

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
NÁVRH OCELOVÉ SKLADOVACÍ HALY
S VYUŽITÍM PLÁŠŤOVÉHO CHOVÁNÍ
- technická zpráva**

Bc. Kristýna Matějová

2017

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

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na statický návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce skladovací haly s administrativní částí za běžné teploty. V práci je uvažován částečný přenos vodorovného zatížení pomocí plášťového chování.

Výpočet je proveden podle evropských norem zavedených do systému českých norem ČSN EN.

Abstract

The master thesis is focused on design of steel load bearing structure of a storage shed with an administrative part at ambient temperature. In this thesis, there is considered transfer of horizontal loads through the stressed skin action when possible.

The calculation is performed according to the European standards introduced into the Czech standards system ČSN EN.

Klíčová slova: skladovací hala, administrativní budova, ocelová nosná konstrukce, plášťové chování, rámová konstrukce, spřažená ocelobetonová stropní konstrukce.

Key words: storage shed, administrative building, steel load bearing structure, stressed skin action, portal frame, composite steel and concrete floor.

Poděkování

Chtěla bych touto cestou poděkovat Ing. Michalu Janderovi, Ph.D., jakožto vedoucímu mé diplomové práce, za věnovaný čas, odborné vedení a podnětné rady, jimiž přispěl k jejímu vypracování.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Michala Jandery, Ph.D., konzultantky části KPS doc. Ing. Šárky Šilarové, CSc. a s výhradním použitím zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Praze dne

.....

Bc. Kristýna Matějová



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Matějová</u>	Jméno: <u>Kristýna</u>	Osobní číslo: <u>396530</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra ocelových konstrukcí, K134</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Návrh ocelové skladovací haly s využitím plášťového chování</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Design of a storage shed considering the stressed skin action</u>	
Pokyny pro vypracování: Návrh ocelové konstrukce, vybraných detailů. Návrh konstrukce bude s uvážením možného působení pláště pro přenos vodorovných sil. Výkresová dokumentace (dizpoziční výkresy, detaily). Technická zpráva.	
Seznam doporučené literatury: Návrh konstrukce bude proveden podle platných evropských norem, zejména EN 1991, EN 1993. ECCS TC 7 - European Recommendation for Application of Metal Sheeting Acting as Diaphragm, 1995. Jan Rybín, Plášťové působení tenkostěnných kazet, Disertační práce, 2001.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Michal Jandera</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>3.10.2016</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>8.1.2017</u>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>3.10.2016</u>	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: KRISTÝNA MATĚJJOVÁ

Název diplomové práce: NAVRH OCELOVÉ SKLADOVACÍ HALY
S VYUŽITÍM PĚŠTOVÉHO CHOVÁNÍ

Základní část: OCELOVÉ KONSTRUKCE podíl: 90 %

Formulace úkolů: VIZ ZADÁNÍ

Podpis vedoucího DP: Datum: 3.10. 2016

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

2. Část: KPS podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): JÁRKA TILAROVÁ

Formulace úkolů: NAVRH SKLADBY STŘECHY A VĚTÍHO ODVODNĚNÍ
VČETNĚ POKOUZENÍ, NAVRHY STABILIZACE

Podpis konzultanta: Datum: 3.11. 2016

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

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

Technická zpráva – obsah

1 Základní údaje o stavbě.....	1
2 Nosné konstrukce.....	1
3 Údaje o zatížení.....	2
4 Použité materiály	3
5 Použité normy	3
6 Výroba ocelové konstrukce	3
7 Montáž ocelové konstrukce	3
8 Ochrana proti korozi	4
9 Ochrana proti požáru	4
Seznam použité literatury	5

1 Základní údaje o stavbě

Diplomová práce je zaměřena na návrh nosných prvků skladovací haly, jež má zároveň zázemí pro pracovníky v podobě části pro administrativu. Objekt se nachází ve městě Plzeň. Skladovací hala má jedno nadzemní podlaží, administrativa dvě. Celková výška objektu je 8,55 m.

Půdorysné rozměry základní nosné ocelové konstrukce jsou 12 x 42 m (z toho administrativa 12 x 12 m), včetně všech obalových konstrukcí pak 12,53 x 42,59 m.

Příčky uvnitř administrativní části i mezi administrativní a skladovací částí jsou sádrovláknité od výrobce Rigips (celková tloušťka 150 mm).

Opláštění budovy je provedeno ze souvrství tenkostěnná kazeta ROCKPROFIL 160/600/1,00 typ B - tepelná izolace ROCKWOOL AIRROCK ND, tl. 195 mm - trapézový plech TR35/207/0,88. Fasáda v místě administrativy je částečně prosklená.

Objekt je založen na betonových patkách.

Skladba podlah v administrativní části:

- DEKFLOOR 35 (celková tloušťka 98 mm)
 - dlažba RAKO, tl. 10 mm;
 - lepicí tmel, tl. 6 mm;
 - ochranná hydroizolační hmota, tl. 2 mm;
 - penetrace;
 - roznášecí betonová mazanina, tl. 50 mm;
 - DEKSEPAR, tl. 0,2 mm;
 - RIGIFLOOR 4000, tl. 30 mm.

Podlaha ve skladovací části je řešena jako betonová.

Skladba střechy:

- DEKPLAN 76, tl. 1,5 mm;
- ISOVER S, tl. 80 mm;
- ISOVER T, tl. 170 mm;
- GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL, tl. 4 mm;
- trapézový plech 160/260/0,75.

