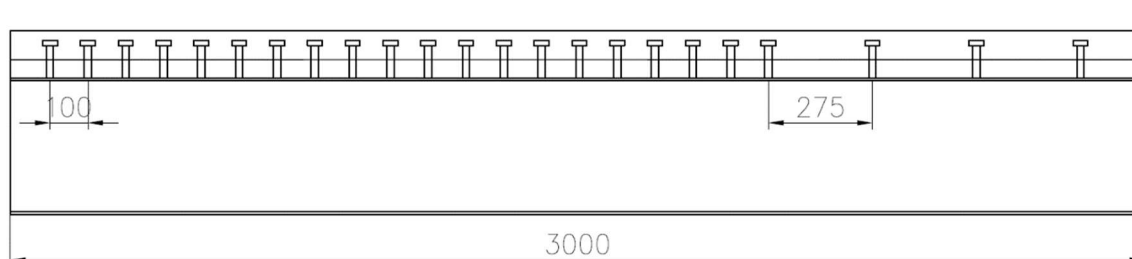
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 23$$

$$23 \geq 23 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.40 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 192,37 \text{ kN}$$

Prut číslo 445, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,514 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 476,74 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{192,37}{476,74} = 0,40 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.5.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 267,82 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 134,47 \text{ kN}$$

Prut číslo 445, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 360

Výška průvlaku:

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

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 7,273 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 1,627 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 7,273 \cdot 10^{-3} + \frac{0,1148}{13,125} = 1,600 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 0,305 = 2,218 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 2,218 \cdot 10^{-3} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 2,553 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{2,553 \cdot 10^{-3}}{1,600 \cdot 10^{-2}} = 0,1595 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,627 \cdot 10^{-4} + 7,273 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1455^2 = 3,166 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0383^2 = 1,744 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 3,166 \cdot 10^{-4} + \frac{1,744 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 4,495 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{134,47 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 4,495 \cdot 10^{-4}} = 0,0109 \text{ m} \rightarrow 10,9 \text{ mm}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,57 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 4,495 \cdot 10^{-4}} = 0,0001 \text{ m} \rightarrow 0,1 \text{ mm}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 11,0 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

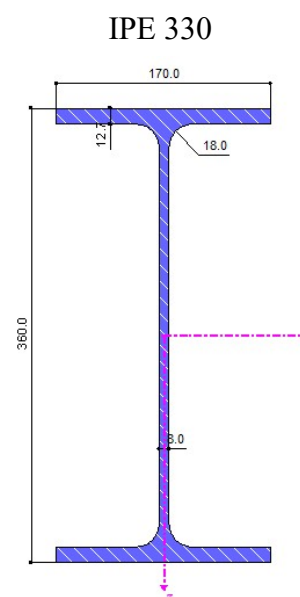
6.3.6 Spřažený průvlak – typické podlaží – mezilehlý průvlak

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A_a = 6,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Smyková plocha:	$A_v = 3,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_{a,y} = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
Moduly průřezu:	$W_{a,y} = 7,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
	$W_{a,y,pl} = 8,043 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Geometrie průřezu:

Výška průřezu:	$h_a = 330 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b_a = 170 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 7,5 \text{ mm}$
Tloušťka pásnic:	$t_f = 11,5 \text{ mm}$
Poloměr zaoblení:	$r = 18 \text{ mm}$



Materiálové charakteristiky - ocel:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E_a = 210 \text{ GPa}$ **Materiálové charakteristiky – beton:**

Třída betonu: C 30/37

Char. pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ Sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

6.3.6.1 Mezní stav únosnosti**Účinná šířka desky:**Roznášecí délka zatížení: $l_0 = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od levého průvlaku: $B_l = 6 \text{ m}$ Osová vzdálenost od pravého průvlaku: $B_p = 6 \text{ m}$

Účinná šířka betonové pásnice:

$$b_{e1} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_1\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

$$b_{e2} = \min\left(\frac{l_0}{8}; b_2\right) = \min(0,75; 3) = 0,75 \text{ m}$$

Příčná osová vzdálenost trnů: $b_t = 0 \text{ m}$

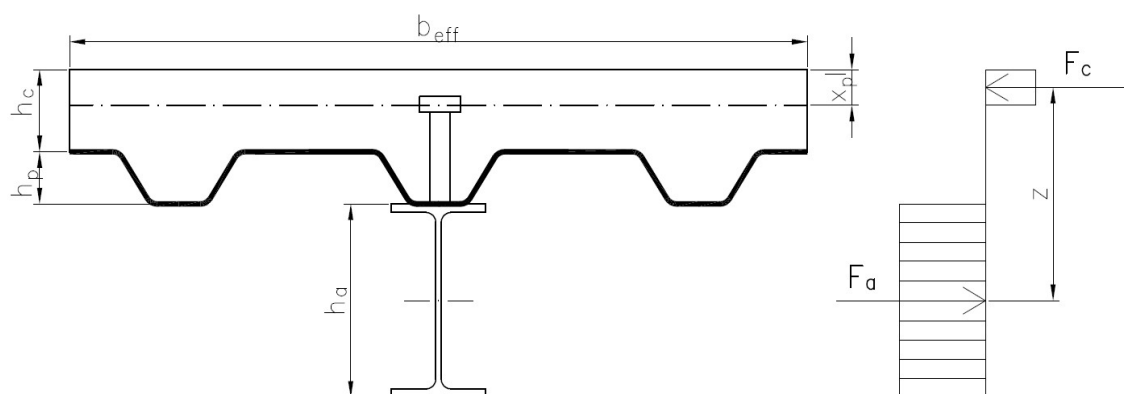
Celková účinná šířka:

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} + b_t = 0,75 + 0,75 + 0 = 1,5 \text{ m}$$

Výška desky: $h = 125 \text{ mm}$ Výška plné betonové desky: $h_c = 76,5 \text{ mm}$ Střední šířka betonového žebra $b_0 = 84 \text{ mm}$ **Předpoklad – plastická osa prochází plnou částí desky:**

$$x_{pl} = \frac{f_{yd} \cdot A_a}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{235 \cdot 10^6 \cdot 4,595 \cdot 10^{-3}}{0,85 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,5} = 0,0577 \text{ m}$$

Plastická neutrálná osa leží v plné části betonové desky – předpoklad potvrzen

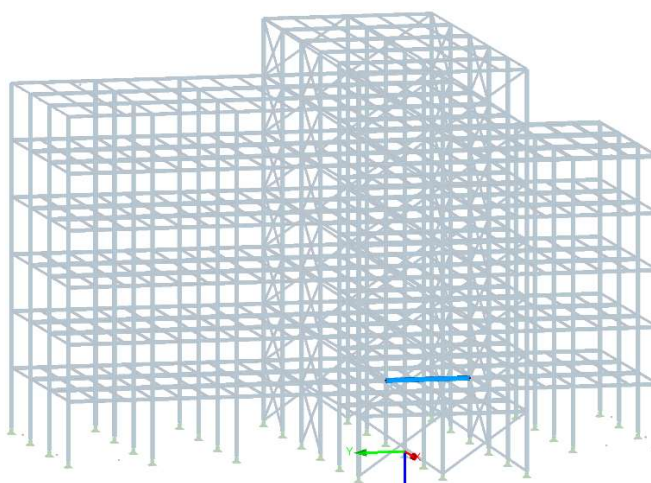


Obr. 6.41 schéma působení sil v průřezu

Posouzení na ohyb:

$\max M_{ed} = 285,18 \text{ kNm}$

Prut číslo 300, kombinace výsledků 1

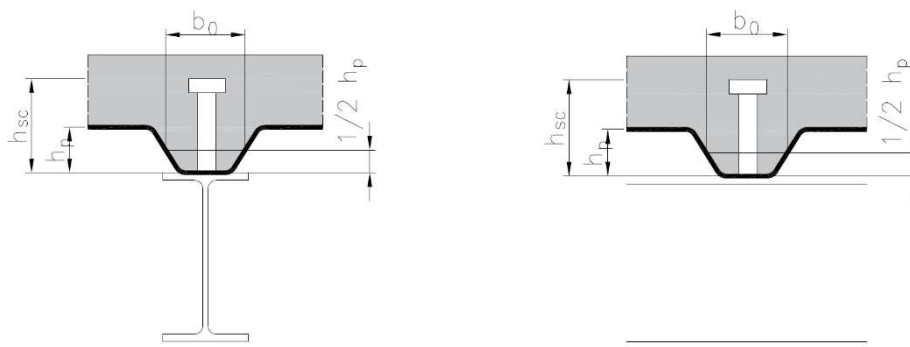


$$z = h_c + h_a + h_p - \frac{x_{pl}}{2} - \frac{h_a}{2}$$

$$z = 0,0765 + 0,33 + 0,0485 - \frac{0,0577}{2} - \frac{0,33}{2} = 0,2612 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 0,2612 = 384,31 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{285,18}{384,31} = 0,74 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Spřažení:

Obr. 6.42 schéma s označením hlavních rozměrů

Síla pro přenesení na polovině nosníku:

$$V_l = A_a \cdot f_{yd} = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1471,34 \text{ kN}$$

Únosnost spřahovacího trnu:

Průměr trnu:

$$d = 19 \text{ mm}$$

Mez pevnosti trnu:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

Celková jmenovitá výška spřahovacího trnu:

$$h_{sc} = 91 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$h_{sc} / d = 4,7895$$

Počet spřahovacích trnů v jednom žebře:

$$n_r = 1$$

Charakteristická hodnota smykové únosnosti jednoho spřahovacího prvku:

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot r^2 = 0,8 \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,007^2 = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{0,5}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot (30 \cdot 10^6 \cdot 32 \cdot 10^9)^{0,5} = 102,58 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(102,07; 102,58) = 102,07 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_v} = \frac{102,07}{1,25} = 81,66 \text{ kN}$$

Redukce únosnosti trnu v žebrové desce (žebra rovnoběžně s osou nosníku):

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{0,084}{0,0485} \cdot \left(\frac{0,091}{0,0485} - 1 \right) = 0,911 \leq 1,0$$

$$P_{Rd,red} = P_{Rd} \cdot k_l = 81,66 \cdot 0,911 = 74,36 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů:

$$n_f = \frac{V_l}{P_{Rd,red}} = \frac{1471,34}{74,36} = 19,79 \rightarrow 20$$

Konstrukční zásady:

$$s_l \leq \min(6 \cdot h_c; 800) = \min(6 \cdot 76,5; 800) = \min(459; 800) = 459 \text{ mm}$$

$$s_l \geq 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

$$s_t \geq 2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 19 = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 9 \cdot t_f \left(\frac{235}{f_{yd}} \right)^{0,5} = 9 \cdot 6,9 \left(\frac{235}{235} \right)^{0,5} = 62,1 \text{ mm}$$

$$e_D \geq 20 \text{ mm}$$

$$h_{sc} - h_p \geq 2 \cdot d$$

$$91 - 48,5 \geq 2 \cdot 19$$

$$42,5 \text{ mm} \geq 38 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Minimální krytí trnu betonem 20 mm

Nejmenší šířka žebra u trapézového plechu 50 mm

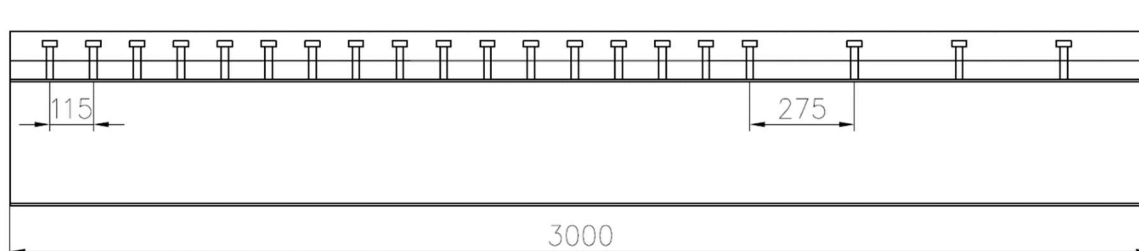
$$d_h \geq 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$h_h \geq 0,4 \cdot d = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ mm}$$

Počet trnů:

$$n = 20$$

$$20 \geq 20 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$



Obr. 6.43 schéma umístění trnů

Posouzení na smyk:

$$\max V_{ed} = 143,39 \text{ kN}$$

Prut číslo 300, kombinace výsledků 1

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,081 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 418,06 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{143,39}{418,06} = 0,34 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.3.6.2 Mezní stav použitelnosti

$$\max M_{ek} = 200,59 \text{ kNm}$$

$$F_{ek} = 100,66 \text{ kN}$$

Prut číslo 300, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace

Betonová deska

Účinná šířka betonové desky:

$$b_{eff} = 1500 \text{ mm}$$

Tloušťka betonové desky:

$$h_c = 76,5 \text{ mm}$$

Výška žebra trapézového plechu:

$$h_0 = 48,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti betonové desky k vlastní těžišťové ose:

$$I_c = 5,596 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Průvlak IPE 330

Výška stropnice:

$$h_a = 330 \text{ mm}$$

Průřezová plocha průvlaku:

$$A_a = 6,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Moment setrvačnosti průvlaku k vlastní těžišťové ose:

$$I_a = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Výpočet ideálního průřezu

$$E_c = \frac{E_{c,m}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_c} = \frac{210}{16} = 13,125$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 1,500 \cdot 0,0765 = 0,11475 \text{ m}^2$$

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 6,261 \cdot 10^{-3} + \frac{0,1148}{13,125} = 1,500 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_a = A_a \cdot z_{a,1} = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 0,290 = 1,816 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_c = A_c \cdot z_{c,1} = 1,1475 \cdot 10^{-1} \cdot 0,0383 = 4,389 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_i = S_a + \frac{S_c}{n} = 1,816 \cdot 10^{-3} + \frac{4,389 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 2,150 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$z_{i,h} = \frac{S_i}{A_i} = \frac{2,150 \cdot 10^{-3}}{1,500 \cdot 10^{-2}} = 0,1433 \text{ m}$$

$$I_{a,i} = I_a + A_a \cdot z_a^2 = 1,177 \cdot 10^{-4} + 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1467^2 = 2,542 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_{c,i} = I_c + A_c \cdot z_c^2 = 5,596 \cdot 10^{-5} + 0,1148 \cdot 0,0383^2 = 1,323 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_i = I_{a,i} + \frac{I_{c,i}}{n} = 2,542 \cdot 10^{-4} + \frac{1,323 \cdot 10^{-3}}{13,125} = 3,532 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$w = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I_i} = \frac{23}{648} \cdot \frac{100,66 \cdot 10^3 \cdot 6^3}{210 \cdot 10^9 \cdot 3,532 \cdot 10^{-4}} = 0,0104 \text{ m} \rightarrow 10,4 \text{ mm}$$

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,49 \cdot 10^3 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 3,532 \cdot 10^{-4}} = 0,0001 \text{ m} \rightarrow 0,1 \text{ mm}$$

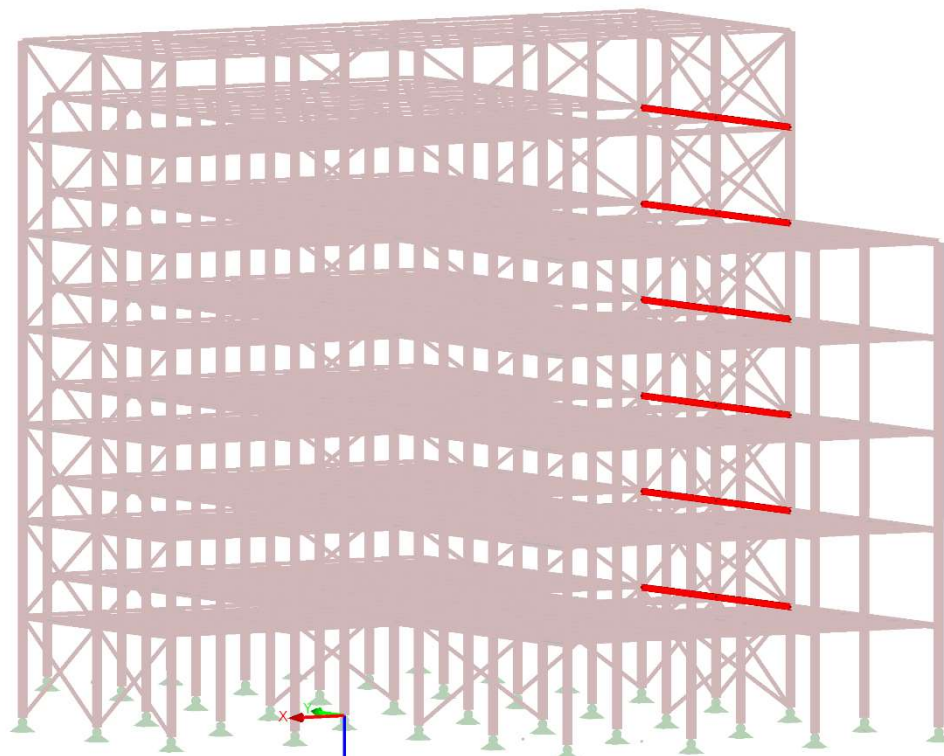
$$w_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$w = 10,5 \text{ mm} \leq w_{lim} = 15 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

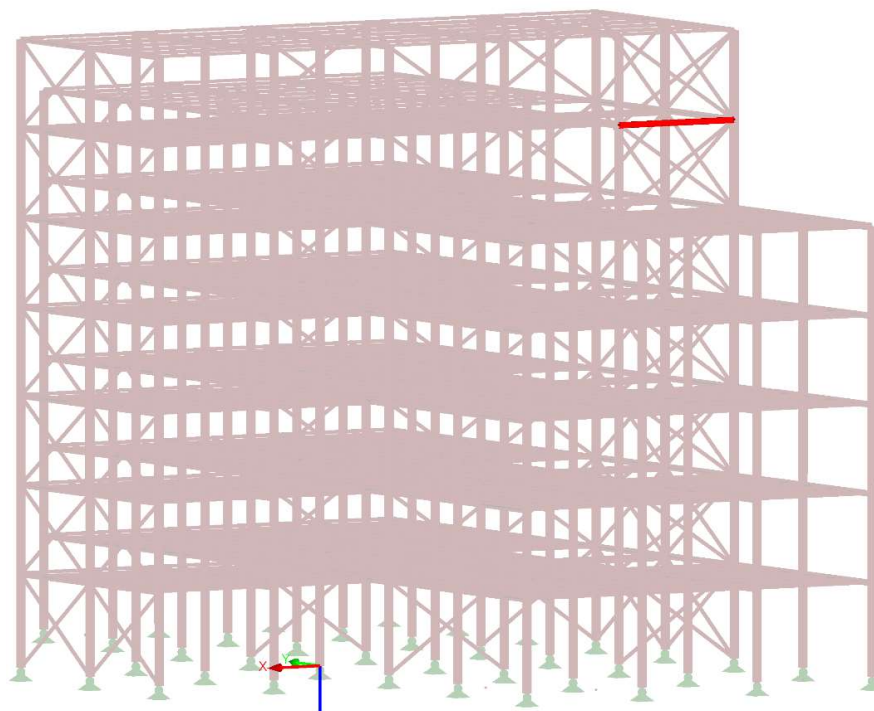
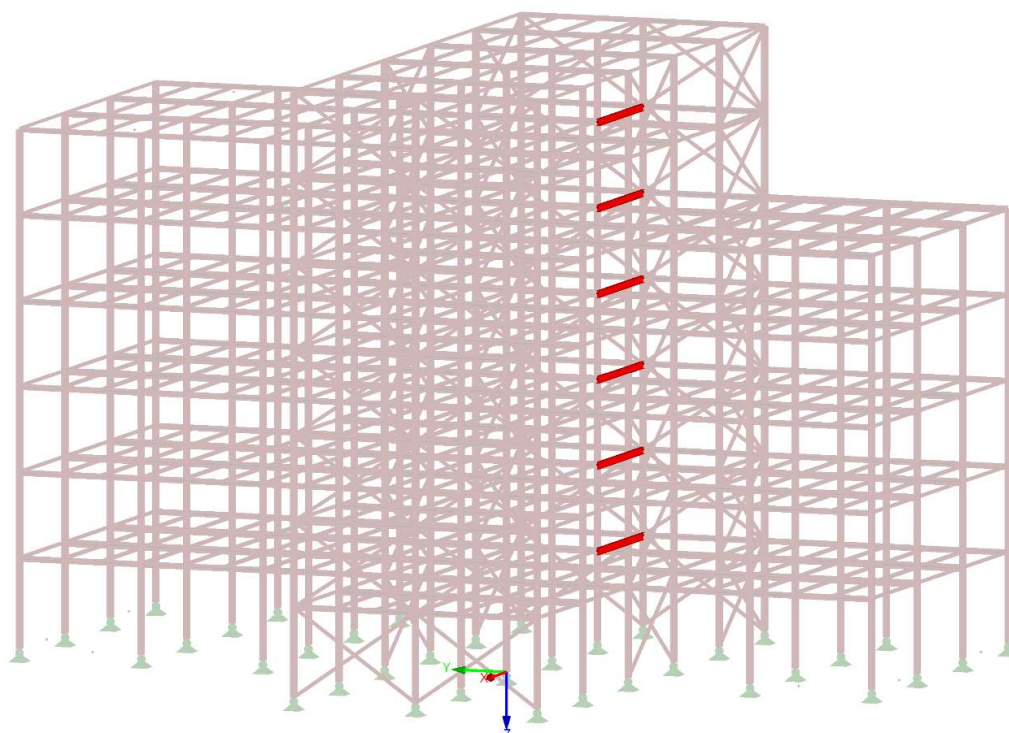
6.4 Posouzení nosníků přiléhajících ke schodišťovému prostoru

Schéma jednotlivých nosníků, které jsou součástí schodišťového prostoru:

Nosník 1



Obr. 6.44 schéma s vyznačením nosníků 1

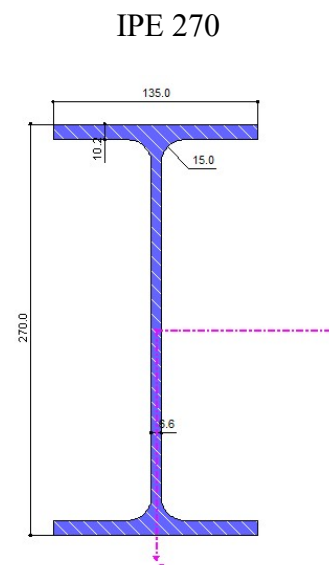
Nosník 2*Obr. 6.45 schéma s vyznačením nosníku 2***Nosník 3***Obr. 6.46 schéma s vyznačením nosníků 3*

6.4.1 Nosník přiléhající ke schodišťovému prostoru – 1

6.4.1.1 Mezní stav únosnosti

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Momenty setrvačnosti:	$I_y = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$ $I_z = 4,199 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
Poloměry setrvačnosti:	$i_y = 1,123 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ $i_z = 3,020 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
Plastický průřezový modul:	$W_{pl,y} = 4,840 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ $W_{pl,z} = 9,695 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
Účinná smyková plocha:	$A_{v,y} = 2,897 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ $A_{v,z} = 2,214 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$



Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Zatřídění stojiny

$\alpha = 0,540$ – převzato z programu RFEM

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{219,6}{6,6} \leq \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,540 - 1} \rightarrow 33,3 \leq 65,78 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Zatřídění přečnívající části pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{49,2}{10,2} = 4,8 < 9\varepsilon = 9 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,000}{1,123 \cdot 10^{-1}} = 53,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6,000}{3,020 \cdot 10^{-2}} = 198,7$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 123,46 \text{ kN}$$