2 Nosné konstrukce

Skladovací část je tvořena rámy. Sloupy jsou provedeny z profilu HEA 450 a k patce jsou připojeny kloubově prostřednictvím patních plechů a lepených kotevních šroubů. Příčel je z profilu IPE 500.

Štítová vazba skladovací části je provedena s kloubovými vazbami a ztužena je obvodovým pláštěm z tenkostěnných kazet (stejně jako rámové konstrukce v podélném směru). Krajiní sloupy štítové vazby jsou profilu HEA 180 a střední sloup je profilu HEA 220. Do sloupů je zatížení přenášeno z vazníků, které jsou průřezu IPE 160.

Administrativní část je konstrukčně řešena jako ocelový skeletový konstrukční systém. Sloupy mají průřez HEA 140, HEA 160, případně HEA 180. K patkám jsou stejně jako sloupy rámu připojeny kloubově prostřednictvím patních plechů a lepených kotevních šroubů.

Sloupy přenáší zatížení z vazníků, průvlaků, stropnic a ztužidel.

Průvlaky jsou orientovány v příčném směru, přičemž vnitřní mají průřez IPE 270 a krajní IPE 220. V podélném směru jsou orientovány stropnice, jejichž průřez je na krajích IPE 160 a ve vnitřní části IPE 220.

Stropní deska funguje jako ocelobetonová spřažená konstrukce a je tvořena trapézovým plechem Hacierco 55/250/1,25 mm, na němž je vylita vrstva betonu tloušťky 70 mm. Beton je pevnostní třídy C30/37.

Ve štítové vazbě má vazník průřez IPE 160, v dalších vazbách IPE 200.

Nosná část střešního pláště je tvořena trapézovým plechem T 160/260/0,75.

Prostorová tuhost administrativní části objektu je zajištěna ztužidly z kruhových trubek, která jsou řešena ve tvaru písmene "X" a jsou tvořena profily TR 89x3,6, případně TR 102x3,6.

Střešní ztužidla ve tvaru písmene "X" jsou všechna průřezu TR 102x3,6. Přímé trubky profilu TR 76x3,2 jsou umístěny na krajích a ve středu objektu. Slouží částečně k přenosu vodorovných sil a dále brání klopení u příčlích rámu tam, kde střešní "X" ztužidla nejsou potřeba.

3 Údaje o zatížení

Výpočet zatížení byl proveden na základě norem ČSN EN 1991-1.

Stálé zatížení

Vlastní tíha dílčích stavebních konstrukcí byla stanovena jako součin objemové hmotnosti a rozměru prvku v souladu s normou ČSN EN 1991-1-1 nebo na základě podkladů od jednotlivých výrobců.

Proměnná zatížení

Ve skladovací části nebylo určeno užité zatížení (vyztužení podlahy nebylo předmětem této diplomové práce), v administrativní části bylo užité zatížení stanoveno na 2,5 kN/m² (pro kancelářské plochy podle normy ČSN EN 1991-1-1), na střeše pak 0,75 kN/m² (nepochozí střecha).

Hala je situována v místě I. sněhové oblasti. Podle ČSN EN 1991-1-3 byla tedy charakteristická hodnota zatížení sněhem stanovena na $s_k = 0,7$ kN/m².

Zatížení větrem bylo stanoveno podle ČSN EN 1991-1-4 pro II. větrnou oblast a kategorii terénu III (oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami).

Zatížení přemístitelnými příčkami bylo podle normy ČSN EN 1991-1-1 uvažováno jako 0,8 kN/m² pro příčky s vlastní tíhou $\leq 2,0$ kN/m.

4 Použité materiály

Konstrukční ocelové prvky (stropnice, průvlaky, sloupy, ztužidla, příčle i sloupy rámu) jsou uvažovány z oceli S355JR+AR.

Trapézové plechy, které jsou součástí stropní a střešní konstrukce, jsou z oceli S320GD a spřahovací trny z oceli S235JR.

Šrouby jsou použity jakosti 8.8.

Beton použitý na stropní konstrukce byl uvažován třídy C30/37 - XC1 - Cl 0,2 - D_{max} 16 mm - S4 a beton pro základy třídy C20/25 - XC1 - Cl 0,2 - D_{max} 16 mm - S4.

5 Použité normy

Návrh zatížení byl proveden podle norem ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-1-3 a ČSN EN 1991-1-4.

Návrh a posouzení ocelových konstrukcí byl pak proveden podle normy ČSN EN 1993-1-1.

Návrh betonových základů se řídil normou ČSN EN 1992-1-1.

Odvodnění střechy bylo zpracováno na základě normy ČSN EN 12056-3 a ČSN 73 3610.

6 Výroba ocelové konstrukce

Třída následků objektu je definována jako CC2 (střední následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro životní prostředí). Kategorie použitelnosti je SC1 (konstrukce a komponenty navržené pro kvazistatické zatížení).

Z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o výrobní skupinu EXC2.

Všechny ocelové prvky budou vyrobeny v mostárně dle projektové dokumentace.

7 Montáž ocelové konstrukce

Montáž ocelové konstrukce bude prováděna podle všech platných norem.

Ocelové sloupy budou namontovány na vybetonované základové patky přes styčnickový plech pomocí lepených kotevních šroubů.