Prut číslo 1320, kombinace výsledků 1

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,079,83 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{123,46}{1\,079,83} = 0,11 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 31,539 \text{ kN}$$

Prut číslo 734, kombinace výsledků 1

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,790 \cdot 10^{-5}}{6,000^2} = 3\,333,46 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{3\,333,46 \cdot 10^3}} = 0,569$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,569 - 0,2) + 0,569^2] = 0,701$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{0,701 \sqrt{0,701^2 - 0,569^2}} = 0,90 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,90 \cdot 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 971,84 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{31,53}{971,84} = 0,03 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 4,199 \cdot 10^{-6}}{6,000^2} = 241,75 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{241,75 \cdot 10^3}} = 2,113$$

křivka 2 ... $\alpha = 0,34$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,113 - 0,2) + 2,113^2] = 3,058$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{3,058 + \sqrt{3,058^2 - 2,113^2}} = 0,19 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,19 \cdot 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 205,17 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{31,39}{205,17} = 0,15 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení pro vzpěr zkroucením:

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 112,3^2 + 30,2^2 = 13\,523,33 \text{ mm}^2$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{13\,523,33 \cdot 10^{-6}} \cdot \left(81 \cdot 10^9 \cdot 1,594 \cdot 10^{-7} + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,058 \cdot 10^{-8}}{6^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 1\,255,23 \text{ kN}$$

$$\lambda_T^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1\,255,23 \cdot 10^3}} = 0,928$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_T = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_T^- - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2]$$

$$\Phi_T = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,928 - 0,2) + 0,928^2] = 1,007$$

$$\chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = \frac{1}{1,007 + \sqrt{1,007^2 - 0,928^2}} = 0,72 \leq 1,0$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{z,Ed} = 28,53 \text{ kN}$$

Prut číslo 734, kombinace výsledků 1

$$V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,214 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 300,39 \text{ kN}$$

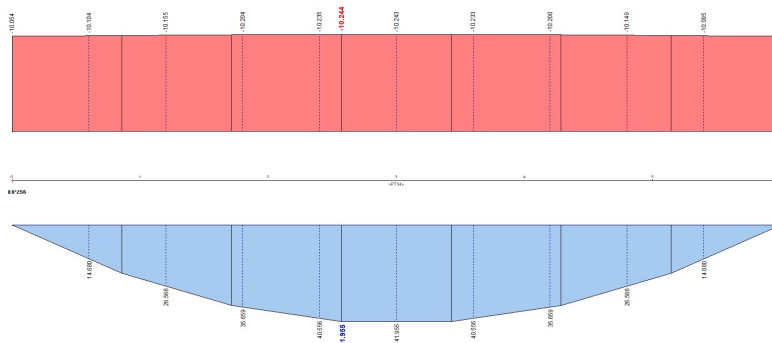
$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{28,53}{300,39} = 0,09 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osovou sílu:

$$\max M_{y,Ed} = 42,83 \text{ kNm}$$

$$\text{odp. } N_{Ed} = 10,09 \text{ kN}$$

Prut číslo 734, kombinace
výsledků 1



Výpočet kritického momentu:

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

parametr kroucení:

$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 6,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 7,058 \cdot 10^{-8}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,594 \cdot 10^{-7}}} = 0,56$$

parametr působíště zatížení:

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,135}{1,0 \cdot 6,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 4,199 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 1,594 \cdot 10^{-7}}} = 0,58$$

$\xi_j = 0 \rightarrow$ symetrický průřez

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0$$

bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right)$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \left(\sqrt{1 + 0,56^2 + (0,46 \cdot 0,58 - 0 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,58 - 0 \cdot 0) \right) = 1,03$$

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

$$M_{cr} = 1,03 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 4,199 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,594 \cdot 10^{-7}}}{6,0} = 57,54 \text{ kNm}$$

Pro další výpočet je použit kritický moment z programu RFEM:

$$M_{cr} = 56,25 \text{ kNm} \dots \text{převzato z RF - STEEL EC 3}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4,840 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{56,25 \cdot 10^3}} = 1,422$$

součinitel imperfekce ... $b = 0,34$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,422 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,422^2] = 1,432$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,432 + \sqrt{1,432^2 - 0,75 \cdot 1,422^2}} = 0,46 \leq 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1\,079,83 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 4,840 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6 = 113,74 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 41,96 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0,00 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = 0,00 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,00$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0,000}{41,96} = 0,0$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \lambda_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$c_{mz} = 0,0$$

$$c_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \lambda_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

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

$$0,95 \cdot \left(1 + (0,569 - 0,2) \cdot \frac{10,09}{\frac{0,90 \cdot 1\,079,83}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{10,09}{\frac{0,90 \cdot 1\,079,83}{1,0}} \right)$$

$$0,954 \leq 0,958 \rightarrow k_{yy} = 0,954$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,954 = 0,572$$

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

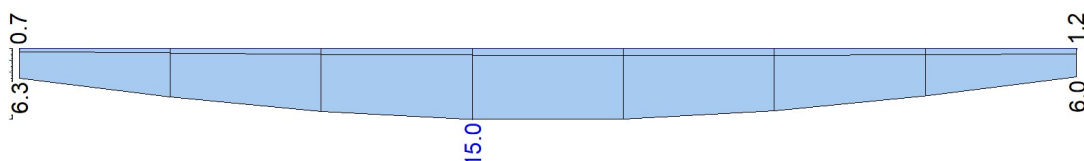
$$\frac{10,09}{\frac{0,90 \cdot 1\,079,83}{1,0}} + 0,954 \cdot \frac{42,83}{\frac{0,46 \cdot 113,74}{1,0}} = 0,79 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{10,09}{0,19 \cdot 1\,079,83} + 0,572 \cdot \frac{42,83}{0,46 \cdot 113,74} = 0,52 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.4.1.2 Mezní stav použitelnosti

Prut číslo 873, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace



Obr. 6.47 průhyb nosníku

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

$$\delta = 15,0 - \frac{6,3 + 6,0}{2} \leq \delta_{max}$$

$$\delta = 8,9 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 24 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.4.2 Nosník přiléhající ke schodišťovému prostoru – 2

6.4.2.1 Mezní stav únosnosti

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 4,595 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 5,790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

$I_z = 4,199 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Poloměry setrvačnosti: $i_y = 1,123 \cdot 10^{-1} \text{ m}$

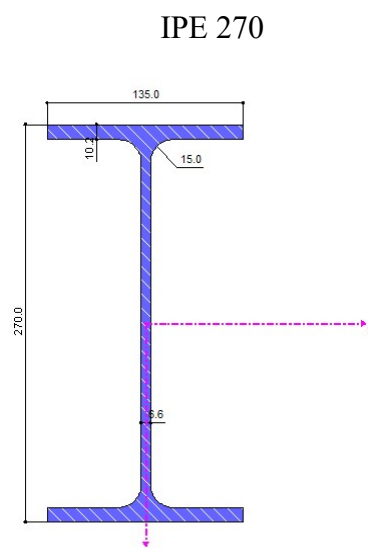
$i_z = 3,020 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 4,840 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$W_{pl,z} = 9,695 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 2,897 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$A_{v,z} = 2,214 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$



Materiálové charakteristiky:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$ **Klasifikace průřezu:**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Zatřídění stojiny

 $\alpha = 0,478$ – převzato z programu RFEM

$$\frac{c}{t} \leq \frac{36 \cdot \varepsilon}{\alpha}$$

$$\frac{219,6}{6,6} \leq \frac{36 \cdot 1,0}{0,478} \rightarrow 33,3 \leq 75,3 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Zatřídění přečnívající části pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{49,2}{10,2} = 4,8 < 9\varepsilon = 9 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,000}{1,123 \cdot 10^{-1}} = 53,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6,000}{3,020 \cdot 10^{-2}} = 198,7$$

Posouzení na tah: $\max N_{t,Ed} = 22,21 \text{ kN}$

Prut číslo 876, kombinace výsledků 1

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,595 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,079,83 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{22,21}{1\,079,83} = 0,02 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Tlaková síla v prvku nenastává, z tohoto důvodu není proveden posudek na vzpěrný tlak

Posouzení na smyk:

$$\max V_{z,Ed} = 25,91 \text{ kN}$$

Prut číslo 876, kombinace výsledků 1

$$V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,214 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 300,39 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{25,91}{300,39} = 0,09 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na klopení:

$$\max M_{y,Ed} = 37,89 \text{ kNm}$$

Prut číslo 876, kombinace výsledků 1

$$M_{cr} = 56,44 \text{ kNm} \dots \text{převzato z RF – STEEL EC 3}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4,840 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{56,44 \cdot 10^3}} = 1,420$$

součinitel imperfekce ... $b = 0,34$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,420 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,420^2] = 1,430$$

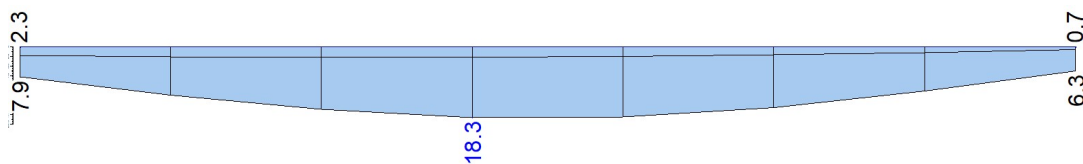
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,430 + \sqrt{1,430^2 - 0,75 \cdot 1,420^2}} = 0,46 \leq 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,46 \cdot 4,840 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 52,32 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{37,89}{52,32} = 0,72 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.4.2.2 Mezní stav použitelnosti

Prut číslo 876, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace



Obr. 6.48 průhyb nosníku

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

$$\delta = 18,3 - \frac{7,9 + 6,3}{2} \leq \delta_{max}$$

$$\delta = 11,2 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 24 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE}$$

6.4.3 Nosník umístěný uprostřed schodišťového prostoru – 3

6.4.3.1 Mezní stav únosnosti

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 6,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,177 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

$$I_z = 7,881 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Poloměry setrvačnosti: $i_y = 1,371 \cdot 10^{-1} \text{ m}$

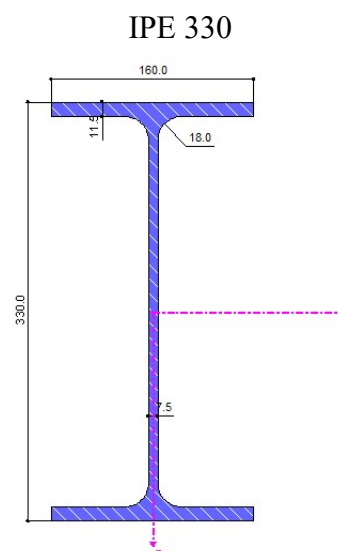
$$i_z = 3,550 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 8,043 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

$$W_{pl,z} = 1,537 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 3,871 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$A_{v,z} = 3,081 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$



Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$

Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Zatřídění stojiny

$$\alpha = 0,551 - \text{převzato z programu RFEM}$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{271}{7,5} \leq \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,551 - 1} \rightarrow 36,1 \leq 64,25 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Zatřídění přechýlující části pásnice

$$\frac{c}{t} = \frac{58,3}{11,5} = 5,1 < 9\varepsilon = 9 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,000}{1,371 \cdot 10^{-1}} = 43,8$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6,000}{3,550 \cdot 10^{-2}} = 169,0$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 28,96 \text{ kN}$$

Prut číslo 737, kombinace výsledků 1

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,471,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{28,96}{1\,471,34} = 0,02 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 31,39 \text{ kN}$$

Prut číslo 1317, kombinace výsledků 1

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,177 \cdot 10^{-4}}{6,000^2} = 6\,776,31 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{6\,776,31 \cdot 10^3}} = 0,466$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{2-}]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,466 - 0,2) + 0,466^2] = 0,637$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{2-}}} = \frac{1}{0,637 + \sqrt{0,637^2 - 0,466^2}} = 0,93 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,93 \cdot 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1\,368,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{31,39}{1\,368,34} = 0,02 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,881 \cdot 10^{-6}}{6,000^2} = 453,73 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{453,73 \cdot 10^3}} = 1,801$$

křivka 2 ... $\alpha = 0,34$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,801 - 0,2) + 1,801^2] = 2,394$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{2,394 + \sqrt{2,394^2 - 1,801^2}} = 0,25 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,25 \cdot 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 367,83 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{31,39}{367,83} = 0,09 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení pro vzpěr zkroucením:

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 = 137,1^2 + 35,5^2 = 20\,056,66 \text{ mm}^2$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{20\,056,66 \cdot 10^{-6}} \cdot \left(81 \cdot 10^9 \cdot 2,815 \cdot 10^{-7} + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,991 \cdot 10^{-7}}{6^2} \right)$$

$$N_{cr,T} = 1\,708,37 \text{ kN}$$

$$\lambda_T^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1\,708,37 \cdot 10^3}} = 0,928$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_T = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_T^- - 0,2) + \lambda_T^2]$$

$$\Phi_T = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,928 - 0,2) + 0,928^2] = 1,010$$

$$\chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \lambda_T^2}} = \frac{1}{1,010 + \sqrt{1,010^2 - 0,928^2}} = 0,71 \leq 1,0$$

Posouzení na smyk:

$$\max V_{z,Ed} = 51,52 \text{ kN}$$

Prut číslo 1317, kombinace výsledků 1

$$V_{c,Rd,z} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,081 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 418,02 \text{ kN}$$

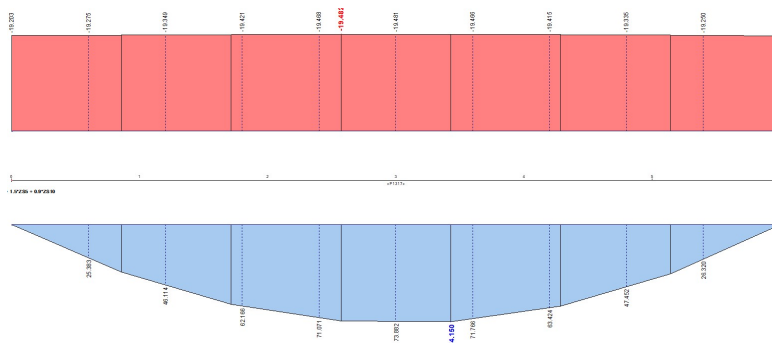
$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd,z}} = \frac{51,52}{418,02} = 0,12 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osovou sílu:

$$\max M_{y,Ed} = 75,42 \text{ kNm}$$

$$\text{odp. } N_{Ed} = 19,11 \text{ kN}$$

Prut číslo 1317, kombinace
zatížení 45



$$M_{cr} = 105,55 \text{ kNm} \dots \text{převzato z RF - STEEL EC 3}$$

$$\lambda_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,043 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{105,55 \cdot 10^3}} = 1,338$$

součinitel imperfekce ... $b = 0,34$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,338 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,338^2] = 1,331$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,331 + \sqrt{1,331^2 - 0,75 \cdot 1,338^2}} = 0,50 \leq 1,0$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 6,261 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 1\,471,34 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 8,043 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6 = 189,01 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 73,62 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0,00 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = 0,00 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,00$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0,000}{73,62} = 0,0$$

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

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

$$C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \lambda_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

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

$$0,95 \cdot \left(1 + (0,466 - 0,2) \cdot \frac{19,11}{\frac{0,93 \cdot 1\,471,34}{1,0}} \right) \leq 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{19,11}{\frac{0,93 \cdot 1\,471,34}{1,0}} \right)$$

$$0,954 \leq 0,961 \rightarrow k_{yy} = 0,954$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 0,954 = 0,572$$

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

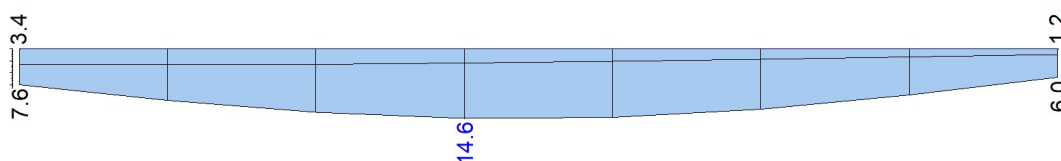
$$\frac{19,11}{\frac{0,93 \cdot 1\,471,34}{1,0}} + 0,954 \cdot \frac{75,42}{\frac{0,50 \cdot 189,01}{1,0}} = 0,78 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{19,11}{\frac{0,25 \cdot 1\,471,34}{1,0}} + 0,572 \cdot \frac{75,42}{\frac{0,50 \cdot 189,01}{1,0}} = 0,51 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.4.3.2 Mezní stav použitelnosti

Prut číslo 737, kombinace výsledků 2 – charakteristická kombinace



Obr. 6.49 průhyb nosníku

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

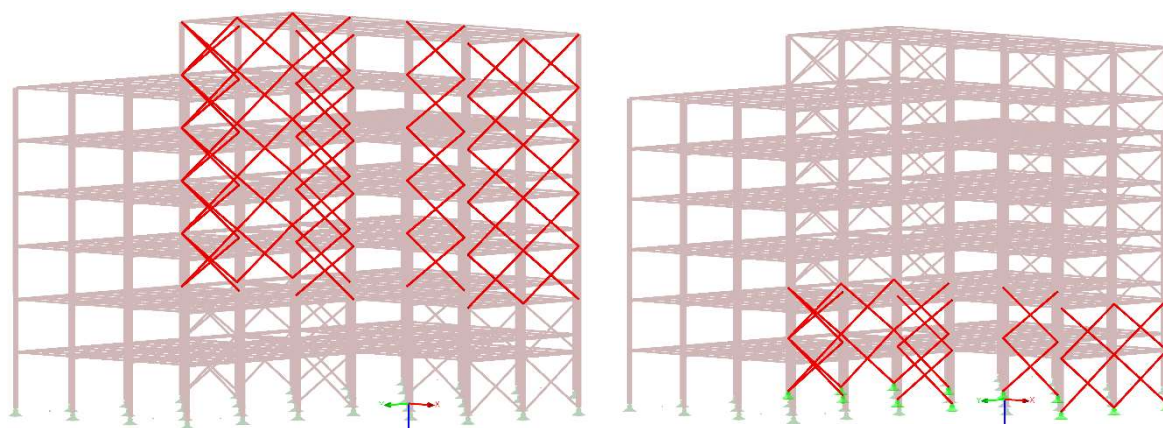
$$\delta = 14,6 - \frac{7,6 + 6,0}{2} \leq \delta_{max}$$

$$\delta = 7,8 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 24 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.5 Posouzení příhradového ztužení

Příhradové ztužidlo má po celé výšce stejný průměr trubky pro zachování jednotného vzhledu. Tloušťka stěny ztužidla je ovšem proměnná, ve spodní části je použit průřez s větší tloušťkou materiálu. V navazujících částech jsou použity prvky s menší tloušťkou stěny z důvodu klesající normálové síly ve ztužidlech směrem nahoru.

Schéma příhradových ztužidel:



Obr. 6.50 schéma rozdělení ztužidel na dva typy

6.5.1 Příhradové ztužidlo 1**6.5.1.1 Mezní stav únosnosti****Průřezové charakteristiky:**

Plocha průřezu: $A = 5,270 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,862 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

$I_z = 1,862 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Poloměry setrvačnosti: $i_y = 5,940 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$i_z = 5,940 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$

Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{d}{t} = \frac{177,8}{10} = 17,78 < 50\varepsilon = 50 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7,324}{5,940 \cdot 10^{-2}} = 123,3$$

Posouzení na vzpěr:

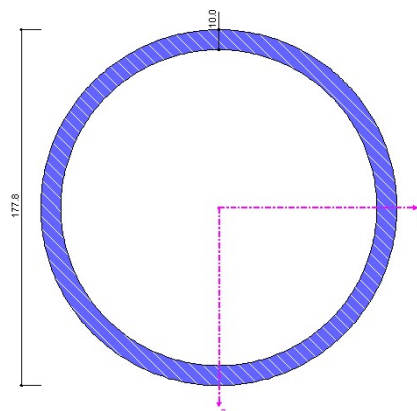
$\max N_{c,Ed} = 515,47 \text{ kN}$

Prut číslo 1266, kombinace výsledků 1

Vzpěrné délky pro přímý prut příhradového ztužidla a pro pruty připojené určeny dle předlohy str. 196 [26]

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 7,324 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,862 \cdot 10^{-5}}{7,324^2} = 719,45 \text{ kN}$$



$$\lambda_y^- = \lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5,270 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{719,45 \cdot 10^3}} = 1,312$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}]$$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,312 - 0,2) + 1,312^2] = 1,477$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{1,477 + \sqrt{1,477^2 - 1,312^2}} = 0,46 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,46 \cdot 5,270 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 574,64 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{515,47}{574,64} = 0,90 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 218,25 \text{ kN}$$

Prut číslo 1228, kombinace výsledků 1

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,270 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1238,45 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{218,25}{1238,45} = 0,18 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.5.2 Příhradové ztužidlo 2

6.5.2.1 Mezní stav únosnosti

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:

$$A = 2,710 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Momenty setrvačnosti:

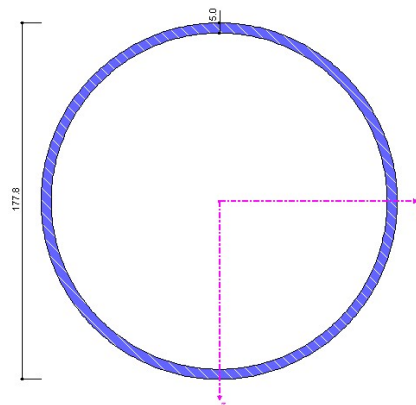
$$I_y = 1,014 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,014 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_y = 6,110 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$i_z = 6,110 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$



Materiálové charakteristiky:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$ **Klasifikace průřezu:**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

$$\frac{d}{t} = \frac{177,8}{5} = 35,56 < 50\varepsilon = 50 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7,211}{6,110 \cdot 10^{-2}} = 118,0$$

Posouzení na vzpěr: $\max N_{c,Ed} = 268,10 \text{ kN}$

Prut číslo 1270, kombinace výsledků 1

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 7,211 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,014 \cdot 10^{-5}}{7,211^2} = 404,17 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,710 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{391,80 \cdot 10^3}} = 1,255$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}]$$

$$\Phi_y = \Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,255 - 0,2) + 1,255^2] = 1,398$$

$$\chi_y = \chi_z = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{1,398 + \sqrt{1,398^2 - 1,255^2}} = 0,50 \leq 1,0$$

$$N_{br,d} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,50 \cdot 2,710 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 315,88 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{268,10}{315,88} = 0,85 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 149,35 \text{ kN}$$

Prut číslo 1232, kombinace výsledků 1

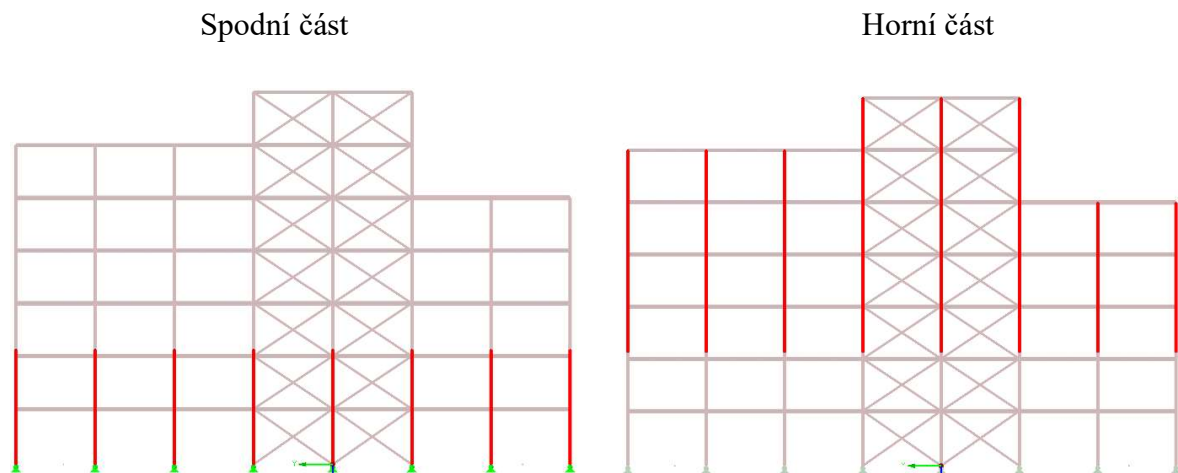
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,710 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 636,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{149,35}{636,85} = 0,23 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.6 Posouzení sloupů

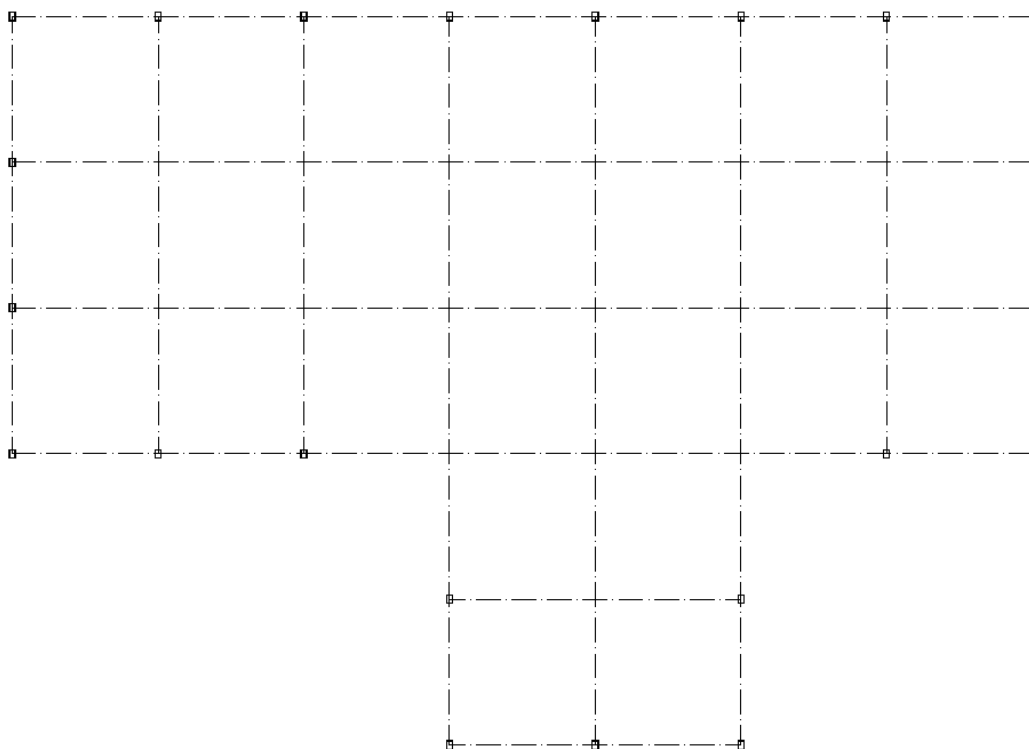
Sloupy jsou rozděleny na spodní a horní část – v této části je tloušťka stěny u profilu snížena z důvodu menších vnitřních sil a tím možné úspory materiálu.

Schéma rozdělení na spodní a horní část sloupů:

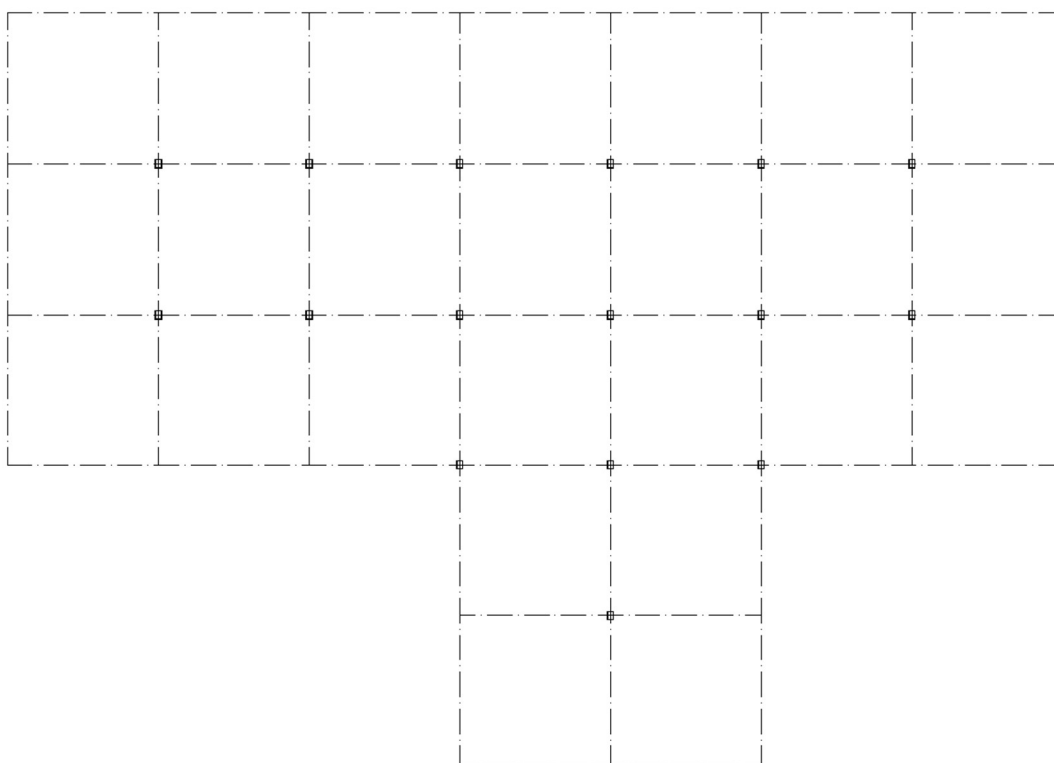


Obr. 6.51 schéma rozdělení sloupů po výšce

Krajní sloupy



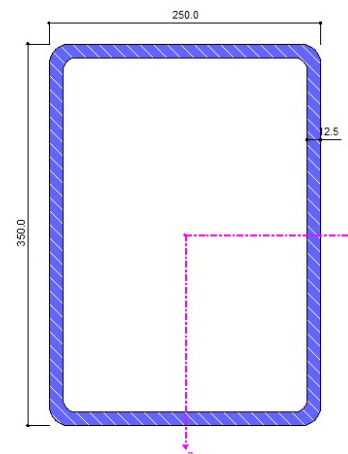
Vnitřní sloupy

*Obr. 6.52 schéma rozdělení sloupů půdorysně*

6.6.1 Posouzení vnitřního sloupu – spodní část**6.6.1.1 Mezní stav únosnosti****Průřezové charakteristiky:**

Plocha průřezu:	$A = 1,420 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
Momenty setrvačnosti:	$I_y = 2,442 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
	$I_z = 1,444 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
Poloměry setrvačnosti:	$i_y = 1,310 \cdot 10^{-1} \text{ m}$
	$i_z = 1,010 \cdot 10^{-1} \text{ m}$
Plastický průřezový modul:	$W_{pl,y} = 1,685 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
	$W_{pl,z} = 1,334 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Účinná smyková plocha:	$A_{v,y} = 5,917 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
	$A_{v,z} = 8,283 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

RRO 350x250x12,5

**Materiálové charakteristiky:**

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Zatřídění stojiny

 $\alpha = 1,00$ – převzato z programu RFEM

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{287,4}{12,5} \leq \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 1,00 - 1} \rightarrow 23,0 \leq 33 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,200}{1,310 \cdot 10^{-1}} = 32,1$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,200}{1,010 \cdot 10^{-1}} = 41,6$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 2\,824,47 \text{ kN}$$

Prut číslo 4, kombinace výsledků 1

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,442 \cdot 10^{-4}}{4,200^2} = 28\,692,35 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,420 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{28\,692,35 \cdot 10^3}} = 0,341$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,341 - 0,2) + 0,341^2] = 0,573$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{0,573 + \sqrt{0,573^2 - 0,341^2}} = 0,97 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,97 \cdot 1,420 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 3\,236,89 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{2\,824,47}{3\,236,89} = 0,87 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,444 \cdot 10^{-4}}{4,200^2} = 16\,966,32 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,420 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{16\,966,32 \cdot 10^3}} = 0,443$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,443 - 0,2) + 0,443^2] = 0,624$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{0,624 + \sqrt{0,624^2 - 0,443^2}} = 0,94 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,94 \cdot 1,420 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 3\,136,78 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{2\,824,47}{3\,136,78} = 0,90 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk není provedeno z důvodu zanedbatelných smykových sil

Posouzení na tah není provedeno, jelikož u vnitřních sloupů k tahu nedochází v žádné z kombinací

Posouzení na ohyb a osovou sílu:

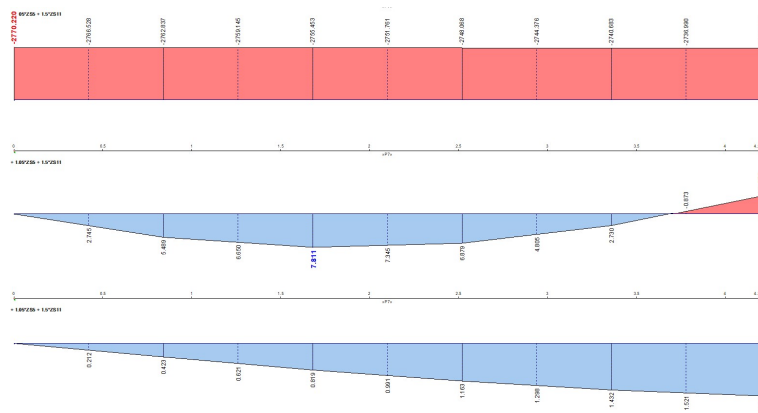
Max $N_{Ed} = 2\,762,84 \text{ kN}$

odp. $M_{y,Ed} = 5,49 \text{ kNm}$

odp. $M_{z,Ed} = 0,42 \text{ kNm}$

Prut číslo 235, kombinace

zatížení 102



$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,420 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6 = 3\,337,00 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,685 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 395,98 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 7,81 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0,00 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = -4,48 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,00$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0,000}{7,81} = 0,0$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot 0,0 = 0,2 \leq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,4$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,334 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 313,49 \text{ kNm}$$

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

$$\psi M_{h,z} = 1,61 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,00$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,0 = 0,6$$

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

$$0,40 \cdot \left(1 + (0,341 - 0,2) \cdot \frac{\frac{2\,762,84}{0,97 \cdot 3\,337,00}}{1,0} \right) \leq 0,40 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{2\,762,84}{0,97 \cdot 3\,337,00}}{1,0} \right)$$

$$0,448 \leq 0,673 \rightarrow k_{yy} = 0,448$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,448 = 0,269$$

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

$$k_{zz} = 0,60 \left(1 + (0,443 - 0,2) \cdot \frac{\frac{2\,762,84}{0,94 \cdot 3\,337,00}}{1,0} \right) \leq 0,60 \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{2\,762,84}{0,94 \cdot 3\,337,00}}{1,0} \right)$$

$$k_{zz} = 0,728 \leq 1,023 \rightarrow k_{zz} = 0,728$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,728 = 0,437$$

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

$$\frac{\frac{2\,762,84}{0,97 \cdot 3\,337,00}}{1,0} + 0,448 \cdot \frac{\frac{5,49}{0,97 \cdot 395,98}}{1,0} + 0,437 \cdot \frac{\frac{0,42}{0,94 \cdot 313,49}}{1,0} = 0,86$$

$$0,86 \leq 1,00 \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

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

$$\frac{2\,762,84}{0,94 \cdot 3\,337,00} + 0,269 \cdot \frac{5,49}{0,97 \cdot 395,98} + 0,728 \cdot \frac{0,42}{0,94 \cdot 313,49} = 0,89$$

0,89 ≤ 1,00 ... **VYHOVUJE**

6.6.1.2 Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb

Prut číslo 581, kombinace zatížení 11



Obr. 6.53 průhyb sloupu

Kontrola lokálního průhybu jednoho v přízemním podlaží

$$\delta_{max} = \frac{h}{300} = \frac{4200}{300} = 14 \text{ mm}$$

$\delta = 2,7 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 14 \text{ mm}$... **VYHOVUJE**

6.6.2 Posouzení krajního sloupu – spodní část

6.6.2.1 Mezní stav únosnosti

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:

$$A = 1,150 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Momenty setrvačnosti:

$$I_y = 2,010 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 1,194 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Poloměry setrvačnosti:

$$i_y = 1,320 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$i_z = 1,020 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

Plastický průřezový modul:

$$W_{pl,y} = 1,375 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

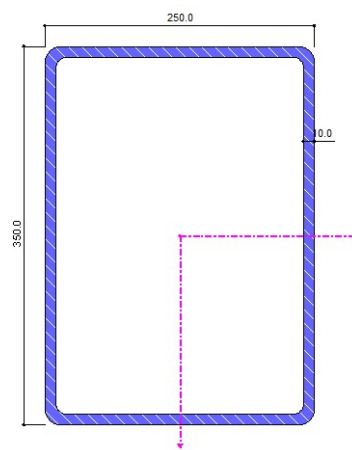
$$W_{pl,z} = 1,091 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Účinná smyková plocha:

$$A_{v,y} = 4,792 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{v,z} = 6,708 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

RRO 350x250x10



Materiálové charakteristiky:Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$ Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$ **Klasifikace průřezu:**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Zatřídění stojiny

 $\alpha = 1,00$ – převzato z programu RFEM

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{300}{10} \leq \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 1,00 - 1} \rightarrow 30 \leq 33 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,200}{1,320 \cdot 10^{-1}} = 31,8$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,200}{1,020 \cdot 10^{-1}} = 41,2$$

Posouzení na tah: $\max N_{t,Ed} = 214,15 \text{ kN}$

Prut číslo 379, kombinace výsledků 1

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,420 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 3\,337,00 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{214,15}{3\,337,00} = 0,06 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 1\,654,70 \text{ kN}$$

Prut číslo 248, kombinace výsledků 1

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,010 \cdot 10^{-4}}{4,200^2} = 23\,616,55 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{23\,616,55 \cdot 10^3}} = 0,338$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,338 - 0,2) + 0,338^2] = 0,572$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,572 + \sqrt{0,572^2 - 0,338^2}} = 0,97 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,97 \cdot 1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,621,43 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{1\,653,56}{2\,621,43} = 0,63 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,194 \cdot 10^{-4}}{4,200^2} = 14\,028,94 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{14\,028,94 \cdot 10^3}} = 0,439$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z^- - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,439 - 0,2) + 0,439^2] = 0,621$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,621 + \sqrt{0,621^2 - 0,439^2}} = 0,94 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,94 \cdot 1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,540,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{1\,654,70}{2\,540,35} = 0,65 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk není provedeno z důvodu zanedbatelných smykových sil

Posouzení na tah:

$$\max N_{t,Ed} = 374,29 \text{ kN}$$

Prut číslo 379, kombinace zatížení 249

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,702,50 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{374,29}{2\,702,50} = 0,14 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na ohyb a osovou sílu:

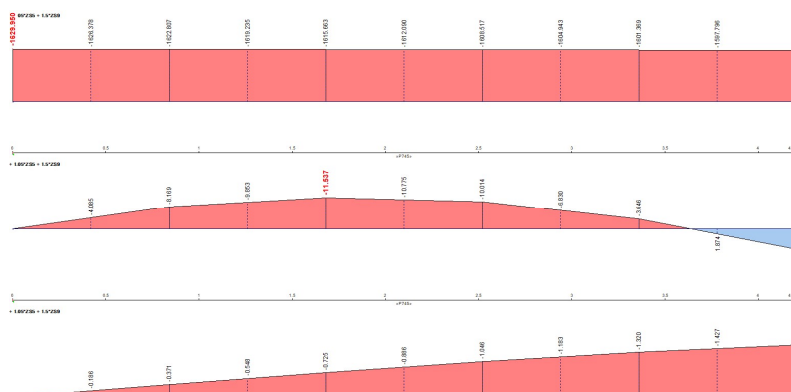
$$N_{Ed} = 1\,615,66 \text{ kN}$$

$$\text{odp. } M_{y,Ed} = -11,54 \text{ kNm}$$

$$\text{odp. } M_{z,Ed} = -0,73 \text{ kNm}$$

Prut číslo 745, kombinace

zatížení 100



$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6 = 2\,702,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,375 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 323,13 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -11,54 \text{ kNm}; M_{h,y} = 0,00 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = 7,39 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,00$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{h,y}}{M_{s,y}} = \frac{0,000}{-11,54} = 0,0$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot 0,0 = 0,2 \leq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,4$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,091 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 256,39 \text{ kNm}$$

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

$$\psi M_{h,z} = -1,53 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,00$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,0 = 0,6$$

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

$$0,40 \cdot \left(1 + (0,338 - 0,2) \cdot \frac{1\,615,66}{\frac{0,97 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right) \leq 0,40 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{1\,615,66}{\frac{0,97 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right)$$

$$0,434 \leq 0,597 \rightarrow k_{yy} = 0,434$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,434 = 0,260$$

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

$$k_{zz} = 0,60 \cdot \left(1 + (0,439 - 0,2) \cdot \frac{1\,615,66}{\frac{0,94 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right) \leq 0,60 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{1\,615,66}{\frac{0,94 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,691 \leq 0,905 \rightarrow k_{zz} = 0,691$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,691 = 0,415$$

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

$$\frac{1\,615,66}{\frac{0,97 \cdot 2\,702,50}{1,0}} + 0,434 \cdot \frac{11,54}{\frac{0,97 \cdot 323,13}{1,0}} + 0,415 \cdot \frac{0,73}{\frac{0,94 \cdot 256,39}{1,0}} = 0,63$$

0,63 ≤ 1,00 ... **VYHOVUJE**

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

$$\frac{1\,615,66}{\frac{0,94 \cdot 2\,702,50}{1,0}} + 0,260 \cdot \frac{11,54}{\frac{0,97 \cdot 323,13}{1,0}} + 0,691 \cdot \frac{0,73}{\frac{0,94 \cdot 256,39}{1,0}} = 0,65$$

0,65 ≤ 1,00 ... **VYHOVUJE**

6.6.2.2 Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb

Prut číslo 835, kombinace zatížení 11



Obr. 6.54 průhyb sloupu

Kontrola lokálního průhybu jednoho v přízemním podlaží

$$\delta_{max} = \frac{h}{300} = \frac{4200}{300} = 14 \text{ mm}$$

$\delta = 3,2 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 14 \text{ mm} \dots$ **VYHOVUJE**

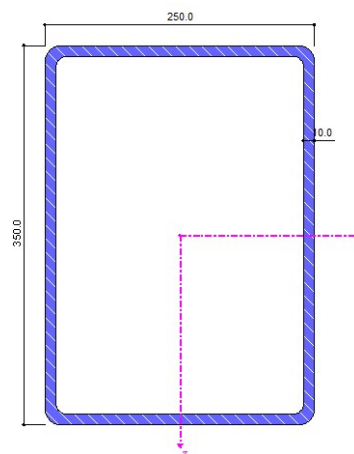
6.6.3 Posouzení vnitřního sloupu – horní část

6.6.3.1 Mezní stav únosnosti

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu:	$A = 1,150 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
Momenty setrvačnosti:	$I_y = 2,010 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$ $I_z = 1,194 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
Poloměry setrvačnosti:	$i_y = 1,320 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ $i_z = 1,020 \cdot 10^{-1} \text{ m}$
Plastický průřezový modul:	$W_{pl,y} = 1,375 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ $W_{pl,z} = 1,091 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Účinná smyková plocha:	$A_{v,y} = 4,792 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ $A_{v,z} = 6,708 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

RRO 350x250x10



Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E = 210 \text{ GPa}$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Zatřídění stojiny

 $\alpha = 1,00$ – převzato z programu RFEM

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{300}{10} \leq \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 1,00 - 1} \rightarrow 30,0 \leq 33 \dots \text{třída průřezu 1}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,000}{1,310 \cdot 10^{-1}} = 30,5$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,000}{1,010 \cdot 10^{-1}} = 39,6$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 1\,951,75 \text{ kN}$$

Prut číslo 1379, kombinace výsledků 1

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,010 \cdot 10^{-4}}{4,000^2} = 26\,037,25 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{26\,037,25 \cdot 10^3}} = 0,322$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,322 - 0,2) + 0,322^2] = 0,565$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{0,565 + \sqrt{0,565^2 - 0,322^2}} = 0,97 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,97 \cdot 1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,621,43 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{1\,948,30}{2\,621,43} = 0,74 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,194 \cdot 10^{-4}}{4,000^2} = 15\,466,90 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{15\,466,90 \cdot 10^3}} = 0,418$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,418 - 0,2) + 0,418^2] = 0,610$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{0,610 + \sqrt{0,610^2 - 0,418^2}} = 0,95 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,95 \cdot 1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,567,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{1\,951,75}{2\,567,38} = 0,76 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk není provedeno z důvodu zanedbatelných smykových sil

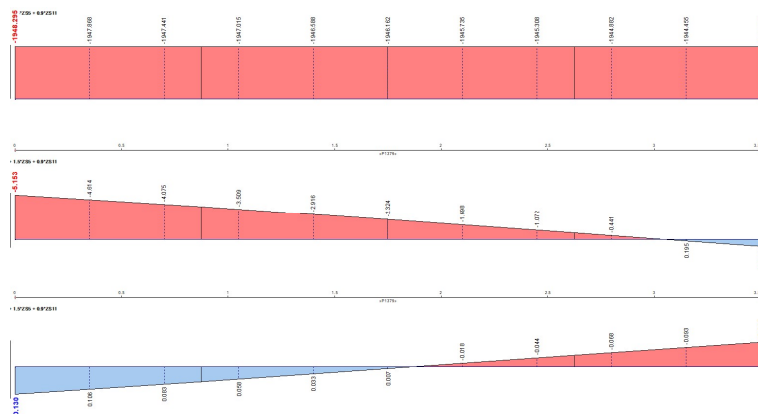
Posouzení na ohyb a osovou sílu:

Max $N_{Ed} = 1948,30 \text{ kN}$

odp. $M_{y,Ed} = 5,15 \text{ kNm}$

odp. $M_{z,Ed} = 0,13 \text{ kNm}$

Prut číslo 1379, kombinace
zatížení 54



$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1,150 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6 = 2\,702,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,375 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 323,13 \text{ kNm}$$

$$M_{h,y} = -5,15 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = 0,83 \text{ kNm} \rightarrow \psi = -0,16$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,16) = 0,2 \leq 0,536 \rightarrow C_{my} = 0,536$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 1,091 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 256,39 \text{ kNm}$$

$$M_{h,z} = 0,13 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,z} = -0,12 \text{ kNm} \rightarrow \psi = -0,92$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,92) = 0,232 \leq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,4$$