Stropnice a průvlaky jsou ke sloupům připojeny přes přivařený styčnickový plech pomocí ocelových šroubů. V případě potřeby bude ke styčnickovému plechu přiložena plechová vložka profilu P5, která vyplní mezeru ponechanou pro možnou manipulaci a nasazení prvku. Horní hrany pásnic stropních nosníků jsou zarovnány do jedné roviny. Během montáže budou podepřeny krajní stropnice a všechny průvlaky.

Na stropnice a průvlaky bude následně umístěn trapézový plech, na který bude vybetonována deska tloušťky 70 mm (od horní hrany TP). Ocelobetonová deska je spřažená s nosníky za pomoci navařených trnů.

Vazníky jsou připojeny na sloupy přes přivařený styčnickový plech za použití ocelových šroubů.

Příčle ráků jsou ve vrcholu spojeny pomocí styčníkových plechů a šroubů, rámové rohy jsou uskutečněny přišroubováním styčníkového plechu přivařeného k příčli rámu k pásnici sloupu. Stěna sloupu je ztužena celkem čtyřmi přivařenými příčnými výztuhami.

Trubková ztužidla v navržených částech objektu budou přenášet vodorovné účinky zatížení a ke stropnicím nebo průvlakům budou připevněny pomocí styčníkových plechů a šroubů.

Obvodový plášť bude připevněn na ocelové profily sloupů dle podkladů výrobce a bude přenášet vodorovné účinky zatížení mezi jednotlivými rámy skladovací části.

Během montáže je nutné zajistit stabilitu ráků v podélném směru, dokud nebude připevněn obvodový plášť, jenž bude posléze přenášet účinky vodorovných sil.

8 Ochrana proti korozi

Veškeré ocelové konstrukce budou zabudovány v interiéru administrativní budovy a skladu, kde se nepředpokládá výrazně vlhké ani agresivní prostředí. U většiny prvků je stupeň korozní aktivity uvažován jako C2 (nízká – dochází k občasné kondenzaci).

Povrch prvků se nejprve zbaví okují, rzi, zbytků nátěrů či cizích látek za pomoci otryskávání (Sa 2 – důkladné otryskání).

Nátěr má předpokládanou vysokou životnost (H – více než 15 let) a je zvolen na základě normy ČSN ISO 12944 jako A2.02. Požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru je 160 μm .

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

9 Ochrana proti požáru

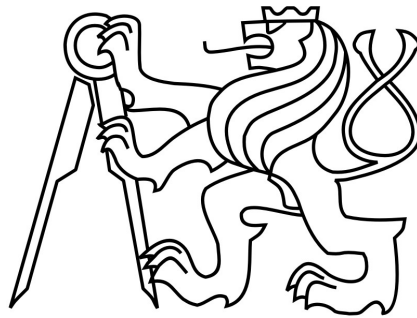
Požární návrh nebyl předmětem této diplomové práce. Pro určení vhodných opatření by bylo nutné provést podrobnější výpočet.

Seznam použité literatury

- [1] Kolektiv autorů. European Recommendations for the Application of Metal Sheeting acting as a Diaphragm – Stressed Skin Desing; European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), 1995.
- [2] Ing. Jan Rybín. Plášťové působení tenkostěnných kazet (disertační práce); České vysoké učení technické v Praze – fakulta stavební, 2001.
- [3] Doc. Ing. Vraný T., CSc.; Ing. Jandera M., Ph.D.; Ing. Eliášová M., CSc. Ocelové konstrukce 2 – Cvičení; České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [4] Ing. Sokol Z., Ph.D.; Prof. Ing. Wald F., CSc; Ocelové konstrukce – Tabulky; České vysoké učení technické v Praze, 2012.
- [5] Prof. Ing. Studnička J., DrSc.; Prof. Ing. Holický M., DrSc.; Doc. Ing. Marková J., Ph.D.; Ocelové konstrukce 2 – Zatížení; České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [6] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI, 2004.
- [7] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: ČNI, 2013.
- [8] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha: ČNI, 2007.
- [9] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.
- [10] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.
- [11] ČSN EN 12056-3. Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – Část 3: Odvádění dešťových vod ze střech – Navrhování a výpočet. Praha: ČNI, 2001.
- [12] ČSN 73 3610. Navrhování klempířských konstrukcí. Praha: ČNI, 2008.

Podklady od výrobců podle příloh.

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
NÁVRH OCELOVÉ SKLADOVACÍ HALY
S VYUŽITÍM PLÁŠŤOVÉHO CHOVÁNÍ
- statický výpočet**

Bc. Kristýna Matějová

2017

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

Obsah

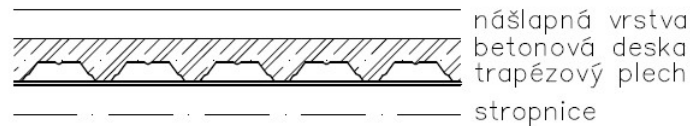
1 Konstrukční systémy	1
1.1 Vaznicový systém	1
1.2 Bezvaznicový systém	2
2 Zatížení	3
2.1 Svislé zatížení	3
2.1.1 Stropní konstrukce	3
2.1.2 Střecha	4
2.1.3 Obvodový plášť	6
2.2 Vodorovné zatížení větrem	6
2.2.1 Podélný vítr	7
2.2.2 Příčný vítr	10
3 Kombinace zatížení	12
4 Konstrukce stropů	13
4.1 Trapézový plech	13
4.2 Stropnice	16
4.2.1 Vnitřní stropnice	16
4.2.2 Krajiní stropnice	21
4.3 Průvlaky	26
4.3.1 Vnitřní průvlak	26
4.3.2 Krajiní průvlak	29
5 Trapézový plech na střeše	33
5.1 Vaznicový systém	33
5.2 Bezvaznicový systém	33
5.3 Posouzení vhodnosti variant	34
6 Rám	35
6.1 Posouzení – sloup	36
6.2 Posouzení – příčel	40
7 Plášťové chování – střecha	43
7.1 Návrhová smyková únosnost	44
7.1.1 Únosnost plechu	44
7.1.2 Boulení	44
7.2 Smykové deformace	45
7.2.1 Poddajnost trapézového plechu	45