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

$$0,536 \cdot \left(1 + (0,322 - 0,2) \cdot \frac{1\,948,30}{\frac{0,97 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right) \leq 0,536 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{1\,948,30}{\frac{0,97 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right)$$

$$0,585 \leq 0,855 \rightarrow k_{yy} = 0,585$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,585 = 0,351$$

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

$$k_{zz} = 0,40 \left(1 + (0,418 - 0,2) \cdot \frac{1\,948,30}{\frac{0,95 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right) \leq 0,40 \left(1 + 0,8 \cdot \frac{1\,948,30}{\frac{0,95 \cdot 2\,702,50}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,466 \leq 0,643 \rightarrow k_{zz} = 0,466$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,466 = 0,280$$

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

$$\frac{1\,948,30}{\frac{0,97 \cdot 2\,702,50}{1,0}} + 0,585 \cdot \frac{5,15}{\frac{0,97 \cdot 323,13}{1,0}} + 0,280 \cdot \frac{0,13}{\frac{0,95 \cdot 256,39}{1,0}} = 0,75$$

$$0,75 \leq 1,00 \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

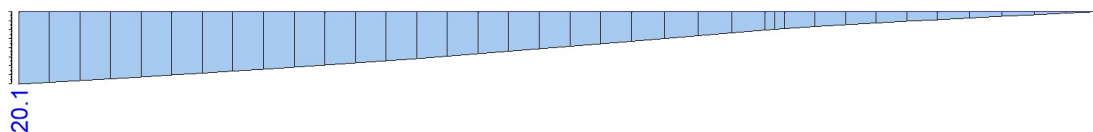
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_y \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \cdot k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{\chi_z \cdot M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,948,30}{\frac{0,95 \cdot 2\,702,5}{1,0}} + 0,351 \cdot \frac{5,15}{\frac{0,97 \cdot 323,13}{1,0}} + 0,466 \cdot \frac{0,13}{\frac{0,95 \cdot 256,39}{1,0}} = 0,76$$

$$0,76 \leq 1,00 \dots \mathbf{VYHOVUJE}$$

6.6.3.2 Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb

Kombinace zatížení 11



Obr. 6.55 průhyb sloupu

Kontrola globálního průhybu celého sloupu

$$\delta_{max} = \frac{h_0}{500} = \frac{28200}{500} = 56,4 \text{ mm}$$

$$\delta = 20,1 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 56,4 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.6.4 Posouzení krajního sloupu – horní část

6.6.4.1 Mezní stav únosnosti

Průřezové charakteristiky:

Plocha průřezu: $A = 9,280 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,645 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

$$I_z = 9,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Poloměry setrvačnosti: $i_y = 1,330 \cdot 10^{-1} \text{ m}$

$$i_z = 1,030 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

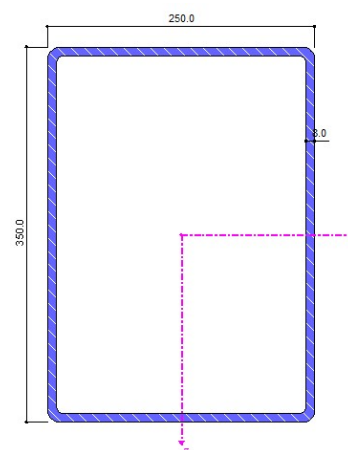
Plastický průřezový modul: $W_{pl,y} = 1,118 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

$$W_{pl,z} = 8,880 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Účinná smyková plocha: $A_{v,y} = 3,867 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$A_{v,z} = 5,413 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

RRO 350x250x8



Materiálové charakteristiky:

Mez kluzu oceli: $f_y = 235 \text{ MPa}$

Modul pružnosti: $E = 210 \text{ GPa}$

Klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,00$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t} \leq 42 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{310}{8} \leq 42 \cdot 1,0 \rightarrow 38,8 \leq 42 \dots \text{třída průřezu 3}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,000}{1,330 \cdot 10^{-1}} = 30,1$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,000}{1,030 \cdot 10^{-1}} = 38,8$$

Posouzení na vzpěr:

$$\max N_{c,Ed} = 1\,022,55 \text{ kN}$$

Prut číslo 1391, kombinace výsledků 1

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,645 \cdot 10^{-4}}{4,000^2} = 21\,309,09 \text{ kN}$$

$$\lambda_y^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9,280 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{21\,309,09 \cdot 10^3}} = 0,320$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y^- - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,320 - 0,2) + 0,320^2] = 0,564$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,564 + \sqrt{0,564^2 - 0,320^2}} = 0,97 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,97 \cdot 9,280 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,115,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{1\,022,55}{2\,115,38} = 0,48 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 9,798 \cdot 10^{-5}}{4,000^2} = 12\,692,19 \text{ kN}$$

$$\lambda_z^- = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{9,280 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{12\,692,19 \cdot 10^3}} = 0,415$$

křivka a ... $\alpha = 0,21$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}]$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,415 - 0,2) + 0,415^2] = 0,609$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{0,609 + \sqrt{0,609^2 - 0,415^2}} = 0,95 \leq 1,0$$

$$N_{br,d,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,95 \cdot 9,280 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 2\,071,76 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{1\,021,64}{2\,071,76} = 0,49 \leq 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na smyk není provedeno z důvodu zanedbatelných smykových sil

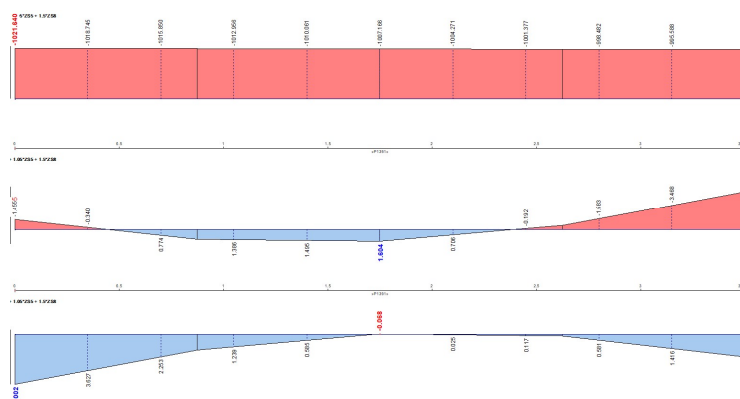
Posouzení na ohyb a osovou sílu:

$$N_{Ed} = 1\,021,64 \text{ kN}$$

$$\text{odp. } M_{y,Ed} = -1,46 \text{ kNm}$$

$$\text{odp. } M_{z,Ed} = 5,00 \text{ kNm}$$

Prut číslo 1391, kombinace
zatížení 99



$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 9,280 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 2\,180,80 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1,118 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 262,73 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = 1,60 \text{ kNm}; M_{h,y} = -5,35 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,y} = -1,46 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,27$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{s,y}}{M_{h,y}} = \frac{1,60}{-5,35} = -0,30$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,30) = 0,34 \leq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,4$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 8,880 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6 = 208,68 \text{ kNm}$$

$$M_{s,y} = -0,07 \text{ kNm}; M_{h,z} = 5,00 \text{ kNm};$$

$$\psi M_{h,z} = 2,25 \text{ kNm} \rightarrow \psi = 0,45$$

$$\alpha_{h,y} = \frac{M_{s,y}}{M_{h,y}} = \frac{-0,07}{5,00} = -0,01$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$0,1 - 0,8 \cdot (-0,01) = 0,11 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,4$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y^- \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$0,40 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,320 \cdot \frac{1\,021,64}{\frac{0,97 \cdot 2\,180,80}{1,0}} \right) \leq 0,40 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{1\,021,64}{\frac{0,95 \cdot 2\,180,80}{1,0}} \right)$$

$$0,437 \leq 0,518 \rightarrow k_{yy} = 0,437$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 0,437 = 0,350$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_z^- \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(0 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,40 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,415 \cdot \frac{1\,021,64}{\frac{0,95 \cdot 2\,180,80}{1,0}} \right) \leq 0,40 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{1\,021,64}{\frac{0,95 \cdot 2\,180,80}{1,0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0,449 \leq 0,518 \rightarrow k_{zz} = 0,449$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,449 = 0,449$$

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

$$\frac{1\,021,64}{\frac{0,97 \cdot 2\,180,80}{1,0}} + 0,437 \cdot \frac{1,46}{\frac{0,97 \cdot 262,73}{1,0}} + 0,449 \cdot \frac{5,00}{\frac{0,95 \cdot 208,68}{1,0}} = 0,50$$

$$0,50 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

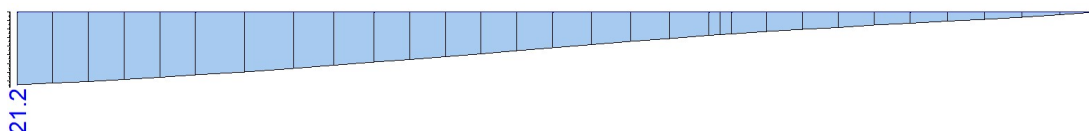
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_y \cdot M_{y,Rk}} \cdot k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z \cdot M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,021,64}{\frac{0,95 \cdot 2\,180,80}{1,0}} + 0,350 \cdot \frac{1,46}{\frac{0,97 \cdot 262,73}{1,0}} + 0,449 \cdot \frac{5,00}{\frac{0,95 \cdot 208,68}{1,0}} = 0,51$$

$$0,51 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.6.4.2 Mezní stav použitelnosti – vodorovný průhyb

Kombinace zatížení 11



Obr. 6.56 průhyb sloupu

Kontrola globálního průhybu celého sloupu

$$\delta_{max} = \frac{h_0}{500} = \frac{24200}{500} = 48,4 \text{ mm}$$

$$\delta = 21,2 \text{ mm} \leq \delta_{max} = 48,4 \text{ mm} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

6.7 Ověření únosnosti stropní konstrukce při montážním stavu

Při montážním stavu bude použito bednění, které bude při betonáži podepírat stropní konstrukci. Po získání dostatečné pevnosti betonu a vystavění dalšího podlaží, bude bednění ve spodním podlaží odstraněno a tím pádem se přes bednění přenesou veškeré zatížení od čerstvého betonu stropní konstrukce nad prvním podlaží. Pro ověření budeme uvažovat následující údaje:

Prvky stropní konstrukce jsou dimenzovány na zatížení:

$$g_k = 3,14 \text{ kN/m}^2 \rightarrow g_d = 4,24 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 3,00 \text{ kN/m}^2 \rightarrow q_d = 4,50 \text{ kN/m}^2$$

Celkové návrhové zatížení, na které je stropní konstrukce dimenzována:

$$g_{C,d} = 8,74 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{typické podlaží})$$

Při uvážení, že stropní konstrukce bude v montážním stavu přenášet vlastní tíhu betonu, trapézového plechu a proměnné zatížení od dělníků, kteří budou na stropě přítomni.

$$g_k = 2,45 \text{ kN/m}^2 \rightarrow g_d = 3,31 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = q_d / 1,5 = 5,43 / 1,5 = 3,62 \text{ kN/m}^2 \rightarrow q_d = g_{C,d} - g_d = 8,74 - 3,31 = 5,43 \text{ kN/m}^2$$

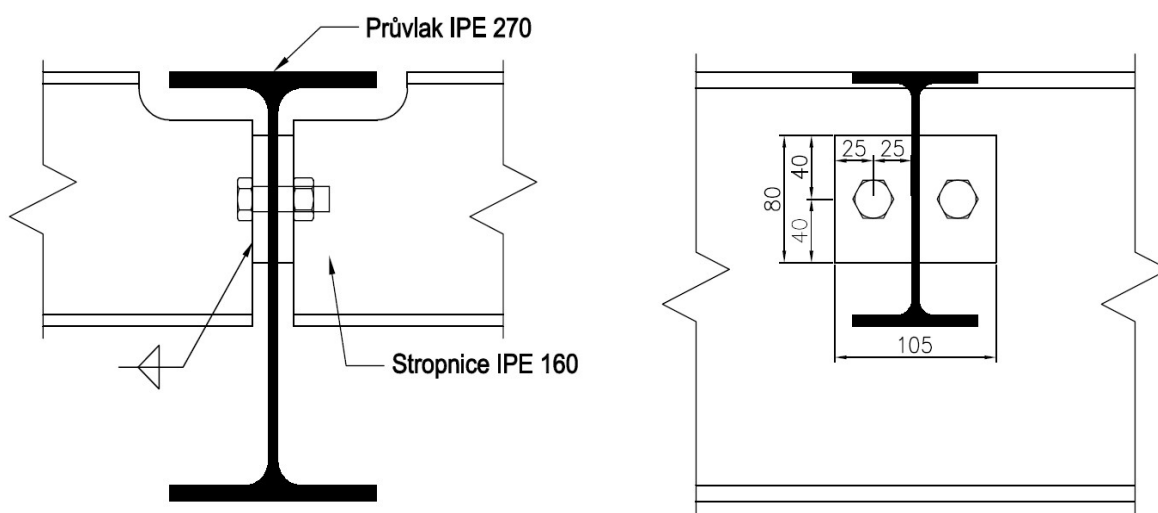
Pro montážní zatížení stropu je možné zatížit stropní konstrukci charakteristickou hodnotou proměnného zatížení $q_k = 3,62 \text{ kN/m}^2$. Toto je pro montáž dostatečná hodnota a stropní konstrukce tímto vyhoví na zatížení od stropní konstrukce o podlaží výše.

7 Přípoje

7.1 Kloubový přípoj stropnice na průvlak

7.1.1 Svarový přípoj na typické střešní stropnici (přivaření čelní desky)

Posouvající síla $V_{Ed} = 42,26 \text{ kN}$



Obr. 7.1 schéma připojení stropnice na průvlak

7.1.1.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 6,2 = 7 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 7 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 80 - 2 \cdot a = 80 - 2 \cdot 4 = 72 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 72 \cdot 4 = 576 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{42,26 \cdot 10^3}{576} = 73,37 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 73,37^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$127,08 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.1.1.2 Posouzení šroubů**Rozměry a materiálové charakteristiky**

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; t = 6,6 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 0 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 25 \text{ mm}$$

7.1.1.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$F_{v,1,Ed} = \frac{2 \cdot V_{Ed}}{2} = \frac{2 \cdot 42,26}{2} = 42,26 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 96,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{42,26}{96,48} = 0,44 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

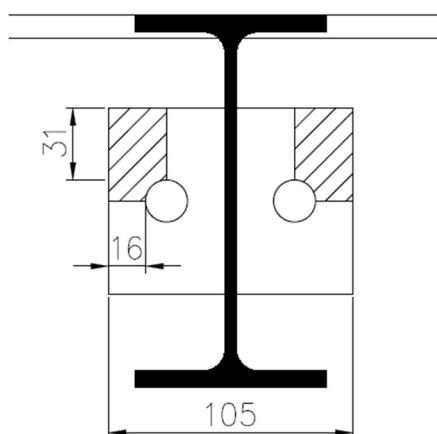
$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,19; -; 2,5) = 2,19$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,74; -; 1,39; 1) = 1,0$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,74 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6,6}{1,25} = 49,29 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{42,26}{49,29} = 0,86 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.1.1.4 Posouzení na vytržení skupiny šroubů



Obr. 7.2 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 10 \cdot 16 \cdot 2 = 320 \text{ mm}^2$$

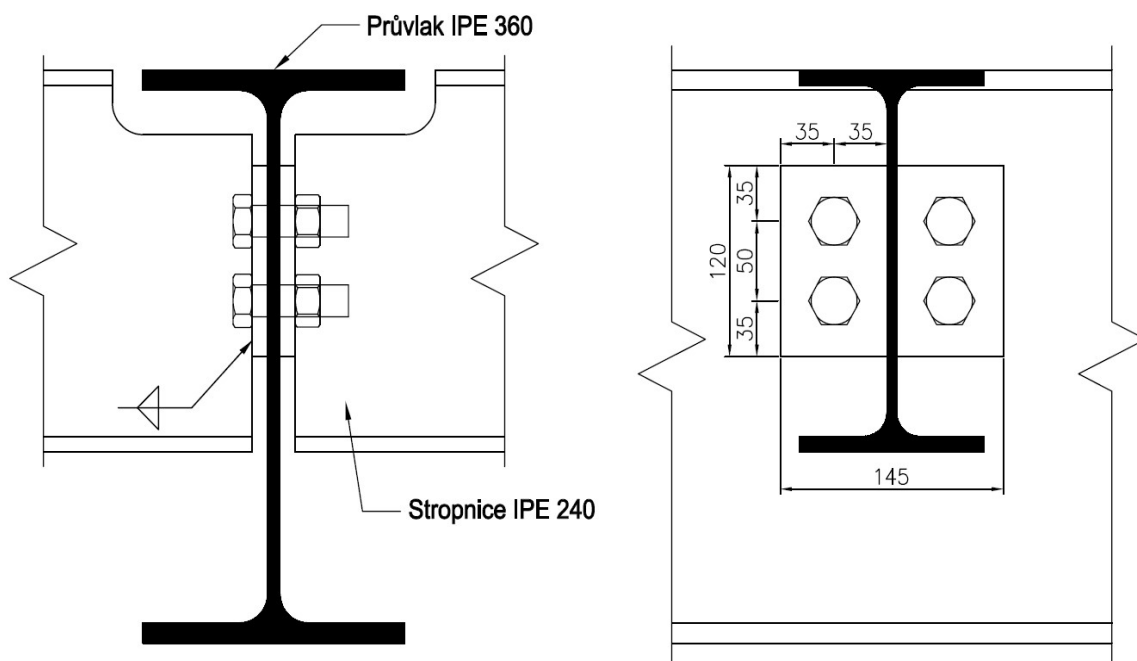
$$A_{nv} = 10 \cdot 31 \cdot 2 = 620 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 320}{1,25} + \frac{235 \cdot 620}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 176,28 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{42,26}{176,28} = 0,24 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.1.2 Svarový přípoj na vegetační střešní stropnici (přivaření čelní desky)

Posouvající síla $V_{Ed} = 95,16 \text{ kN}$



Obr. 7.3 schéma připojení stropnice na průvlak

7.1.2.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8,0 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 120 - 2 \cdot a = 120 - 2 \cdot 4 = 112 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 112 \cdot 4 = 896 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{95,16 \cdot 10^3}{896} = 106,21 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 106,21^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$183,96 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

7.1.2.2 Posouzení šroubů**Rozměry a materiálové charakteristiky**

$d = 20 \text{ mm}$; $d_0 = 22 \text{ mm}$; $A = 314 \text{ mm}^2$; $A_s = 245 \text{ mm}^2$; $t = 8,0 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 35 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 50 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$

7.1.2.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{2 \cdot V_{Ed}}{2} = \frac{2 \cdot 95,15}{4} = 47,58 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 314}{1,25} = 150,72 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{47,58}{150,72} = 0,32 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

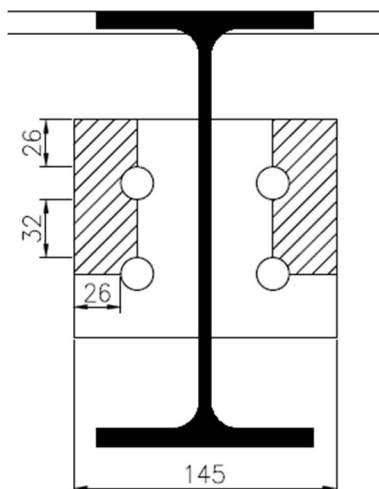
$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,74; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,65; 0,68; 1,67; 1) = 0,65$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 8,0}{1,25} = 74,88 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{47,58}{74,88} = 0,64 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.1.2.4 Posouzení na vytržení skupiny šroubů



Obr. 7.4 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 10 \cdot 26 \cdot 2 = 520 \text{ mm}^2$$

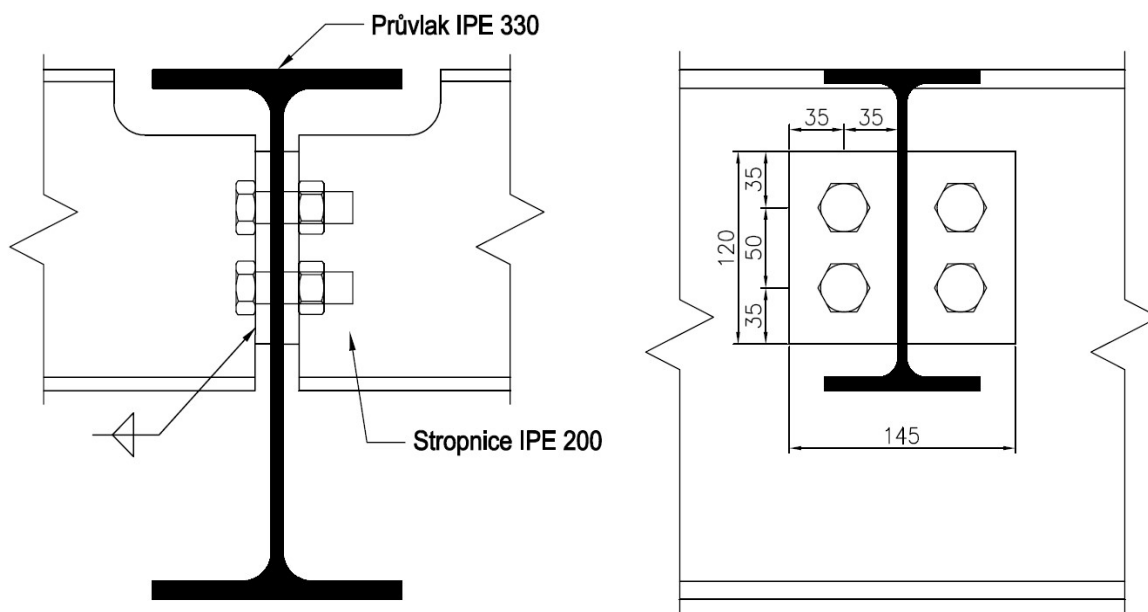
$$A_{nv} = 10 \cdot 58 \cdot 2 = 1\,160 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 520}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,160}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 307,15 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{95,16}{307,15} = 0,31 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.1.3 Přípoj na typickou podlažní stropnici (přivaření čelní desky)

Posouvající síla $V_{Ed} = 75,46 \text{ kN}$



Obr. 7.5 schéma připojení stropnice na průvlak

7.1.3.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7,5 = 8 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 7 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 120 - 2 \cdot a = 120 - 2 \cdot 4 = 112 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 112 \cdot 4 = 896 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{75,46 \cdot 10^3}{896} = 84,22 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 84,22^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$145,87 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \text{VYHOVUJE}$$

7.1.3.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 20 \text{ mm}; d_0 = 22 \text{ mm}; A = 314 \text{ mm}^2; A_s = 245 \text{ mm}^2; t = 7,5 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$$

7.1.3.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{2 \cdot V_{Ed}}{2} = \frac{2 \cdot 75,46}{4} = 37,73 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 314}{1,25} = 150,72 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{37,73}{150,72} = 0,25 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,74; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,65; 0,68; 1,67; 1) = 0,65$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,25} = 70,20 \text{ kN}$$

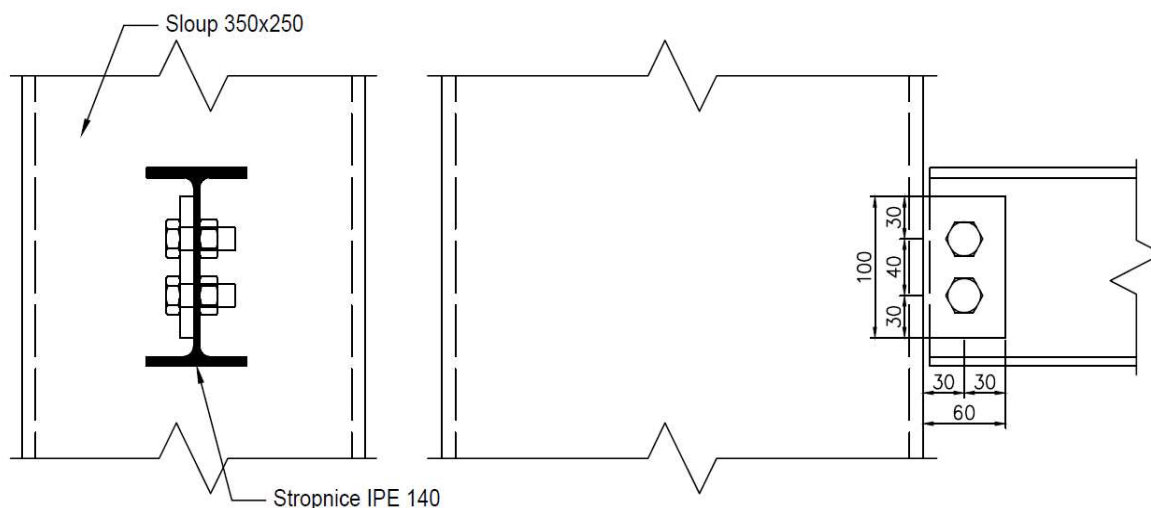
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{37,73}{70,20} = 0,54 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vytržení skupiny šroubů je totožné s předchozím případem, v tomto případě je posouvající síla menší, takže prvek vyhovuje.

7.2 Kloubový přípoj stropnice na sloup

7.2.1 Přípoj na sloup pro krajní, typickou střešní stropnici

Posouvající síla $V_{Ed} = 21,63 \text{ kN}$



Obr. 7.6 schéma připojení stropnice na sloup

7.2.1.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 100 - 2 \cdot a = 100 - 2 \cdot 4 = 92 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 92 \cdot 4 = 736 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{42,26 \cdot 10^3}{736} = 57,42 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 21,63 \cdot 0,03 = 0,649 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 100^3 = 6,67 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{6,67 \cdot 10^5}{50} = 13,34 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,649 \cdot 10^6}{13,34 \cdot 10^3} = 48,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{48,65}{\sqrt{2}} = 34,40 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{34,40^2 + 3 \cdot 34,40^2 + 3 \cdot 57,42^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$120,93 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.1.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $t = 4,7 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 40 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$

7.2.1.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{21,63}{2} = 10,82 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{10,82}{48,24} = 0,22 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,97; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,56; 0,49; 1,39; 1) = 0,49$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,49 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 4,7}{1,25} = 37,31 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{10,82}{26,57} = 0,41 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

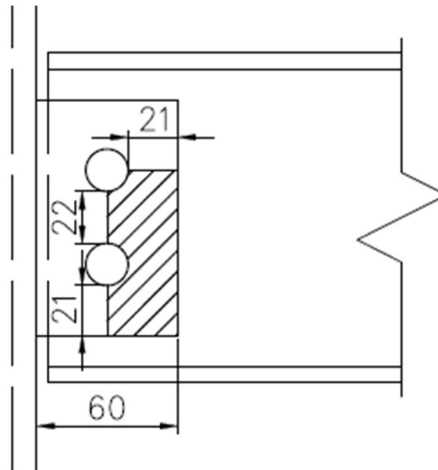
7.2.1.4 Posouzení únosnosti plechu

$$A_v = (100 - 2 \cdot 18) \cdot 10 = 640 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{640 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 86,83 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{21,63}{86,83} = 0,25 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.1.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů



Obr. 7.7 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 10 \cdot 21 = 210 \text{ mm}^2$$

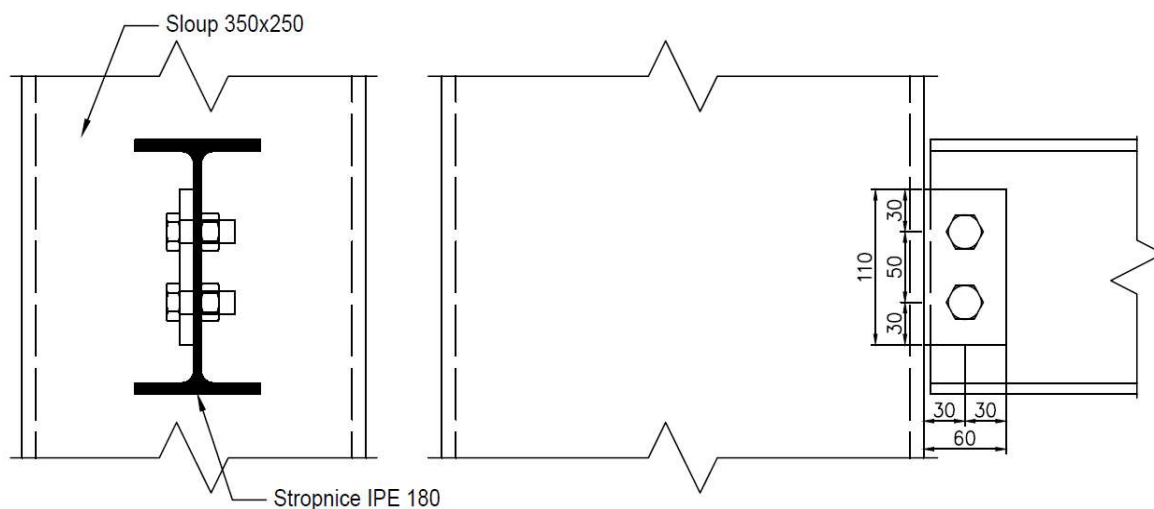
$$A_{nv} = 10 \cdot 43 = 430 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 210}{1,25} + \frac{235 \cdot 430}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 118,82 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{21,63}{118,82} = 0,18 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.2 Přípoj na sloup pro krajní, vegetační střešní stropnici

Posouvající síla $V_{Ed} = 46,12 \text{ kN}$



Obr. 7.8 schéma připojení stropnice na sloup

7.2.2.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 110 - 2 \cdot a = 110 - 2 \cdot 4 = 102 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 102 \cdot 4 = 816 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{46,12 \cdot 10^3}{816} = 56,52 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 46,12 \cdot 0,03 = 1,384 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 110^3 = 8,87 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{8,87 \cdot 10^5}{55} = 16,13 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,384 \cdot 10^6}{16,13 \cdot 10^3} = 85,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{85,80}{\sqrt{2}} = 60,67 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{60,67^2 + 3 \cdot 60,67^2 + 3 \cdot 56,52^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$155,91 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.2.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; t = 5,3 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

7.2.2.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{46,12}{2} = 23,06 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{13,06}{48,24} = 0,27 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,97; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,74; 0,86; 1,39; 1) = 0,74$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5,3}{1,25} = 45,18 \text{ kN}$$

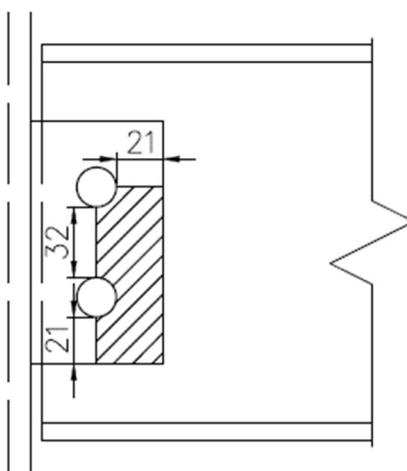
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{13,06}{45,18} = 0,57 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.2.4 Posouzení únosnosti plechu

$$A_v = (110 - 2 \cdot 18) \cdot 10 = 740 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{740 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 100,40 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{46,12}{100,40} = 0,46 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.2.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů

Obr. 7.9 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 10 \cdot 21 = 210 \text{ mm}^2$$

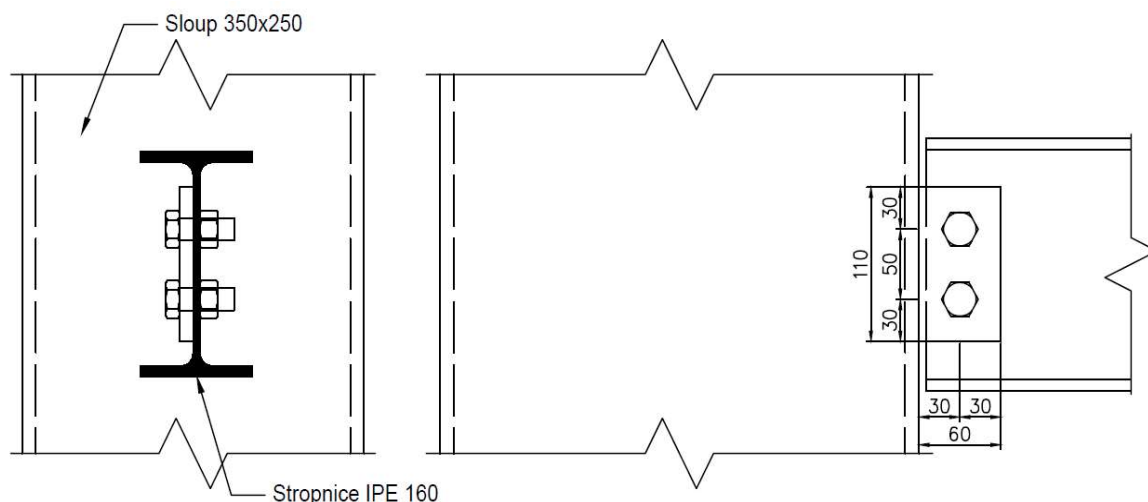
$$A_{nv} = 10 \cdot 53 = 530 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 210}{1,25} + \frac{235 \cdot 530}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 132,39 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{46,12}{132,39} = 0,35 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.3 Přípoj na sloup pro krajní, typickou podlažní stropnici

Posouvající síla $V_{Ed} = 40,04 \text{ kN}$



Obr. 7.10 schéma připojení stropnice na sloup

7.2.3.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 110 - 2 \cdot a = 110 - 2 \cdot 4 = 102 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 102 \cdot 4 = 816 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{40,04 \cdot 10^3}{816} = 49,07 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 40,04 \cdot 0,03 = 1,201 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 110^3 = 8,87 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{8,87 \cdot 10^5}{55} = 16,13 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,201 \cdot 10^6}{16,13 \cdot 10^3} = 74,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{74,46}{\sqrt{2}} = 52,65 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{52,65^2 + 3 \cdot 52,65^2 + 3 \cdot 49,07^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$135,32 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.3.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $t = 5,0 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

7.2.3.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{40,04}{2} = 20,02 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{20,02}{48,24} = 0,42 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,97; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,56; 0,68; 1,39; 1) = 0,56$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5,0}{1,25} = 32,26 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{20,02}{32,26} = 0,62 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.3.4 Posouzení únosnosti plechu

$$A_v = (110 - 2 \cdot 18) \cdot 10 = 740 \text{ mm}^2$$

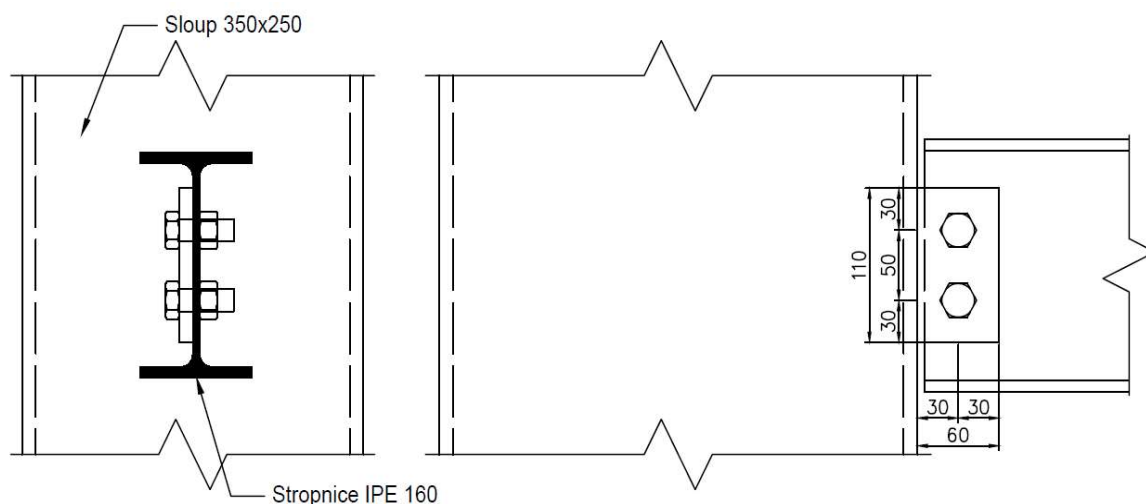
$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{740 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 100,40 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{40,04}{100,40} = 0,40 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vytržení skupiny šroubů je totožné jako u krajní vegetační stropnice, posouvající síla je ještě menší takže prvek vyhoví.

7.2.4 Přípoj na sloup pro mezilehlou, typickou střešní stropnici

Posouvající síla $V_{Ed} = 42,26 \text{ kN}$



Obr. 7.11 schéma připojení stropnice na sloup

7.2.4.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 110 - 2 \cdot a = 110 - 2 \cdot 4 = 102 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 102 \cdot 4 = 816 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{42,26 \cdot 10^3}{816} = 51,79 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 42,26 \cdot 0,03 = 1,268 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 110^3 = 8,87 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{8,87 \cdot 10^5}{55} = 16,13 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,268 \cdot 10^6}{16,13 \cdot 10^3} = 78,61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{78,61}{\sqrt{2}} = 55,59 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{55,59^2 + 3 \cdot 55,59^2 + 3 \cdot 51,79^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$142,86 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.4.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $t = 5,0 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

7.2.4.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{42,26}{2} = 21,13 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{21,13}{48,24} = 0,44 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,97; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,56; 0,68; 1,39; 1) = 0,56$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5,0}{1,25} = 32,26 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{21,13}{32,26} = 0,65 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.4.4 Posouzení únosnosti plechu

$$A_v = (110 - 2 \cdot 18) \cdot 10 = 740 \text{ mm}^2$$

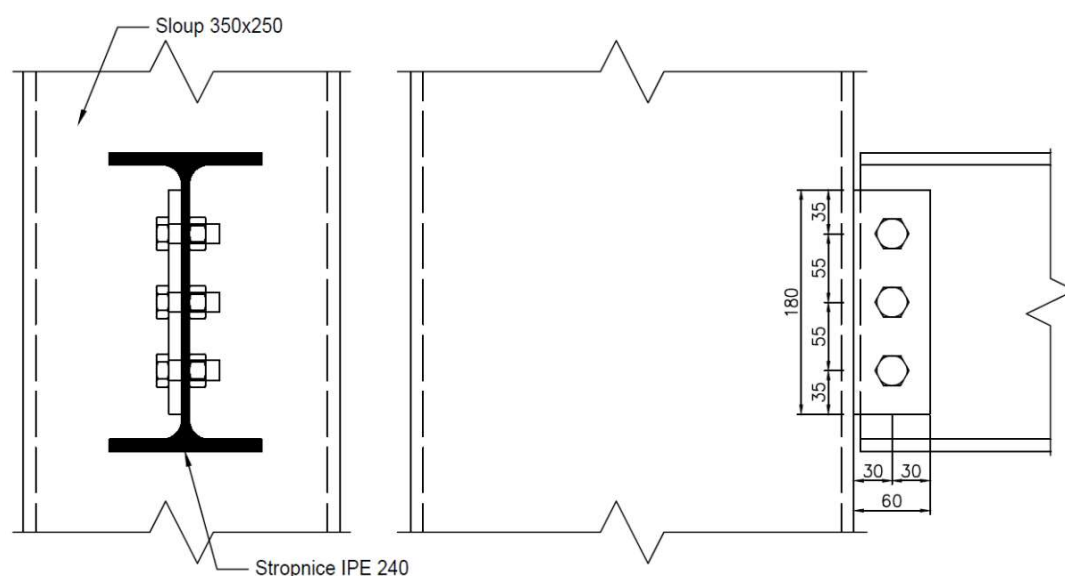
$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{740 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 100,40 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{42,26}{100,40} = 0,42 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení na vytržení skupiny šroubů je totožné jako u krajní vegetační stropnice, posouvající síla je ještě menší takže prvek vyhoví.

7.2.5 Přípoj na sloup pro mezilehlou, vegetační střešní stropnici

Posouvající síla $V_{Ed} = 95,16 \text{ kN}$



Obr. 7.12 schéma připojení stropnice na sloup

7.2.5.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 180 - 2 \cdot a = 180 - 2 \cdot 4 = 172 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 172 \cdot 4 = 1\,376 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{95,16 \cdot 10^3}{1\,376} = 69,16 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 95,16 \cdot 0,03 = 2,855 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 180^3 = 3,89 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{3,89 \cdot 10^6}{90} = 43,22 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{2,855 \cdot 10^6}{43,22 \cdot 10^3} = 66,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{66,06}{\sqrt{2}} = 46,71 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{46,71^2 + 3 \cdot 46,71^2 + 3 \cdot 69,16^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$151,91 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.5.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; t = 6,2 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 55 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 30 \text{ mm}$$

7.2.5.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{3} = \frac{95,16}{3} = 31,72 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{31,72}{48,24} = 0,66 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,97; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,65; 0,77; 1,39; 1) = 0,65$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6,2}{1,25} = 46,43 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{31,72}{46,43} = 0,68 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

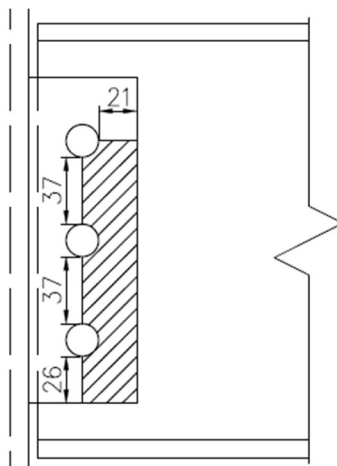
7.2.5.4 Posouzení únosnosti plechu

$$A_v = (180 - 3 \cdot 18) \cdot 10 = 1\,260 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,260 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 170,95 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{95,16}{170,95} = 0,56 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.5.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů



Obr. 7.13 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 10 \cdot 21 = 210 \text{ mm}^2$$

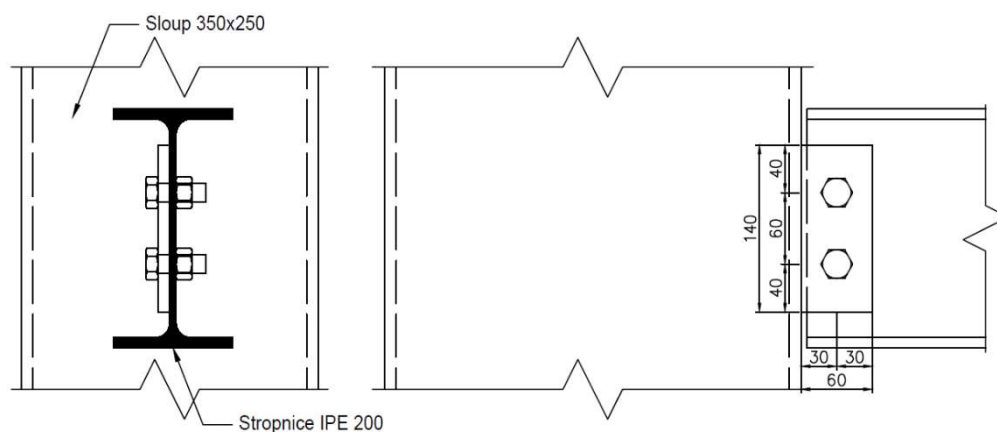
$$A_{nv} = 10 \cdot 100 = 1\,000 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 210}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 196,16 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{95,16}{196,16} = 0,49 \leq 1,00 \dots \text{VYHOVUJE}$$

7.2.6 Přípoj na sloup pro mezilehlou, typickou podlažní stropnici

Posouvající síla $V_{Ed} = 75,46 \text{ kN}$



Obr. 7.14 schéma připojení stropnice na sloup

7.2.6.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 140 - 2 \cdot a = 140 - 2 \cdot 4 = 132 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 132 \cdot 4 = 1\,056 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{75,46 \cdot 10^3}{1\,056} = 71,46 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 75,46 \cdot 0,03 = 2,264 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 140^3 = 1,83 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{1,83 \cdot 10^6}{70} = 26,14 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,384 \cdot 10^6}{16,13 \cdot 10^3} = 85,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{85,80}{\sqrt{2}} = 60,67 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{60,67^2 + 3 \cdot 60,67^2 + 3 \cdot 71,46^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$173,33 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.6.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; t = 5,6 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 40 \text{ mm}$$

7.2.6.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{75,46}{2} = 37,73 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{37,73}{48,24} = 0,78 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,97; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,74; 0,86; 1,39; 1) = 0,74$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5,6}{1,25} = 47,74 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{37,73}{47,74} = 0,79 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

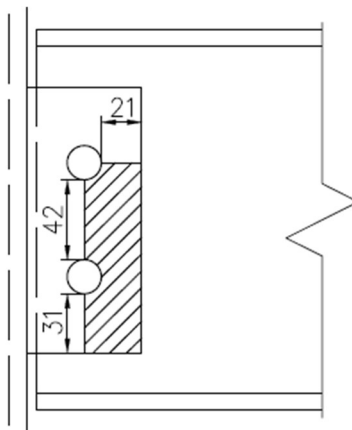
7.2.6.4 Posouzení únosnosti plechu

$$A_v = (140 - 2 \cdot 18) \cdot 10 = 1\,040 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,040 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 141,10 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{75,46}{141,10} = 0,53 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.6.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů



Obr. 7.15 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 10 \cdot 21 = 210 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 10 \cdot 73 = 730 \text{ mm}^2$$

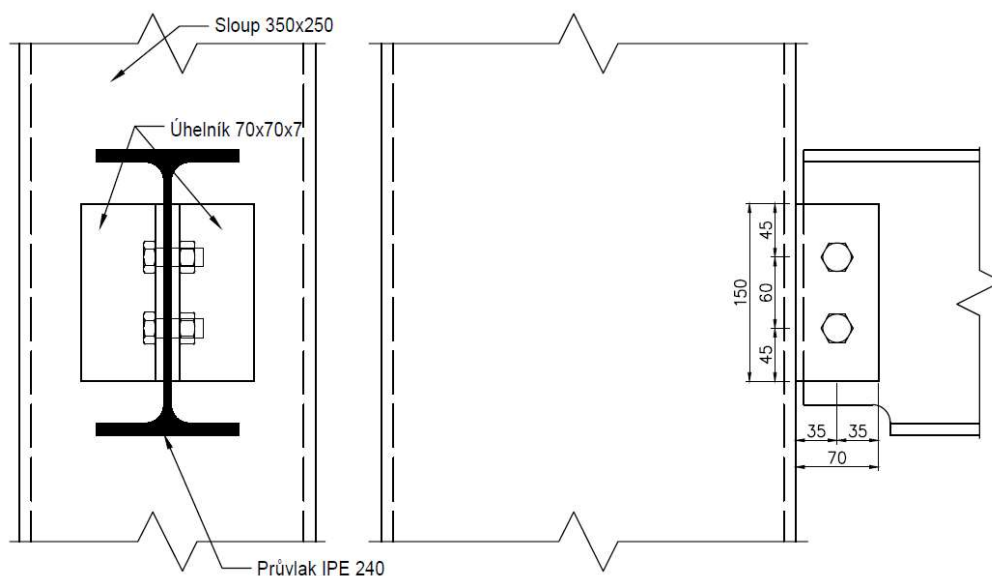
$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 210}{1,25} + \frac{235 \cdot 730}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 159,52 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{75,46}{159,52} = 0,47 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Nosníky typu 1,2,3 jsou připojeny stejným způsobem jako tato stropnice, Nosníky jsou namáhány menší posouvající silou a normálové namáhání je v kombinaci s maximální smykovou silou zanedbatelné. Nejvíce namáhaný z nosníků – nosník 3 je namáhan posouvající silou $V_{Ed} = 51,52 \text{ kN}$.