7.2.2 Poddajnost rámu	45
7.2.3 Celková deformace	45
7.3 Návrhová smyková únosnost – nový plech.....	46
7.3.1 Únosnost plechu.....	46
7.3.2 Boulení.....	47
7.4 Smykové deformace – nový plech	47
7.4.1 Poddajnost trapézového plechu.....	47
7.4.2 Poddajnost rámu	47
7.4.3 Celková deformace.....	47
8 Varianta s vaznicemi.....	48
8.1 Rám	48
8.2 Plášťové chování – střecha	49
8.2.1 Návrhová smyková únosnost.....	49
8.2.2 Smykové deformace	50
8.2.2.2 Poddajnost rámu	50
9 Použití kazet místo stěnových ztužidel	51
9.1 Podélný směr	51
9.1.1 Mezní stav únosnosti.....	52
9.1.2 Mezní stav použitelnosti (průhyb).....	52
9.2 Příčný směr	52
9.2.1 Mezní stav únosnosti.....	53
9.2.2 Mezní stav použitelnosti (průhyb).....	53
10 Administrativní část	54
10.1 Vazníky.....	54
10.1.1 Krajní vazník.....	54
10.1.2 Střední vazníky.....	57
10.2 Ztužidla.....	60
10.3 Sloupy	64
10.3.1 Sloup C2.....	64
10.3.2 Sloup B2.....	69
10.3.3 Sloup C1.....	71
10.3.4 Sloup C3.....	73
10.3.4 Ostatní sloupy.....	75

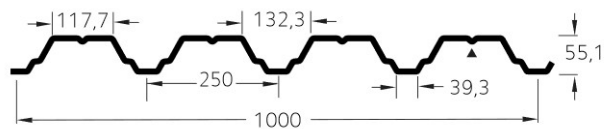
11 Štítová stěna skladovací části.....	77
11.1 Vazníky.....	77
11.2 Ztužidla.....	78
11.3.1 Střední sloup.....	80
11.3.2 Krajní sloup.....	85
12 Přípoje.....	89
12.1 Přípoj stropnice k průvlaku.....	89
12.1.1 Přípoj ke středovému průvlaku (detail D1).....	89
12.1.2 Přípoj ke krajnímu průvlaku (detail D2).....	90
12.2 Přípoj stropnice a průvlaku ke sloupu (detail D3).....	91
12.2.1 Přípoj stropnice ke sloupu.....	92
12.2.2 Přípoj průvlaku ke sloupu.....	93
12.2.3 Přípoj podélných ztužidel.....	94
12.2.4 Přípoj příčných ztužidel.....	96
12.3 Rámový roh (detail D4).....	98
12.3.1 Návrh svarů.....	98
12.3.2 Určení rozměrů dílčích komponent.....	99
12.3.3 Únosnost řad šroubů v tahu.....	99
12.3.4 Únosnost základních komponent.....	101
12.3.5 Připojení trubky.....	102
12.3.6 Ověření únosnosti oslabené stěny sloupu ve smyku.....	103
12.4 Přípoj ve vrcholu rámu (detail D5).....	104
12.4.1 Návrh svarů.....	104
12.4.2 Únosnost řad šroubů v tahu.....	104
12.3.4 Únosnost základních komponent.....	107
12.4.5 Připojení trubky.....	107
12.6 Kloubová patka bez ztužidla (detail D6).....	108
12.7 Kloubová patka se ztužidlem (detail D7).....	112
12.7.1 Návrh a posouzení patky.....	112
12.7.1 Návrh a posouzení přípoje příčného ztužidla.....	115
12.7.2 Návrh a posouzení přípoje podélného ztužidla.....	116

1 Konstrukční systémy

- požadavky: administrativní část se dvěma nadzemními podlažími, skladovací hala, přístřešek pro zásobování
- konstrukce: ocelová



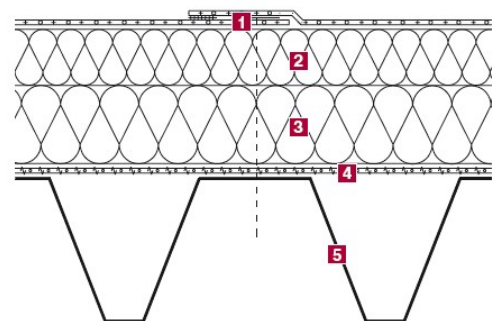
Obr. 1.1: Řez konstrukcí stropu nad administrativní částí



Obr. 1.2: Rozměry trapézového plechu Hacierco 55/250

- srovnaná tloušťka betonové desky: $t_{sr} = t_c + h_r \cdot \frac{a+b}{c} = 70 + 55 \cdot \frac{39,3 + 46,5}{250} = 88,9 \text{ mm}$