7.2.7 Přípoj na sloup pro krajní, typický střešní průvlak

Posouvající síla $V_{Ed} = 42,24 \text{ kN}$



Obr. 7.16 schéma připojení průvlaku na sloup

7.2.7.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7 = 8 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 150 - 2 \cdot a = 150 - 2 \cdot 4 = 142 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 142 \cdot 4 = 1\,136 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{42,24 \cdot 10^3}{1\,136} = 37,18 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 42,24 \cdot 0,035 = 1,478 \text{ kNm}$$

$$I_y = 7,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{7,96 \cdot 10^6}{75} = 10,61 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,478 \cdot 10^6}{10,61 \cdot 10^4} = 13,93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{13,93}{\sqrt{2}} = 9,85 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{9,85^2 + 3 \cdot 9,85^2 + 3 \cdot 37,18^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$67,34 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.7.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $t = 6,2 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 45 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$

7.2.7.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{42,24}{2} = 21,12 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 96,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{21,12}{96,48} = 0,22 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,74; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,83; 0,86; 1,39; 1) = 0,86$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,86 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6,2}{1,25} = 61,42 \text{ kN}$$

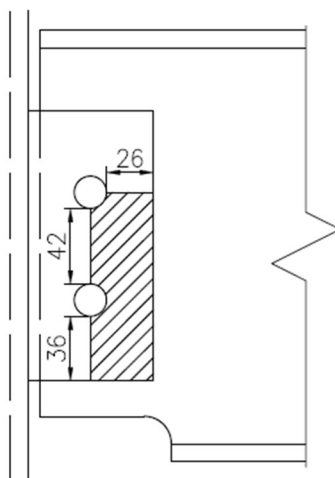
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{21,12}{61,42} = 0,34 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.7.4 Posouzení únosnosti materiálu úhelníků

$$A_v = 2 \cdot (150 - 2 \cdot 18) \cdot 7 = 1\,596 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,596 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 216,54 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{42,24}{216,54} = 0,20 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.7.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů

Obr. 7.17 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 7 \cdot 2 \cdot 26 = 364 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 7 \cdot 2 \cdot 78 = 1\,092 \text{ mm}^2$$

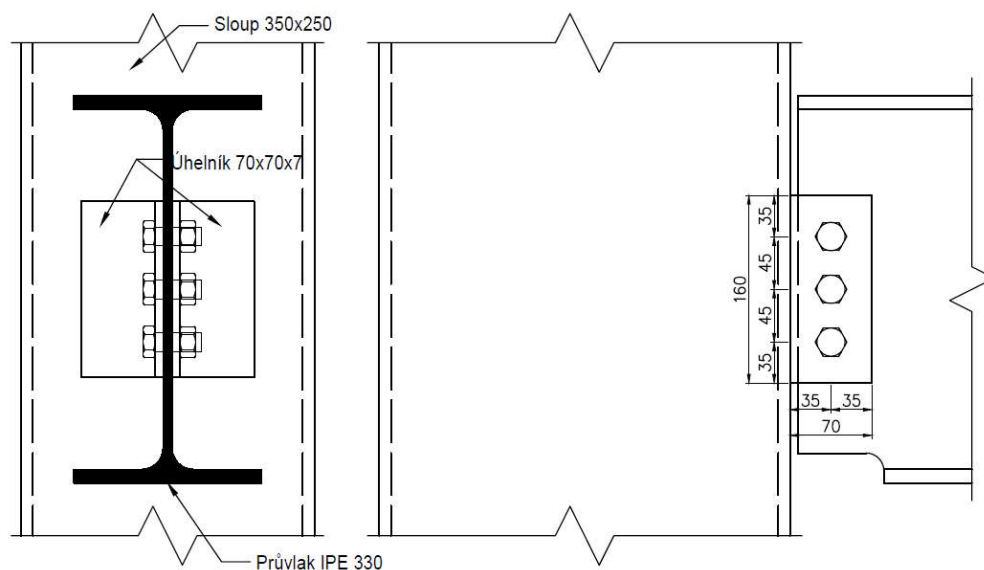
$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 364}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,092}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 252,99 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{42,24}{252,99} = 0,17 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Odpálení spodní části pásnice je provedeno u průvlaků z důvodů montáže tzn. pro možnost zasunutí průvlaku mezi přivařené úhelníky. Skutečnost, že tento výpalek oslabuje stojiny IPE profilu, není ve výpočtu zahrnuta jelikož veškeré průvlaky jsou na smyk využity do 40 %. Což znamená, že oslabení stojiny výřezem nebude ovlivňovat celkovou únosnost prvku.

7.2.8 Přípoj na sloup pro krajní, vegetační střešní průvlak

Posouvající síla $V_{Ed} = 97,20 \text{ kN}$



Obr. 7.18 schéma připojení průvlaku na sloup

7.2.8.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7 = 8 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 160 - 2 \cdot a = 160 - 2 \cdot 4 = 152 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 152 \cdot 4 = 1\,216 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{97,20 \cdot 10^3}{1\,216} = 79,93 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 97,20 \cdot 0,035 = 3,402 \text{ kNm}$$

$$I_y = 9,28 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{9,28 \cdot 10^6}{80} = 11,60 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{3,402 \cdot 10^6}{11,60 \cdot 10^4} = 29,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{29,33}{\sqrt{2}} = 20,74 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{20,74^2 + 3 \cdot 20,74^2 + 3 \cdot 79,93^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$144,52 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.8.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $t = 6,2 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 35 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 45 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$

7.2.8.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{3} = \frac{97,20}{3} = 32,40 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 96,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{32,40}{96,48} = 0,34 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,74; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,65; 0,58; 1,39; 1) = 0,58$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,58 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 7,0}{1,25} = 46,77 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{32,40}{46,77} = 0,69 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

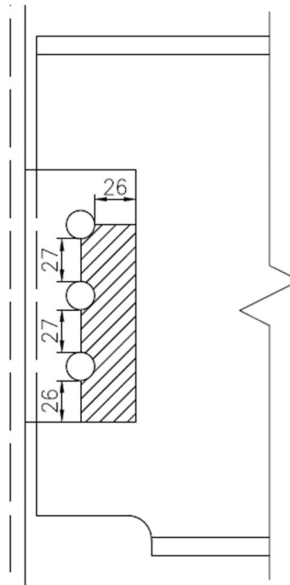
7.2.8.4 Posouzení únosnosti materiálu úhelníků

$$A_v = 2 \cdot (160 - 3 \cdot 18) \cdot 7 = 1\,484 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,484 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 201,35 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{97,20}{201,35} = 0,48 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.8.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů



Obr. 7.19 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 7 \cdot 2 \cdot 26 = 364 \text{ mm}^2$$

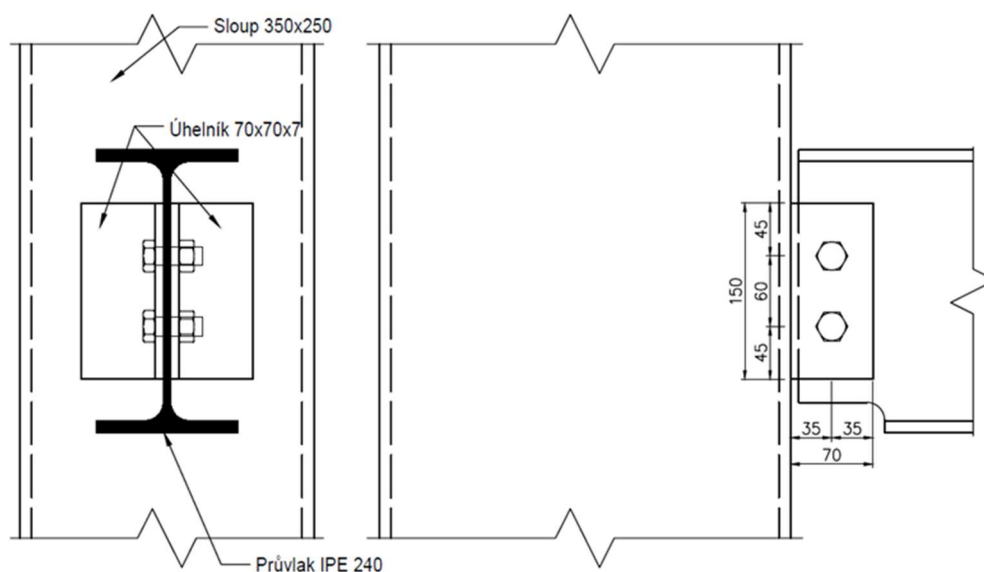
$$A_{nv} = 7 \cdot 2 \cdot 80 = 1\,120 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 364}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,120}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 256,79 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{97,20}{256,79} = 0,38 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.9 Přípoj na sloup pro krajní, typický podlažní průvlak

Posouvající síla $V_{Ed} = 66,33 \text{ kN}$



Obr. 7.20 schéma připojení průvlaku na sloup

7.2.9.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7 = 8 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 150 - 2 \cdot a = 150 - 2 \cdot 4 = 142 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 142 \cdot 4 = 1136 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{66,33 \cdot 10^3}{1136} = 58,39 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 66,33 \cdot 0,035 = 2,322 \text{ kNm}$$

$$I_y = 7,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{7,96 \cdot 10^6}{75} = 10,61 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{2,322 \cdot 10^6}{10,61 \cdot 10^4} = 21,89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{21,89}{\sqrt{2}} = 15,48 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{15,48^2 + 3 \cdot 15,48 + 3 \cdot 58,39^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$105,77 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.9.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 16 \text{ mm}$; $d_0 = 18 \text{ mm}$; $A = 201 \text{ mm}^2$; $A_s = 157 \text{ mm}^2$; $t = 6,6 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 45 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$

7.2.9.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{66,33}{2} = 33,17 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 96,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{33,17}{96,48} = 0,34 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,74; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,83; 0,86; 1,39; 1) = 0,83$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,83 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6,6}{1,25} = 63,11 \text{ kN}$$

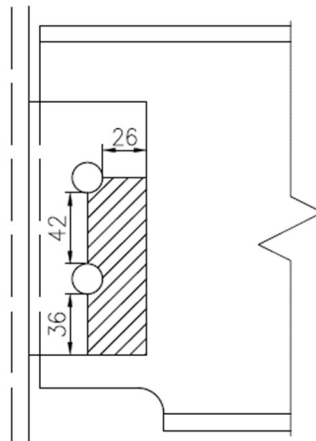
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{33,17}{63,11} = 0,53 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.9.4 Posouzení únosnosti materiálu úhelníků

$$A_v = 2 \cdot (150 - 2 \cdot 18) \cdot 7 = 1\,596 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,596 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 216,54 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{66,33}{216,54} = 0,31 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.9.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů

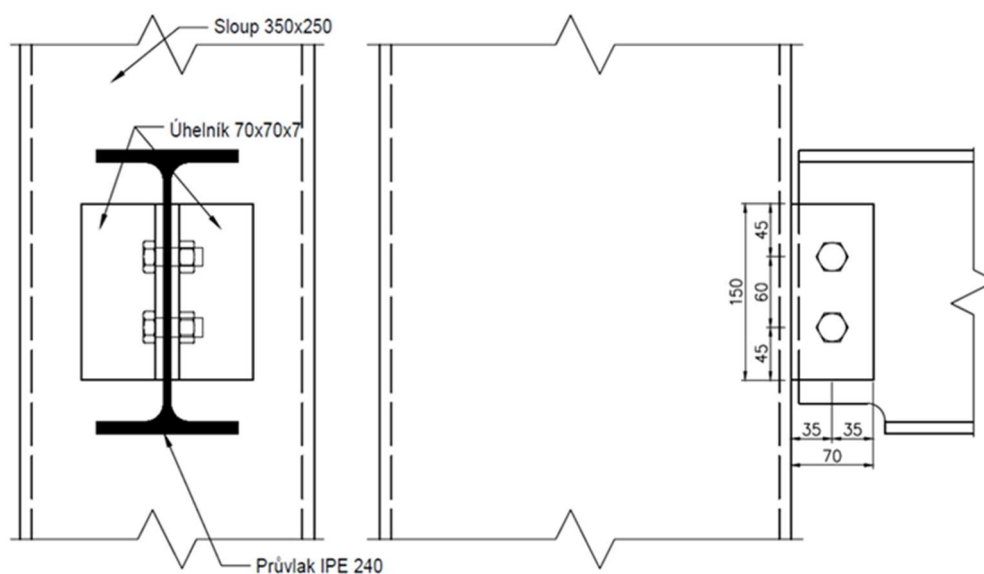
Obr. 7.21 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 7 \cdot 2 \cdot 26 = 364 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 7 \cdot 2 \cdot 78 = 1\,092 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 364}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,092}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 252,99 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{66,33}{252,99} = 0,26 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.10 Přípoj na sloup pro mezilehlý, typický střešní průvlakPosouvající síla $V_{Ed} = 84,46 \text{ kN}$ 

Obr. 7.22 schéma připojení průvlaku na sloup

7.2.10.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7 = 8 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 150 - 2 \cdot a = 150 - 2 \cdot 4 = 142 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 142 \cdot 4 = 1136 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{66,33 \cdot 10^3}{1136} = 58,39 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 84,46 \cdot 0,035 = 2,956 \text{ kNm}$$

$$I_y = 7,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{7,96 \cdot 10^6}{75} = 10,61 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{2,956 \cdot 10^6}{10,61 \cdot 10^4} = 27,86 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{27,86}{\sqrt{2}} = 19,70 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{19,70^2 + 3 \cdot 19,70^2 + 3 \cdot 58,39^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$108,54 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.10.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; t = 6,6 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 45 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$$

7.2.10.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{84,46}{2} = 42,23 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 96,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{42,23}{96,48} = 0,44 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

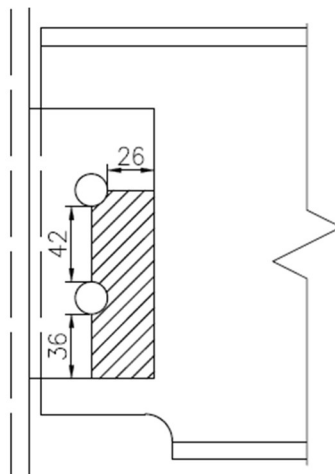
b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,74; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,83; 0,86; 1,39; 1) = 0,83$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,83 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6,6}{1,25} = 63,11 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{42,23}{63,11} = 0,67 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.10.4 Posouzení na vytržení skupiny šroubů

Obr. 7.23 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 7 \cdot 2 \cdot 26 = 364 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 7 \cdot 2 \cdot 78 = 1\,092 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 364}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,092}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 252,99 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{84,46}{252,99} = 0,33 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.10.5 Posouzení únosnosti materiálu úhelníků

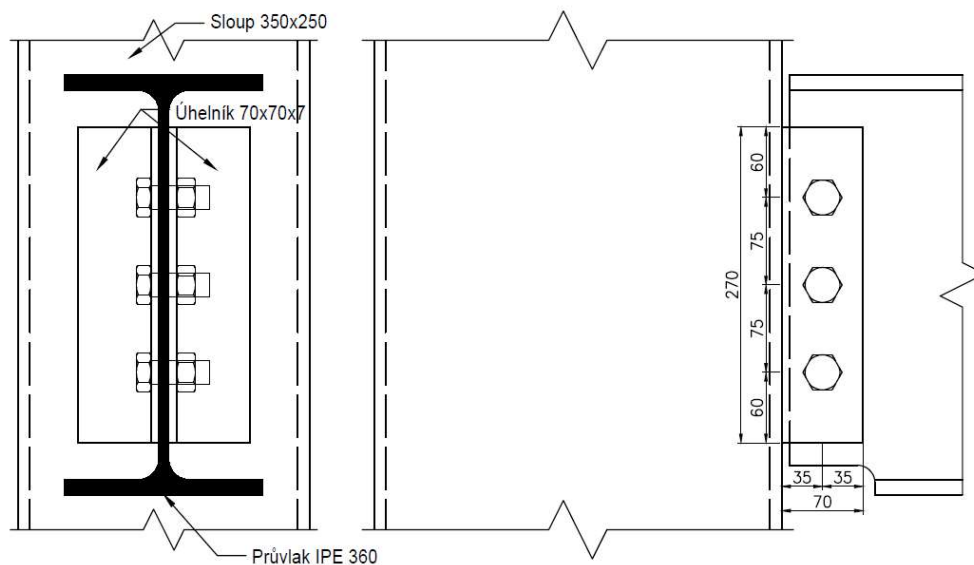
$$A_v = 2 \cdot (150 - 2 \cdot 18) \cdot 7 = 1\,596 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,596 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 216,54 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{84,46}{216,54} = 0,39 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.11 Přípoj na sloup pro mezilehlý, vegetační střešní průvlak

Posouvající síla $V_{Ed} = 192,37 \text{ kN}$



Obr. 7.24 schéma připojení průvlaku na sloup

7.2.11.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7 = 8 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 270 - 2 \cdot a = 270 - 2 \cdot 4 = 262 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 262 \cdot 4 = 2096 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{192,37 \cdot 10^3}{2096} = 91,78 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 192,37 \cdot 0,035 = 6,733 \text{ kNm}$$

$$I_y = 3,56 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{3,56 \cdot 10^7}{135} = 26,37 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{6,733 \cdot 10^6}{26,37 \cdot 10^4} = 25,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{25,53}{\sqrt{2}} = 18,05 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{18,05^2 + 3 \cdot 18,05^2 + 3 \cdot 91,78^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$163,02 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.11.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$d = 20 \text{ mm}$; $d_0 = 22 \text{ mm}$; $A = 314 \text{ mm}^2$; $A_s = 245 \text{ mm}^2$; $t = 7,0 \text{ mm}$;

$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$

Rozteče

$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 60 \text{ mm}$

$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 75 \text{ mm}$

$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$

7.2.11.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{3} = \frac{192,37}{3} = 64,12 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 314}{1,25} = 150,72 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{64,12}{150,72} = 0,43 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(2,75; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,91; 0,89; 1,39; 1) = 0,89$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,89 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,0}{1,25} = 89,71 \text{ kN}$$

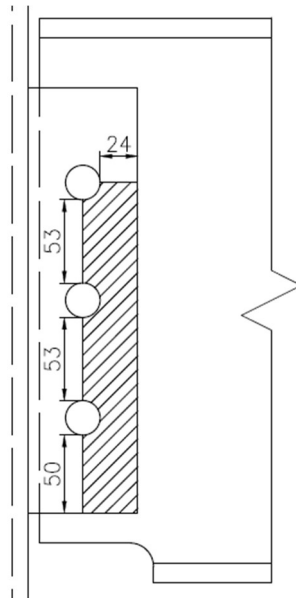
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{64,12}{89,71} = 0,71 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.11.4 Posouzení únosnosti materiálu úhelníků

$$A_v = 2 \cdot (270 - 3 \cdot 22) \cdot 7 = 2\,856 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2\,856 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 387,49 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{192,37}{387,49} = 0,50 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.11.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů

Obr. 7.25 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 7 \cdot 2 \cdot 24 = 336 \text{ mm}^2$$

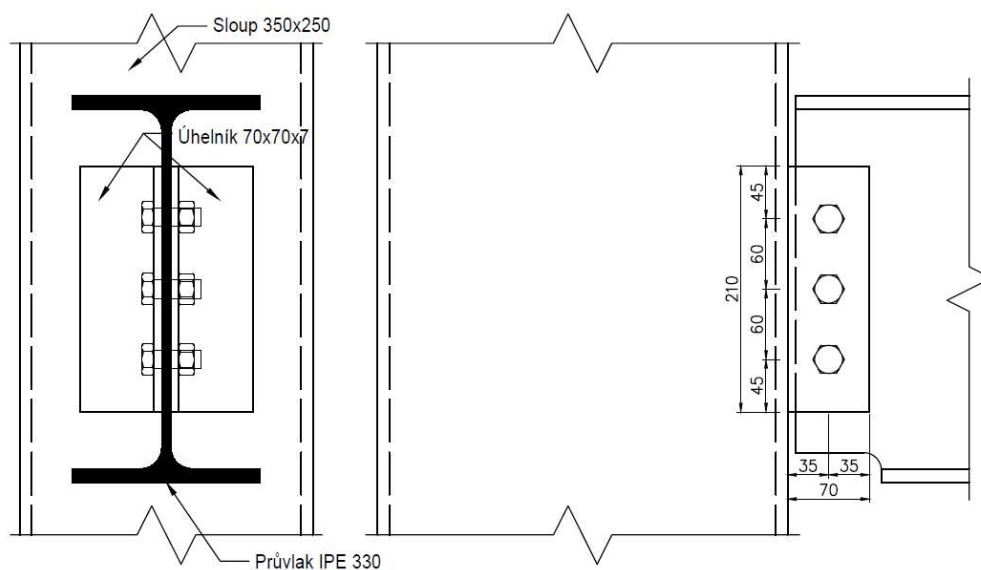
$$A_{nv} = 7 \cdot 2 \cdot 156 = 2\,184 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 336}{1,25} + \frac{235 \cdot 2\,184}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 393,09 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{192,37}{393,09} = 0,49 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.12 Přípoj na sloup pro mezilehlý, typický podlažní průvlak

Posouvající síla $V_{Ed} = 143,39 \text{ kN}$



Obr. 7.26 schéma připojení průvlaku na sloup

7.2.12.1 Posouzení svaru

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 7 = 8 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 210 - 2 \cdot a = 210 - 2 \cdot 4 = 202 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 202 \cdot 4 = 1\,616 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{143,39 \cdot 10^3}{1\,616} = 88,73 \text{ MPa}$$

Napětí ve svaru od ohybového momentu:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot r = 143,39 \cdot 0,035 = 5,019 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2,00 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{2,00 \cdot 10^7}{105} = 19,05 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{5,019 \cdot 10^6}{19,05 \cdot 10^4} = 26,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp, M} = \tau_{\perp, M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{26,35}{\sqrt{2}} = 18,63 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{18,63^2 + 3 \cdot 18,63^2 + 3 \cdot 88,73^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$158,14 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.12.2 Posouzení šroubů

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 16 \text{ mm}; d_0 = 18 \text{ mm}; A = 201 \text{ mm}^2; A_s = 157 \text{ mm}^2; t = 7,0 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 45 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$$

7.2.12.3 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{3} = \frac{143,39}{3} = 47,80 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 201}{1,25} = 96,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{47,80}{96,48} = 0,50 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otlačení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(3,74; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,74; 0,86; 1,39; 1) = 0,74$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 7,0}{1,25} = 59,67 \text{ kN}$$

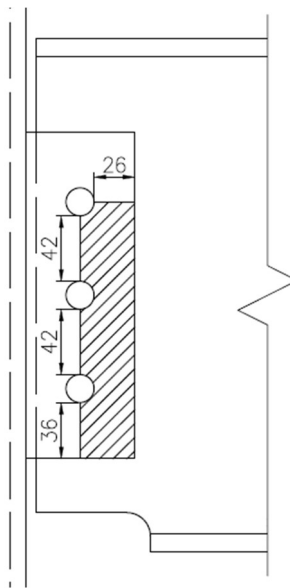
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{47,80}{59,67} = 0,80 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.12.4 Posouzení únosnosti materiálu úhelníků

$$A_v = 2 \cdot (210 - 3 \cdot 18) \cdot 7 = 2\,184 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2\,184 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 296,32 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{143,39}{296,32} = 0,48 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.12.5 Posouzení na vytržení skupiny šroubů

Obr. 7.27 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 7 \cdot 2 \cdot 26 = 364 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 7 \cdot 2 \cdot 120 = 1\,680 \text{ mm}^2$$

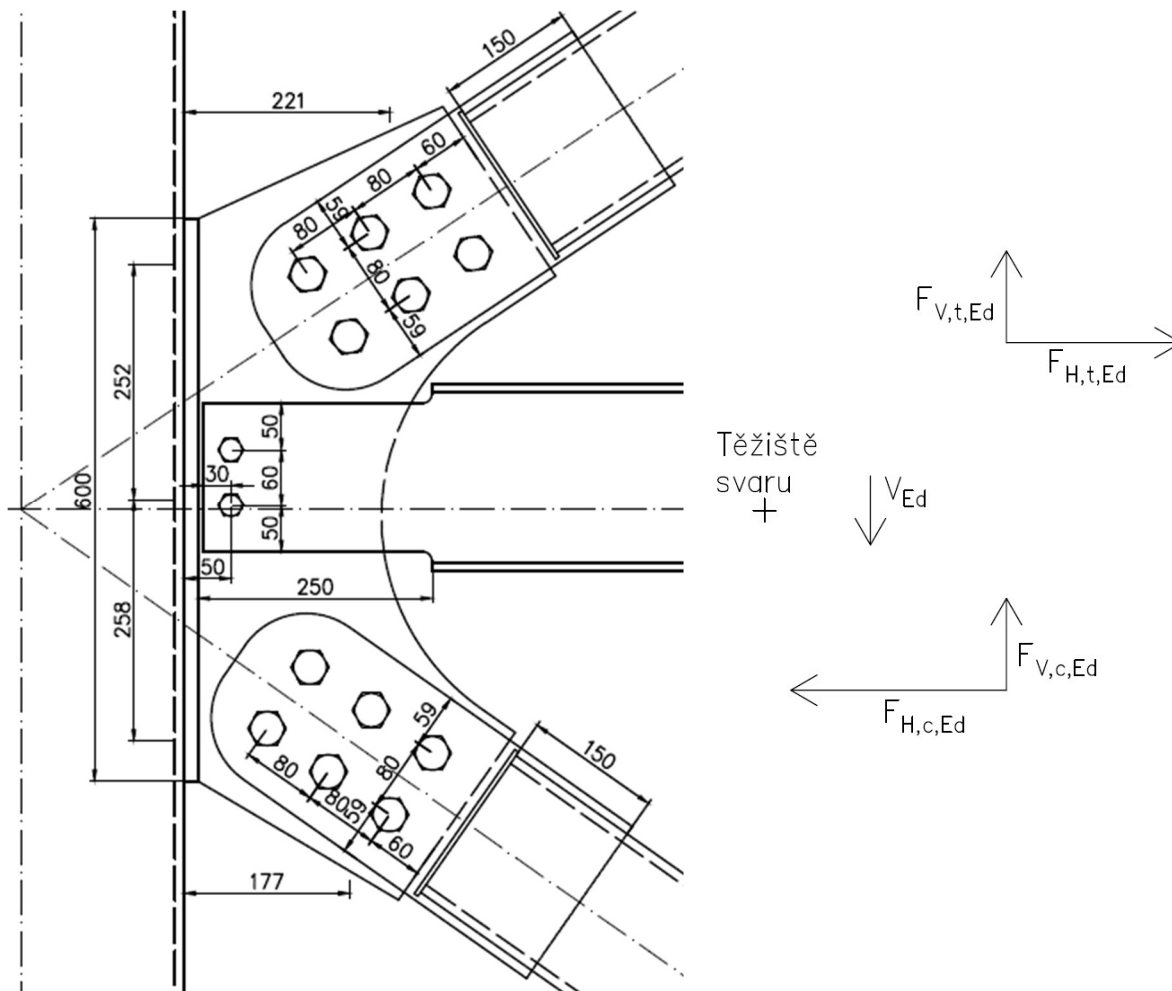
$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 364}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,680}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 332,77 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{143,39}{332,77} = 0,43 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.13 Připojení příhradového ztužidla typu 1 ke sloupu

Normálová tlaková síla ve ztužidle $N_{Ed} = 515,47 \text{ kN}$

Odpovídající posouvající síla ve stropnici $V_{Ed} = 53,74 \text{ kN}$



Obr. 7.28 styčník připojení ztužidel se schématem vnitřních sil

Rozklad sil od ztužidla:

$$F_{V,c,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 515,47 \cdot \cos(55,01) = 295,59 \text{ kN}$$

$$F_{H,c,Ed} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 515,47 \cdot \sin(55,01) = 422,30 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla ve ztužidle 2. podlaží:

$$F_{V,t,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 164,78 \cdot \cos(56,31) = 91,40 \text{ kN}$$

$$F_{H,t,Ed} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 164,78 \cdot \sin(56,31) = 137,11 \text{ kN}$$

7.2.13.1 Posouzení svaru styčnickového plechu na plech

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

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 11 \text{ mm} \rightarrow a = 6 \text{ mm}$$

$$L = 602 - 2 \cdot a = 602 - 2 \cdot 6 = 590 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 590 \cdot 6 = 7\,080 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{V,c,Ed} + F_{V,t,Ed}}{A} = \frac{(295,59 + 91,40) \cdot 10^3}{7\,080} = 54,85 \text{ MPa}$$

Působení momentu na svar:

r_i – jednotlivá ramena sil k těžišti svaru

$$M_{Ed} = F_{V,c,Ed} \cdot r_1 - F_{H,c,Ed} \cdot r_2 - V_{Ed} \cdot r_3 + F_{V,t,Ed} \cdot r_1 - F_{H,t,Ed} \cdot r_2$$

$$M_{Ed} = 295,59 \cdot 0,177 - 422,30 \cdot 0,258 - 53,74 \cdot 0,05 + 91,40 \cdot 0,221 -$$

$$137,11 \cdot 0,252 = -73,67 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 588^3 = 203,30 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{203,30 \cdot 10^6}{300} = 6,78 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{73,67 \cdot 10^6}{6,78 \cdot 10^5} = 108,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{108,66}{\sqrt{2}} = 76,83 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{76,83^2 + 3 \cdot 76,83^2 + 3 \cdot 54,85^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$180,66 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.13.2 Posouzení svaru styčnickového plechu na prut ztužidla

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

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 11 \text{ mm} \rightarrow a = 6 \text{ mm}$$

$$L = 150 - 2 \cdot a = 150 - 2 \cdot 6 = 138 \text{ mm}$$

$$A = 4 \cdot L \cdot a = 4 \cdot 138 \cdot 6 = 3\,312 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{515,47 \cdot 10^3}{3\,312} = 155,64 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 155,64^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$269,58 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.13.3 Posouzení šroubů přípoje diagonály**Rozměry a materiálové charakteristiky**

$$d = 24 \text{ mm}; d_0 = 26 \text{ mm}; A = 452 \text{ mm}^2; A_s = 353 \text{ mm}^2; t = 18,0 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 26 = 57,2 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 80 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 58,9 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 26 = 62,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 80 \text{ mm}$$

7.2.13.4 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{6} = \frac{515,47}{6} = 85,91 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 452}{1,25} = 108,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{85,91}{108,48} = 0,79 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,57; 2,61; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,77; 0,78; 1,39; 1) = 0,77$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 10,0}{1,25} = 133,06 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{85,91}{133,06} = 0,65 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.13.5 Posouzení materiálu plechu

$$A_{net} = 197 - 2 \cdot 26 \cdot 18 = 2 \text{ } 610 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2 \text{ } 610 \cdot 235}{1,0} = 613,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{515,47}{613,34} = 0,84 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.13.6 Posouzení šroubů přípoje typického podlažního průvlaku

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 20 \text{ mm}; d_0 = 22 \text{ mm}; A = 314 \text{ mm}^2; A_s = 245 \text{ mm}^2; t = 7,5 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 45 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 40 \text{ mm}$$

7.2.13.7 Posouzení na smyk

a) posouzení na stříh

$$F_{v,1,Ed} = \frac{V_{Ed}}{3} = \frac{143,39}{3} = 47,80 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 314}{1,25} = 75,36 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{47,80}{75,36} = 0,63 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(3,39; -; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,68; 0,66; 1,39; 1) = 0,66$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,66 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7,5}{1,25} = 71,28 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{47,80}{71,28} = 0,67 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

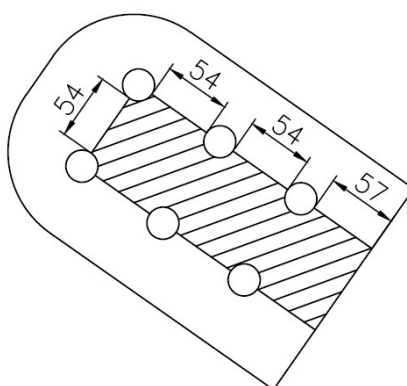
7.2.13.8 Posouzení oslabeného průřezu průvlaku na smyk

$$A_v = (280 - 3 \cdot 22) \cdot 7,5 = 1605 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,605 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 217,76 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{143,39}{217,76} = 0,66 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.13.9 Posouzení na vytržení skupiny šroubů



Obr. 7.29 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 18 \cdot 54 = 972 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 18 \cdot 165 = 2\,970 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 972}{1,25} + \frac{235 \cdot 2\,970}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 682,90 \text{ kN}$$

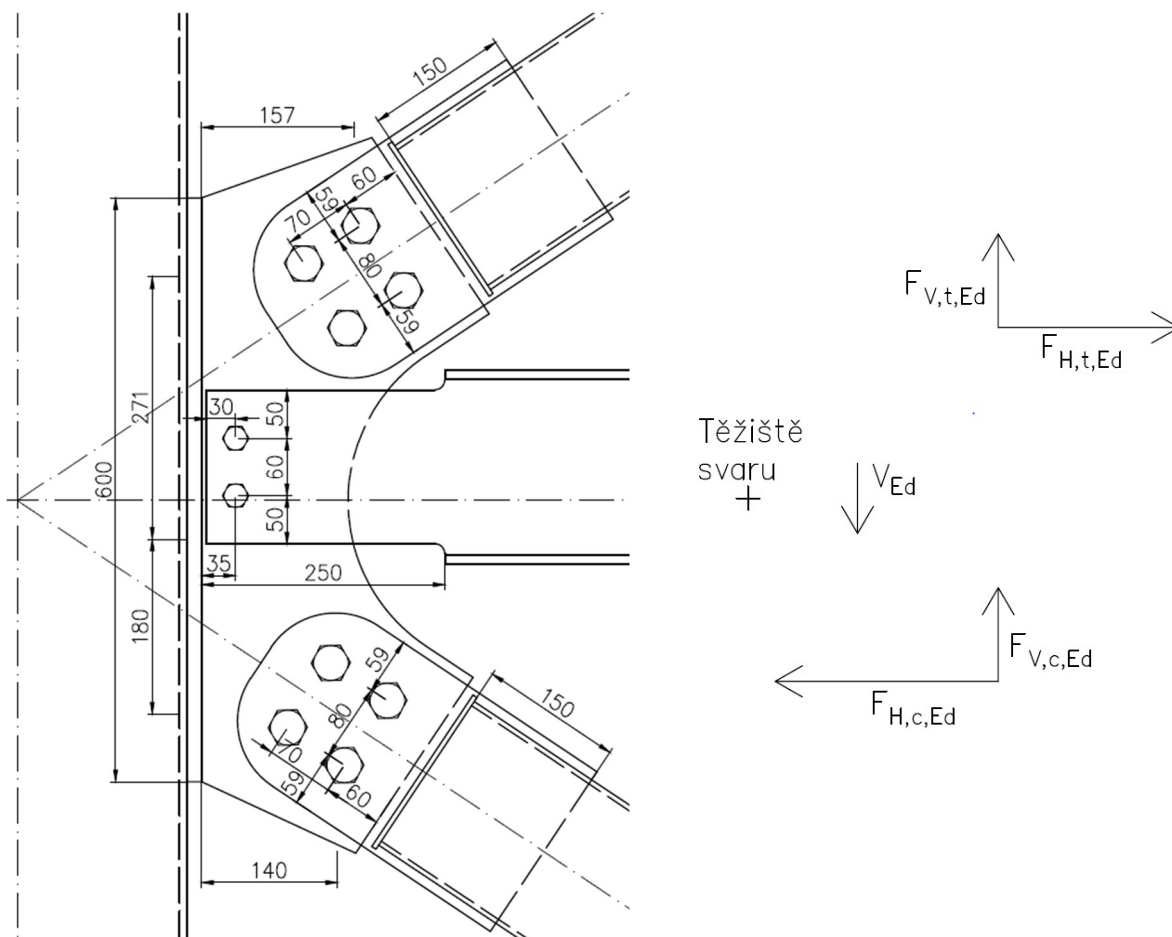
$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{218,25}{682,90} = 0,32 \leq 1,00 \dots \text{VYHOVUJE}$$

Koutový svar, kterým bude připevněn výztužný plech na sloup je navržen s účinnou výškou $a = 6 \text{ mm}$, tento svar není třeba posuzovat, jelikož jeho posudek je principiálně stejný jako posouzení přivaření styčnickového plechu k tomuto plechu. Jde o totožné namáhání, tento svar má pouze větší plochu a větší moment setrvačnosti.

7.2.14 Připojení příhradového ztužidla typu 2 ke sloupu

Normálová tlaková síla ve ztužidle $N_{Ed} = 268,10 \text{ kN}$

Odpovídající posouvající síla ve stropnici $V_{Ed} = 54,71 \text{ kN}$



Obr. 7.30 styčník připojení ztužidla se schématem vnitřních sil

Rozklad sil od ztužidla:

$$F_{V,c,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 268,10 \cdot \cos(56,31) = 148,71 \text{ kN}$$

$$F_{H,c,Ed} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 268,10 \cdot \sin(56,31) = 223,07 \text{ kN}$$

Maximální tahová síla ve ztužidle vyššího podlaží:

$$F_{V,t,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 86,52 \cdot \cos(55,01) = 49,61 \text{ kN}$$

$$F_{H,t,Ed} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 86,52 \cdot \sin(55,01) = 70,88 \text{ kN}$$

7.2.14.1 Posouzení svaru styčnickového plechu

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 600 - 2 \cdot a = 600 - 2 \cdot 4 = 592 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 592 \cdot 4 = 4\,736 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{||} = \frac{F_{V,c,Ed} + F_{V,t,Ed}}{A} = \frac{(148,71 + 49,61) \cdot 10^3}{4\,736} = 41,88 \text{ MPa}$$

Působení momentu na svar:

r_i – jednotlivá ramena sil k těžišti svaru

$$M_{Ed} = F_{V,c,Ed} \cdot r_1 - F_{H,c,Ed} \cdot r_2 - V_{Ed} \cdot r_3 + F_{V,t,Ed} \cdot r_1 - F_{H,t,Ed} \cdot r_2$$

$$M_{Ed} = 148,71 \cdot 0,140 - 223,07 \cdot 0,180 - 54,71 \cdot 0,035 + 49,61 \cdot 0,157 -$$

$$70,88 \cdot 0,271 = -32,67 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 592^3 = 138,32 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{138,32 \cdot 10^6}{300} = 4,61 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{32,67 \cdot 10^6}{4,61 \cdot 10^5} = 70,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{70,87}{\sqrt{2}} = 50,11 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{50,11^2 + 3 \cdot 50,11^2 + 3 \cdot 41,88^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$123,72 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.14.2 Posouzení svaru styčnickového plechu na prut ztužidla

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{\max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 150 - 2 \cdot a = 150 - 2 \cdot 4 = 142 \text{ mm}$$

$$A = 4 \cdot L \cdot a = 4 \cdot 142 \cdot 4 = 2\,272 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{H,Ed}}{A} = \frac{223,07 \cdot 10^3}{2\,272} = 98,18 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 98,18^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$170,05 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.14.3 Posouzení šroubů přípoje diagonály

Rozměry a materiálové charakteristiky

$$d = 20 \text{ mm}; d_0 = 22 \text{ mm}; A = 314 \text{ mm}^2; A_s = 245 \text{ mm}^2; t = 15,0 \text{ mm};$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}; f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

Rozteče

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 70 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 58,9 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 22 = 52,8 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 80 \text{ mm}$$

7.2.14.4 Posouzení na smyk

a) posouzení na střih

$$F_{v,1,Ed} = \frac{N_{Ed}}{6} = \frac{268,10}{4} = 67,03 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 314}{1,25} = 75,36 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{67,03}{75,36} = 0,89 < 1,0 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

b) posouzení na otláčení materiálu

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min(5,81; 3,39; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) = \min(0,76; 0,81; 1,39; 1) = 0,76$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,76 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 15,0}{1,25} = 164,16 \text{ kN}$$

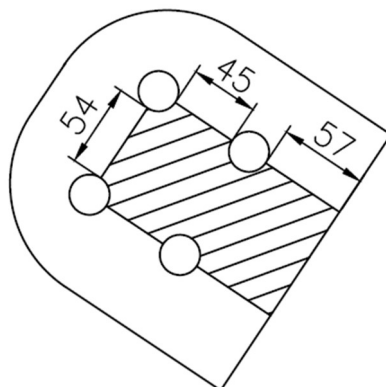
$$\frac{F_{v,1,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{67,03}{164,16} = 0,41 < 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.14.5 Posouzení materiálu plechu

$$A_{net} = (197 - 2 \cdot 22) \cdot 15 = 2\,295 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,295 \cdot 235}{1,0} = 539,33 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{268,10}{539,33} = 0,50 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.14.6 Posouzení na vytržení skupiny šroubů

Obr. 7.31 schéma vytržení skupiny šroubů

$$A_{nt} = 15 \cdot 54 = 810 \text{ mm}^2$$

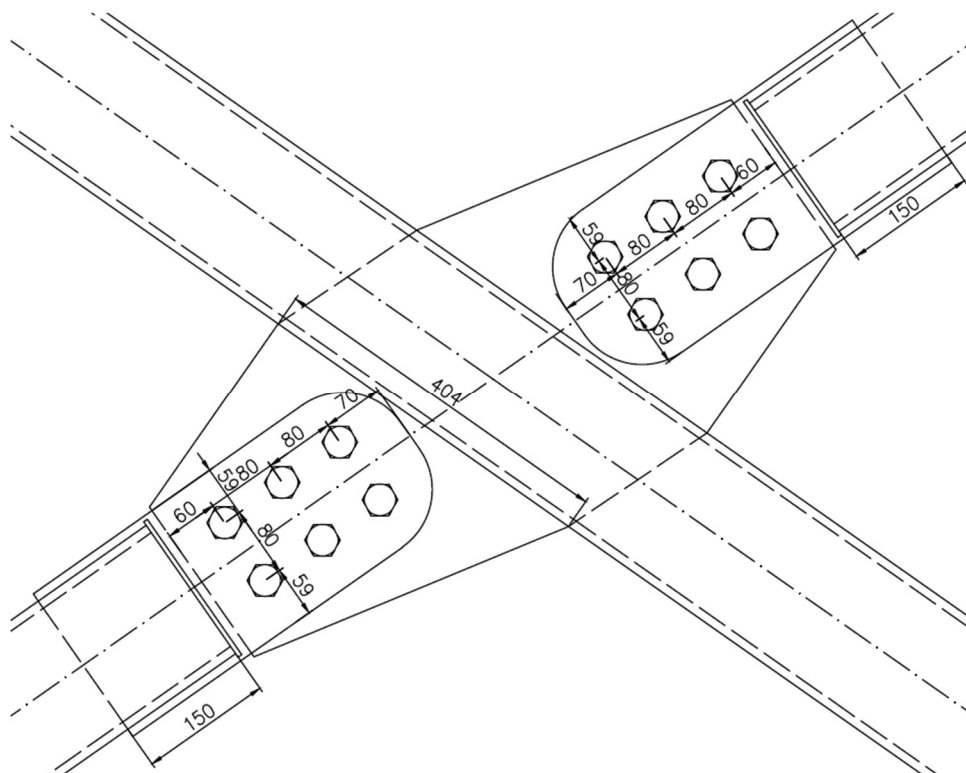
$$A_{nv} = 15 \cdot 102 = 1\,530 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 810}{1,25} + \frac{235 \cdot 1\,530}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 440,87 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} = \frac{149,35}{440,87} = 0,34 \leq 1,00 \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

7.2.15 Křížení příhradového ztužidla typu 1

Normálová tlaková síla ve ztužidle $N_{Ed} = 515,47 \text{ kN}$



Obr. 7.32 styčník křížení ztužidel typu 1

Rozklad sil od ztužidla:

$$F_{\perp,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 515,47 \cdot \cos(20,02) = 484,32 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel,Ed} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 515,47 \cdot \sin(20,02) = 176,47 \text{ kN}$$

7.2.15.1 Posouzení svaru styčnickového plechu

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

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 11 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 404 - 2 \cdot a = 404 - 2 \cdot 4 = 396 \text{ mm}$$

$$A = 4 \cdot L \cdot a = 4 \cdot 396 \cdot 4 = 6\,336 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{A} = \frac{176,47 \cdot 10^3}{6\,336} = 27,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{F_{\perp,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{484,32 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 6\,336} = 54,05 \text{ MPa}$$

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

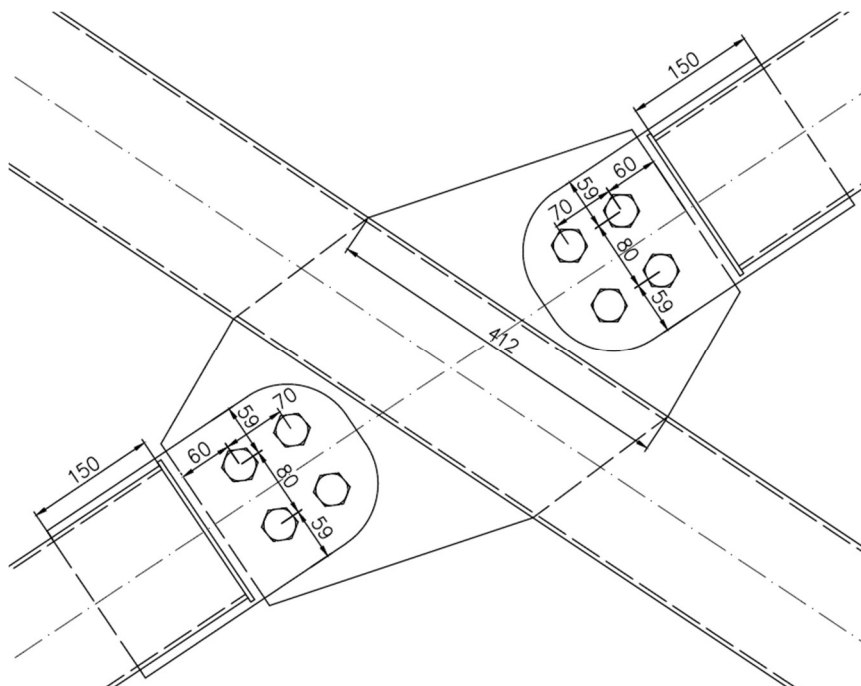
$$\sqrt{54,05^2 + 3 \cdot 54,05^2 + 3 \cdot 27,85^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$118,37 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení šroubového přípoje a svaru styčnickového plechu na prut ztužidla je posouzeno v přípoji příhradového ztužidla typu 1 ke sloupu.