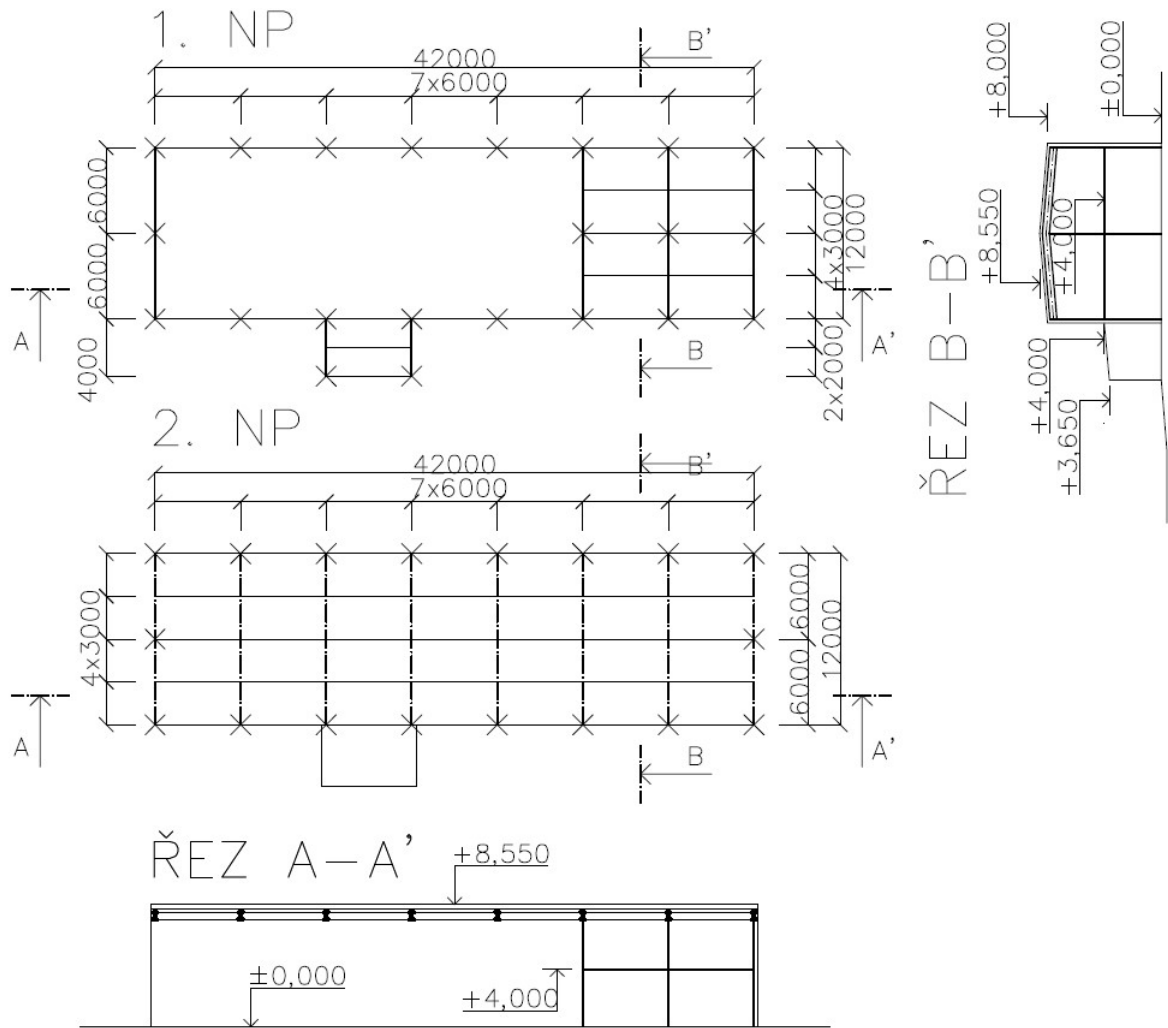
č. v.	vrstva	tloušťka [mm]	popis
1	DEKPLAN 76	1,5	hydroizolační fólie z PVC-P určená k mechanickému kotvení
2	ISOVER S	80	tepelněizolační desky z minerální vlny
3	ISOVER T	170	tepelněizolační desky z minerální vlny
4	GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL	4	parotěsná zábrana
5	trapézový plech 160/260	0,88	nosný trapézový plech