7.2.16 Křížení příhradového ztužidla typu 2

Normálová tlaková síla ve ztužidle $N_{Ed} = 268,10 \text{ kN}$



Obr. 7.33 styčnick křížení ztužidel typu 2

Rozklad sil od ztužidla:

$$F_{\perp,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 268,10 \cdot \cos(22,63) = 247,46 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel,Ed} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 268,10 \cdot \sin(22,63) = 103,16 \text{ kN}$$

7.2.16.1 Posouzení svaru styčnickového plechu

$$a_{max} = 1,1 \cdot t_{min} = 1,1 \cdot 8 = 9 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 9 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 412 - 2 \cdot a = 412 - 2 \cdot 4 = 404 \text{ mm}$$

$$A = 4 \cdot L \cdot a = 4 \cdot 404 \cdot 4 = 6\,464 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{A} = \frac{103,16 \cdot 10^3}{6\,464} = 15,96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{F_{\perp,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{247,46 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 6\,464} = 27,07 \text{ MPa}$$

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

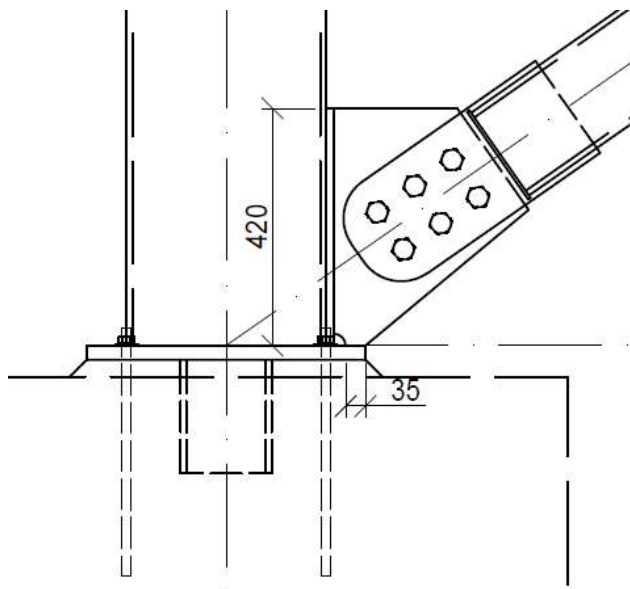
$$\sqrt{27,07^2 + 3 \cdot 27,07^2 + 3 \cdot 15,96^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$60,79 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení šroubového přípoje a svaru styčnickového plechu na prut ztužidla je posouzeno v přípoji příhradového ztužidla typu 2 ke sloupu.

7.2.17 Připojení příhradového ztužidla typu 1 ke sloupu

Normálová tahová síla ve ztužidle $N_{Ed} = 218,25 \text{ kN}$



Obr. 7.28 styčník připojení ztužidla k patě sloupu

Rozklad sil od ztužidla:

$$F_{V,c,Ed} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 218,25 \cdot \cos(55,01) = 125,15 \text{ kN}$$

$$F_{H,c,Ed} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 218,25 \cdot \sin(55,01) = 178,80 \text{ kN}$$

7.2.17.1 Posouzení svaru styčnickového plechu na plech

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

$$a_{min} = 3 \text{ mm} \leq a \leq a_{max} = 11 \text{ mm} \rightarrow a = 6 \text{ mm}$$

$$L = 420 - 2 \cdot a = 420 - 2 \cdot 6 = 408 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 408 \cdot 6 = 4\,896 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{V,c,Ed}}{A} = \frac{(125,15) \cdot 10^3}{4\,896} = 25,56 \text{ MPa}$$

Působení momentu na svar:

r_i – jednotlivá ramena sil k těžišti svaru

$$M_{Ed} = F_{V,c,Ed} \cdot r_1 - F_{H,c,Ed} \cdot r_2$$

$$M_{Ed} = 125,15 \cdot 0,164 - 178,80 \cdot 0,115 = -0,037 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 408^3 = 67,92 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{67,92 \cdot 10^6}{210} = 3,23 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,037 \cdot 10^6}{3,23 \cdot 10^5} = 0,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,M} = \tau_{\perp,M} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{0,11}{\sqrt{2}} = 0,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,F} = \tau_{\perp,F} = \frac{F_{H,c,Ed}}{\sqrt{2} \cdot A} = \frac{178,80 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 4\,896} = 25,82 \text{ MPa}$$

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

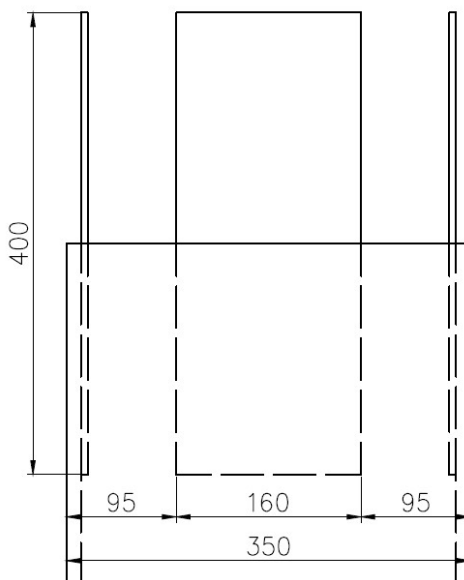
$$\sqrt{(0,08 + 25,82)^2 + 3 \cdot (0,08 + 25,82)^2 + 3 \cdot 25,56^2} \leq \frac{360 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$68,14 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

Ve výpočtu je uvažováno působení pouze svislého svaru, krátký horizontální svar není uvažován pro přenášení napětí od působících sil.

7.2.18 Montážní spoj sloupu

Montážní spoj sloupu bude proveden pomocí tupého V/2 svaru. Pro svar je předepsáno plné provaření. Z tohoto důvodu není nutné tento spoj posuzovat. Pro pohodlnější montáž je spodní část sloupu opatřena zevnitř přivařenými plechy, které pomůžou stabilizovat sloup při montážním svaření na stavbě.



Obr. 7.34 schéma montážním výztuh na spodním sloupu v místě montážního spoje

8 Kotvení sloupu

8.1 Kotvení K1

Kotvení je uvažováno jako kloubové a bude kotveno k betonové patce čtvercového půdorysu o rozměrech 1 200 x 1 200 mm a výšce 1 000 mm. Pod patkou přímo navazuje pilota o průměru 900 mm a délce 8 500 mm. Beton je pevnostní třídy C25/30. Patní plech má rozměry 490 x 490 a tloušťka je 25 mm. Toto kotvení je použito pouze u sloupů, ke kterým jsou připojeny ztužidla.

$$a = 490 \text{ mm}$$

$$b = 490 \text{ mm}$$

$$h = 1\,000 \text{ mm}$$

$$a_r = 355 \text{ mm}$$

$$b_r = 355 \text{ mm}$$

$$t_p = 25 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

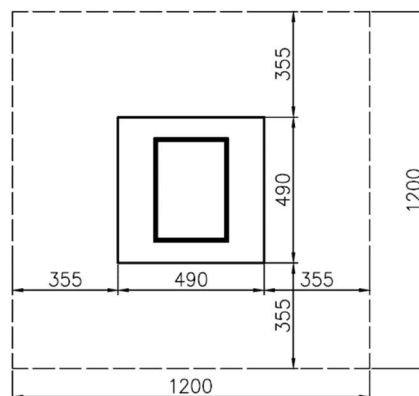
$$f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

kotvení

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$



Obr. 8.1 schéma základních rozměrů

8.1.1 Návrh a patního plechu

Rozhodující kombinace pro návrh patního plechu KV 1

$$N_{Ed} = 2\,772,60 \text{ kN}$$

$$a_1 = \min(a + 2a_r; 5a; a + h) = \min(1\,200; 2\,450; 1\,490) = 1\,200 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(b + 2b_r; 5b; b + h) = \min(1\,200; 2\,450; 1\,490) = 1\,200 \text{ mm}$$

součinitel interakce:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1\,200 \cdot 1\,200}{490 \cdot 490}} = 2,45$$

návrhová pevnost betonu:

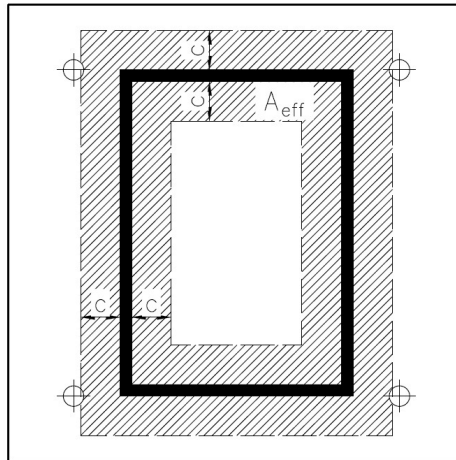
$$f_{jd} = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 2,45 \cdot 25}{1,5} = 27,36 \text{ MPa}$$

účinná šířka patní desky:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 27,36 \cdot 1,0}} = 42,3 \text{ mm}$$

efektivní plocha:

$$A_{eff} = 111\,522 \text{ mm}^2$$



Obr. 8,2 schéma efektivní plochy

únosnost tlačené patky:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 111\,522 \cdot 27,36 = 3\,051,24 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 2\,772,60 \text{ kN} \dots \textbf{VYHOVUJE}$$

únosnost tlačené patky je dostačující i pro kotvení K3, pro extrémní tlakovou sílu 2824,47 kN

8.1.2 Přenos vodorovné síly

tření:

součinitel tření mezi ocelí a betonem $\mu = 0,2$

$$V_{Ed} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = \sqrt{425,73^2 + 1,96^2} = 425,73 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{\mu \cdot N_{Ed}} = \frac{425,73}{0,2 \cdot 1\,288,54} = 1,65 \leq 1,00 \dots \textbf{NEVYHOVUJE}$$

8.1.3 Návrh a posouzení kotevní zarážky

Návrh HEB 160

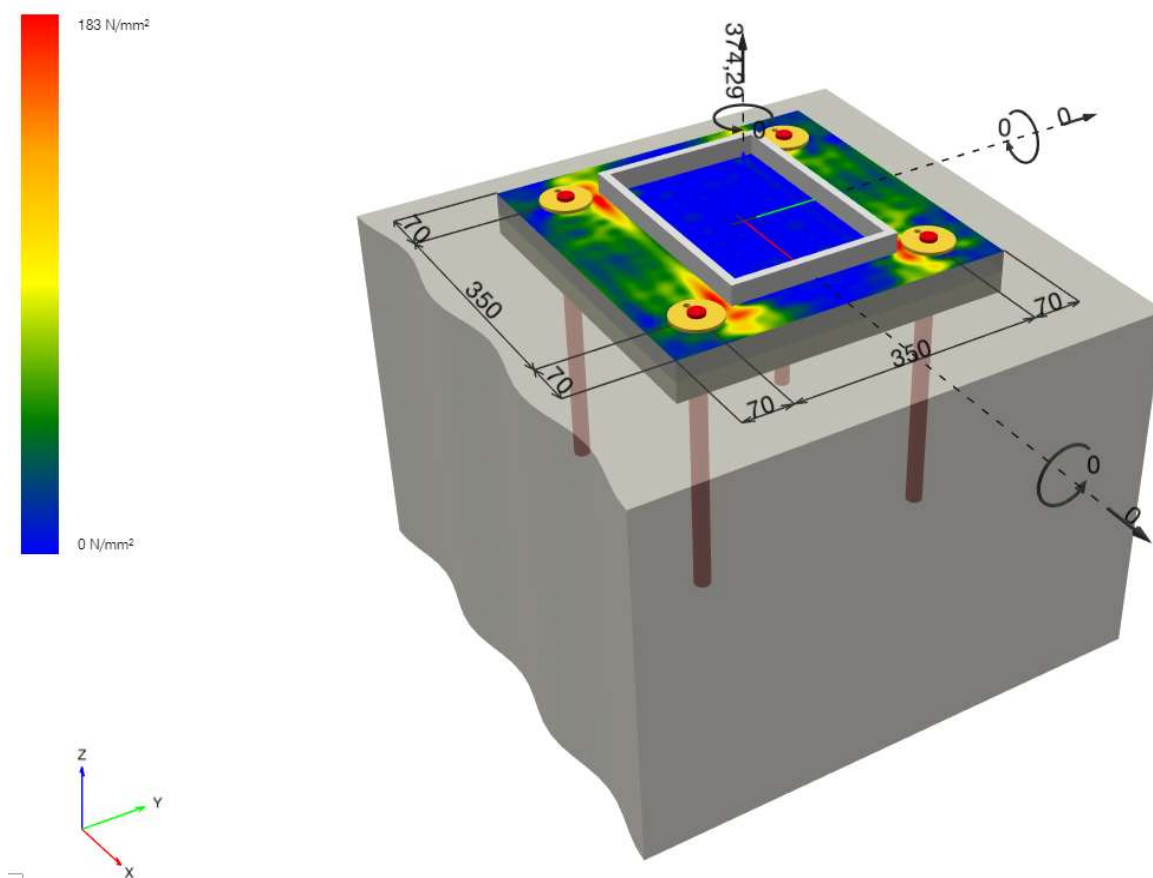
$$h_{min,x} = \frac{P_x}{l_1 \cdot f_{cd}} = \frac{425,73 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 159,6 \text{ mm}$$

$$h_{min,y} = \frac{P_y}{l_1 \cdot f_{cd}} = \frac{1,96 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,7 \text{ mm}$$

$$h = h_{podlití} + h_{min} = 30 + 159,6 = 189,6 \text{ mm} \rightarrow \text{zvolena výška } h = 200 \text{ mm}$$

8.2 Kotvení K2

V tomto kotvení může vzniknout i tahová síla, extrém nastává při KZ 249. Posouzeno v příloze J, použité kotvy HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M24. V těchto místech jsou vždy 3 patky spojeny do základového pasu, který svojí hmotou odolává nadzvednutí betonového základu vlivem tahové síly v kotvení.



Obr. 8.3 schéma rozložení napětí na patní desce

8.3 Kotvení K3

Je totožné s kotvením K1, pouze není použita kotevní zarážka, která není v případě tohoto kotvení potřebná, vodorovné síly zde jsou zanedbatelné a všechny jsou s přehledem přenášeny třením mezi betonem a ocelovým patním plechem. K tahovému namáhání šroubů v tomto kotvení nedochází a jsou použity konstrukčně kotvy HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M16.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] *Mapy* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [2] *DEK* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: www.dek.cz
- [3] *Aluprof* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: www.aluprof.eu
- [4] *Limika* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: www.limika.cz
- [5] *Vše o střeše* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: www.vseostrese.cz
- [6] ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [8] *Kovprof* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: www.kovprof.cz
- [9] ČSN EN 1993-1-10 ed. 2 (731401) *A Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. |n Část 1-10, |p Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou = Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-10, Material toughness and through-thickness properties*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Česká technická norma.
- [10] ČSN EN 1994-1-1. *Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [11] MACHÁČEK, Josef. *Navrhování ocelových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8 ; Navrhování hliníkových konstrukcí : příručka k ČSN EN 1999-1-1*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 180 s. Technická knižnice. ISBN 978-80-87093-86-3.
- [12] ČSN ISO 12 944. *Nátěrové hmoty*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [13] ČSN EN 1993-1-2. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla- Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [14] ČSN EN 1993-1-1. *Navrhování ocelových konstrukcí: Obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [15] ČSN EN 1993-1-8. *Navrhování ocelových konstrukcí: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [16] ČSN EN 1090-2. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Technické požadavky na ocelové konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [17] ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- [18] ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [19] ČSN EN 1991-1-1. *Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení-Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [20] ČSN EN 1993-2. *Navrhování ocelových konstrukcí: Ocelové mosty*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [21] MAREK, Pavel. *Kovové konstrukce pozemních staveb*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [22] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-89-4.
- [23] HAYWARD, Alan, Frank. WEARE a Anthony OAKHILL. *Steel detailers' manual*. 2nd ed. / revised by Anthony Oakhill. Malden, MA: Blackwell Science, 2001. ISBN 0632055723.
- [24] BUJŇÁK, Ján. *Kovové nosné konštrukcie stavieb*. Žilina: Vydala Žilinská univerzita v Žilině, EDIS-vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žilině, 2013. Vysokoškolské učebnice. ISBN 978-80-554-0643-5.
- [25] KARMAZÍNOVÁ, Marcela a Milan PILGR. *Ocelové konstrukce vícepodlažních budov: pomůcka pro cvičení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2570-9.
- [26] BARTLOVÁ, Alice. *Vzpěr prutových soustav*. Praha: SNTL, 1977.
- [27] FERJENČÍK, Pavel. *Navrhovanie ocelových konštrukcií: celoštátna vysokoškolská príručka pre stavebné fakulty vysokých škôl*. Bratislava: Alfa, 1986. Edícia stavebníckej literatúry (Alfa).
- [28] Hilti [online]. 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.hilti.cz/>
- [29] Feron [online]. 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/>

Seznam použitých zkratk a symbolů

Velká písmena

A plná průřezová plocha šroubu

A průřezová plocha

A_s plocha šroubu účinná v tahu

$A_{v,y}$ smyková plocha ve směru osy y

$A_{v,z}$ smyková plocha ve směru osy z

$B_{P,Rd}$ návrhová smyková únosnost při protlačení hlavy nebo matice šroubu C_{dir} součinitel směru

C_e součinitel expozice

C_{mLT} součinitel ekvivalentního konstantního momentu

C_{my} součinitel ekvivalentního konstantního momentu

$C_0(z)$ součinitel orografie

$C_{pe,10}$ součinitel tlaku

$C_r(z)$ součinitel drsnosti

C_{season} součinitel ročního období

$F_{b,Rd}$ návrhová únosnost šroubu v otláčení

F_{Ed} návrhová působící síla

$F_{t,Rd}$ návrhová únosnost šroub v tahu

$F_{V,Ed}$ návrhová smyková síla ve šroubu v mezním stavu únosnosti

$F_{V,Rd}$ návrhová únosnost šroubu ve střihu

E modul pružnosti v tahu, tlaku

G modul pružnosti ve smyku

I_t moment setrvačnosti v kroucení

$I_v(z)$ intenzita turbulence

I_w výsečový moment setrvačnosti

I_y moment setrvačnosti průřezu k ose y

I_z moment setrvačnosti průřezu k ose z

L délka svaru

$L_{cr,T}$ vzpěrná délka při vybočení zkroucením

$L_{cr,y}$ kritická vzpěrná délka kolmo k ose y

$L_{cr,z}$ kritická vzpěrná délka kolmo k ose z

L_{min} minimální délka svaru

$M_{c,Rd}$ vrhová únosnost v ohybu

M_{Ed} návrhový ohybový moment

M_{Rk} charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu

$N_{b,Rd}$ vzpěrná únosnost

N_{cr} kritická síla

$N_{cr,y}$ pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose y

$N_{cr,z}$ pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose z

N_{Ed} návrhová hodnota osové síly

$N_{pl,Rd}$ návrhová únosnost neoslabeného průřezu

N_{Rk} charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osové síly

$N_{t,Rd}$ návrhová únosnost v tahu

$N_{u,Rd}$ návrhová únosnost oslabeného průřezu

$V_{E,d}$ návrhová smyková síla

$V_{pl,Rd}$ plastická smyková únosnost

$W_{el,y}$ elastický modul průřezu k ose z

$W_{el,z}$ elastický průřezový modul k ose z

$W_{pl,y}$ plastický modul průřezu k ose y

$W_{pl,z}$ plastický průřezový modul k ose z

Malá písmena

a účinná výška svaru

b šířka průřezu

d hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru)

d výška rovné části stojiny

d jmenovitý průměr šroubu

d_0 průměr otvoru pro šroub

e excentricita normálové síly

e vzdálenost šroubu od okraje

f_{cd} výpočtová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku

f_{ck} charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku

f_y mez kluzu

f_u mez pevnosti

f_{ub} mez pevnosti materiálu šroubu h výška průřezu

h výška konstrukce

i_0 polární poloměr setrvačnosti

i_y poloměr setrvačnosti k ose y

i_z poloměr setrvačnosti k ose z

k_r součinitel terénu

k_w součinitel vzpěrné délky

k_{yy} součinitel interakce

k_{yz} součinitel interakce

k_z součinitel vzpěrné délky

k_{zy} součinitel interakce

k_{zz} součinitel interakce

k_τ součinitel napětí

l_{eff} efektivní délka

n počet stříhových rovin

$q_p(z)$ maximální hodnota dynamického tlaku větru

s charakteristická hodnota zatížení sněhem (rovnoměrné spojitě zatížení)

s_k základní tíha sněhu

t tloušťka

w průhyb

w_{lim} limitní hodnota průhybu

$v_{b,0}$ výchozí hodnota základní rychlosti větru

v_m střední rychlost větru

w tlak větru (rovnoměrné spojitě zatížení)

z_0 parametr drsnosti terénu

$z_{0,II}$ parametr drsnosti terénu

z výška nad zemí

z_{min} minimální výška

Velká řecká písmena

Φ hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti

Φ_{LT} hodnota pro výpočet součinitele klopení

Malá řecká písmena

α součinitel

α_I součinitel imperfekce

α_{LT} součinitel imperfekce pro klopení

β součinitel vzpěrné délky

β_W korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli

γ_{M0} dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

γ_{M1} dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

γ_{M2} dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje

ε součinitel závislejší na f_y

λ štíhlost

λ_y štíhlost k ose y

λ_z štíhlost k ose z

λ_T poměrná štíhlost při klopení

λ poměrná štíhlost při vybočení zkroucením

λ_w poměrná štíhlost stěny

λ_y poměrná štíhlost k ose y

λ_z poměrná štíhlost k ose z

μ_{cr} bezrozměrný kritický moment

μ_i tvarový součinitel zatížení sněhem

π Ludolfovo číslo

ρ měrná hmotnost vzduchu

τ smykové napětí

χ_{LT} součinitel klopení

χ_T součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru

χ_y součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y

χ_z součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z

Seznam příloh:

Příloha A – posouzení stropnic

Příloha B – posouzení průvlaků

Příloha C – posouzení schodišťových průvlaků

Příloha D – posouzení sloupů

Příloha E – posouzení schodišťové stropnice a schodišťových průvlaků

Příloha F – posouzení sloupů

Příloha G – posouzení sloupů

Příloha H – vnitřní síly na prutech pro jednotlivé kombinace

Příloha I – kombinace zatížení

Příloha J – kotvení sloupu