Obr. 1.3: Řez střešním pláštěm

1.1 Vaznicový systém

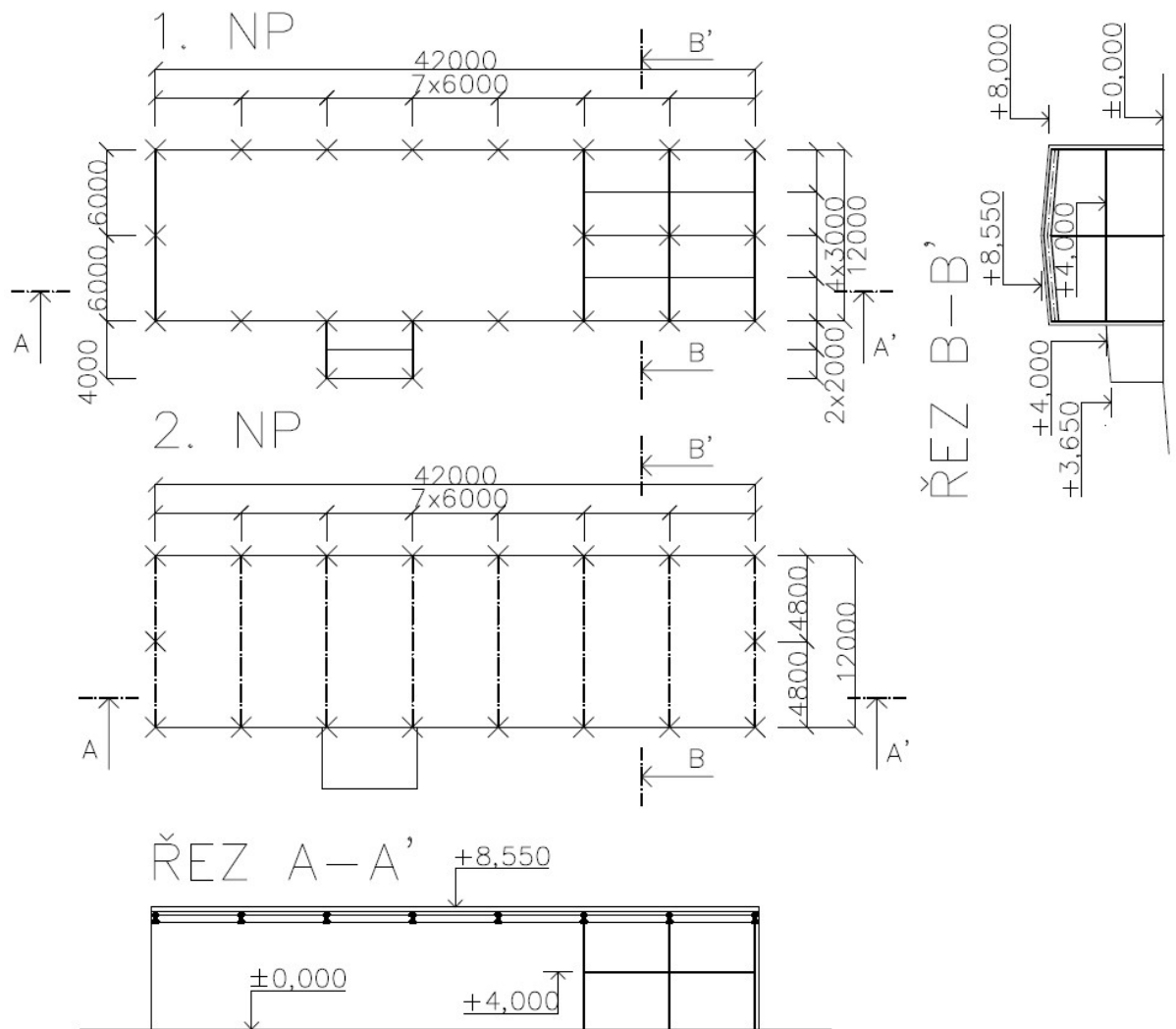
- sloupy
- nad administrativní částí průvlaky + stropnice
- vazníky
- vaznice
- trapézový plech na rozpětí 3 m (2 pole)



Obr. 1.4: Schéma vaznicového systému

1.2 Bezvaznicový systém

- sloupy
- nad administrativní částí průvlaky + stropnice
- vazníky
- trapézový plech na rozpětí 6 m (1 pole)



Obr. 1.5: Schéma bezvaznicového systému

2 Zatížení

2.1 Svislé zatížení

2.1.1 Stropní konstrukce

- provozní zatížení:

ZATÍŽENÍ OD SKLADBY PODLAHY	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
dlažba RAKO, tl. 10 mm - 23/100	0,230	1,35	0,311
lepící tmel, tl. 6 mm - 1300 · 0,006/100	0,078	1,35	0,105
ochr. hydroizolační hmota, tl. 2 mm - 1400 · 0,002/100	0,028	1,35	0,038
penetrace	-	-	-
roznášecí betonová mazanina, tl. 50 mm - 2300 · 0,05/100	1,150	1,35	1,553
DEKSEPAR, tl. 0,2 mm - 0,2/100	0,002	1,35	0,003
RIGIFLOOR 4000, tl. 30 mm - 0,15 · 0,03	0,005	1,35	0,006
CELKEM	1,493		2,015

STÁLÉ ZATÍŽENÍ	g_k [kN/m²]	γ_G	g_d [kN/m²]
skladby podlahy	1,493	1,35	2,015
betonová deska - 25 · 0,0889	2,223	1,35	3,000
trapézový plech (odhad)	0,120	1,35	0,162
podhled KNAUF - 1,5 · 10/100	0,150	1,35	0,203
CELKEM	3,985		5,380

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	q_k [kN/m²]	γ_Q	q_d [kN/m²]
užitné (B - kancelářské plochy)	2,500	1,5	3,750
přemístitelné příčky (vl. tíha ≤ 2,0 kN/m)	0,800	1,5	1,200
CELKEM	3,300		4,950

- montážní zatížení:

STÁLÉ ZATÍŽENÍ	g_k [kN/m²]	γ_G	g_d [kN/m²]
betonová deska - 26 · 0,0889	2,311	1,35	3,120
trapézový plech (odhad)	0,120	1,35	0,162
CELKEM	2,431		3,282

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	q_k [kN/m²]	γ_Q	q_d [kN/m²]
rovnoměrné	0,750	1,5	1,125
zvětšené (na čtverci 3x3 m v nejnepříznivější poloze)	1,500	1,5	2,250

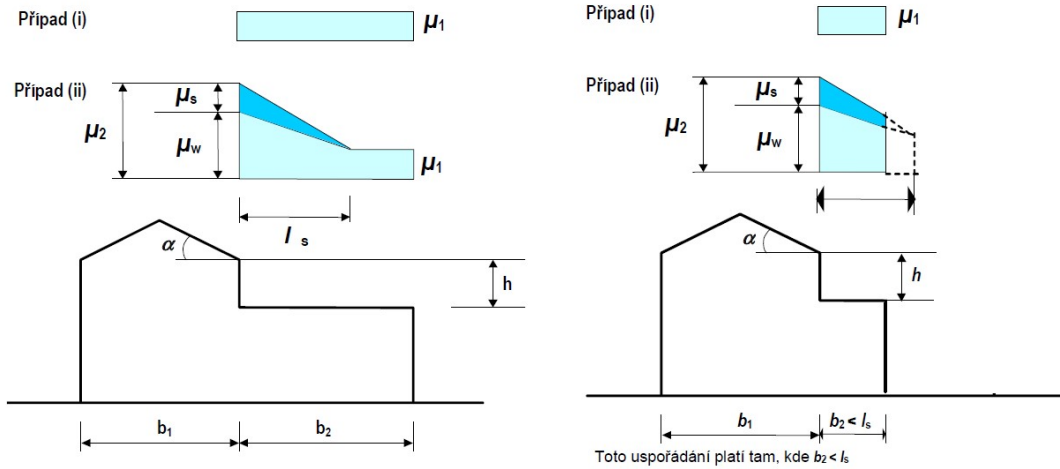
2.1.2 Střecha

ZATÍŽENÍ OD SKLADBY STŘECHY	g_k [kN/m²]	γ_G	g_d [kN/m²]
DEKLPLAN 76, tl. 1,5 mm - 1,85/100	0,019	1,35	0,025
ISOVER S, tl. 80 mm - 0,08 · 175/100	0,140	1,35	0,189
ISOVER T, tl. 170 mm - 0,17 · 160/100	0,272	1,35	0,367
GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL, tl. 4 mm - 4 · 1200/100	0,048	1,35	0,065
trapézový plech	???	1,35	???
CELKEM	0,479		0,646

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	q_k [kN/m²]	γ_Q	q_d [kN/m²]
užitné (nepochozí střecha)	0,750	1,5	1,125
sníh, vítr (dále)	-	-	-

Zatížení sněhem

- charakteristické zatížení sněhem: $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ (Plzeň – I. sněhová oblast)



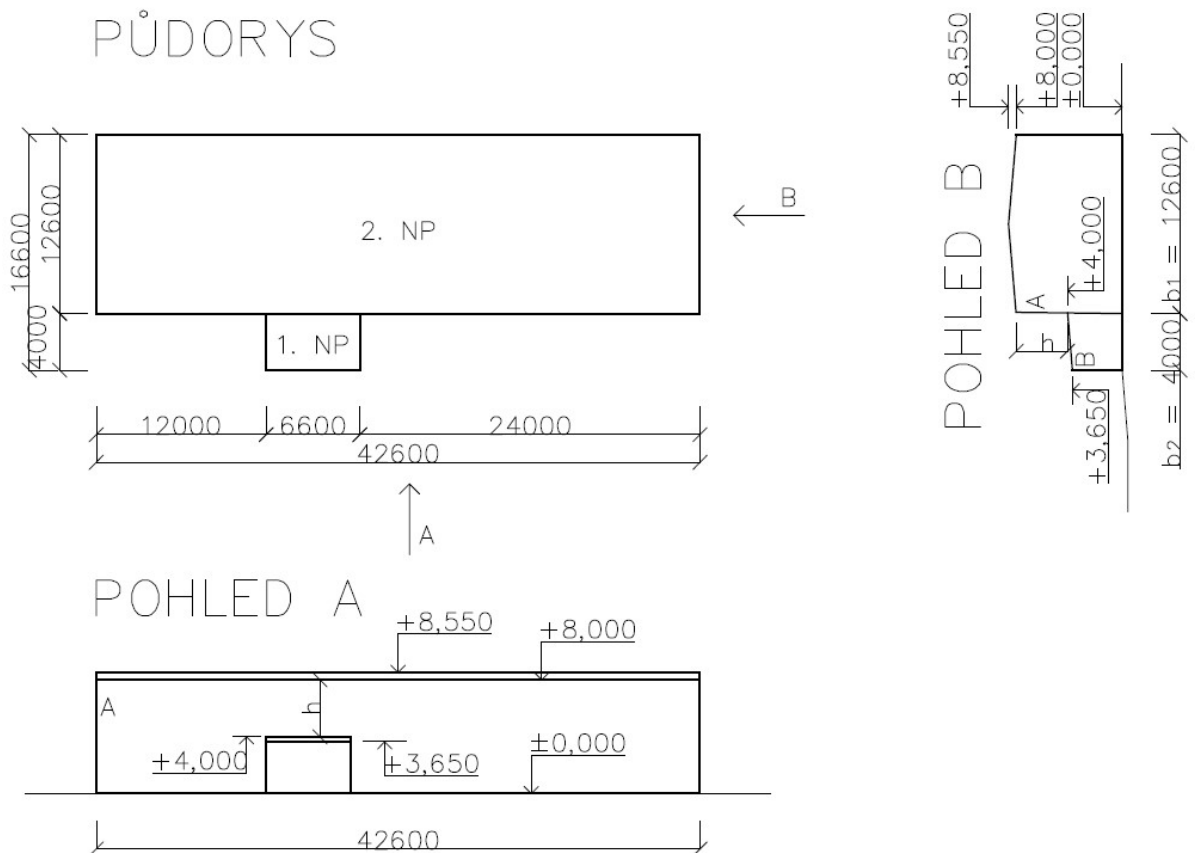
Obr. 2.1: Tvarové součinitele zatížení sněhem pro střechy přiléhající k vyšším stavbám

- tvarové součinitele pro střechy přiléhající k vyšším stavbám: $\mu_1 = 0,8$ (plochá střecha)

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

μ_s ... tvarový součinitel zohledňující sesuv sněhu z horní střechy ($\alpha \leq 30^\circ$; $\mu_s = 0$)

μ_w ... tvarový součinitel zohledňující působení větru



Obr. 2.2: Schéma stavby pro výpočet zatížení sněhem

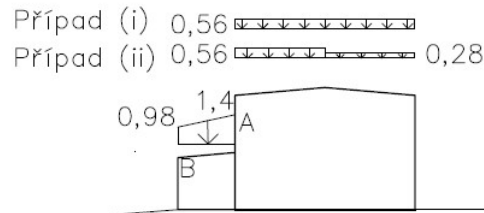
- $\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma \cdot h/s_k$

γ ... objemová tíha sněhu ($\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$)

doporučená hodnota: $0,8 \leq \mu_w \leq 2,0$ (pro I. sněhovou oblast)

- délka návěje: $l_s = 2h = 2 \cdot 4 = 8 \text{ m}$

POHLED B [kN/m²]



Obr. 2.3: Zatížení sněhem – Pohled B [kN/m²]

A) sedlová střecha: $s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = \mathbf{0,56 \text{ kN/m}^2}$

B)

- tvarový součinitel u přilehlé stavby:

$$\mu_2 = \mu_w = (b_1 + b_{2c})/2h = (12,6 + 4)/(2 \cdot 4) = \mathbf{2,08} \leq \gamma \cdot h/s_k = 2 \cdot 4/0,7 = 11,43$$

- použije se doporučená hodnota $\mu_2 = 2,0$

- zatížení sněhem u přilehlé stavby: $s = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = \mathbf{1,4 \text{ kN/m}^2}$

- tvarový součinitel u hrany: $\mu_2 = \frac{2 - 0,8}{8} \cdot (8 - 4) + 0,8 = \mathbf{1,4}$

- zatížení sněhem u hrany: $s = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = \mathbf{0,98 \text{ kN/m}^2}$

2.1.3 Obvodový plášť

- vnitřní strana: kazety ROCKPROFIL 160/600/1,00 typ B (měrná hmotnost: 14 kg/m²)

- tepelná izolace ROCKWOOL AIRROCK ND, tl. 195 mm (měrná hmotnost: 9,75 kg/m²)

- vnější strana: trapézový plech TR35/207/0,88 (měrná hmotnost: 8,4 kg/m²)

$$g_{k,p} = 14 + 9,75 + 8,4 \text{ kg/m}^2 = 32,15 \text{ kg/m}^2 = 0,323 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,p} = 0,3215 \cdot 1,35 = 0,43 \text{ kN/m}^2$$

- izolační dvojsklo (Thermobel Stopray s tl. jedné vrstvy 8 mm): $\rho_{\text{sklo}} = 2500 \text{ kg/m}^3$

$$g_{k,s} = 2500 \cdot 0,008 \cdot 2/100 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,s} = 0,4 \cdot 1,35 = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

2.2 Vodorovné zatížení větrem

- základní rychlost větru: $v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$

c_{dir} ... součinitel směru větru (pro ČR $c_{\text{dir}} = 1,0$)

c_{season} ... součinitel ročního období (pro ČR $c_{\text{season}} = 1,0$)

$v_{b,0}$... výchozí základní rychlost větru (Plzeň: větrná oblast II $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$)

- základní dynamický tlak větru: $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ Pa}$

ρ ... měrná hmotnost vzduchu ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

- maximální dynamický tlak ve výšce z: $q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$
 $c_e(z)$... součinitel expozice

- maximální dynamický tlak v úrovni střechy

$$q_p(h) = c_e(h) \cdot q_b = 1,679 \cdot 390,625 \cdot 10^{-3} = 0,656 \text{ kPa}$$

$$c_e(8,550) = 1,679 \text{ (pro kategorii terénu III, součinitel orografie } c_0(z) = 1,0 \text{ a součinitel turbulence } k_1 = 1,0)$$

- maximální dynamický tlak v úrovni přístřešku

$$q_p(h) = c_e(h) \cdot q_b = 1,336 \cdot 390,625 \cdot 10^{-3} = 0,522 \text{ kPa}$$

$$c_e(4,000) = 1,336 \text{ (pro kategorii terénu III, součinitel orografie } c_0(z) = 1,0 \text{ a součinitel turbulence } k_1 = 1,0)$$

- tlak větru na povrchy: $w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$

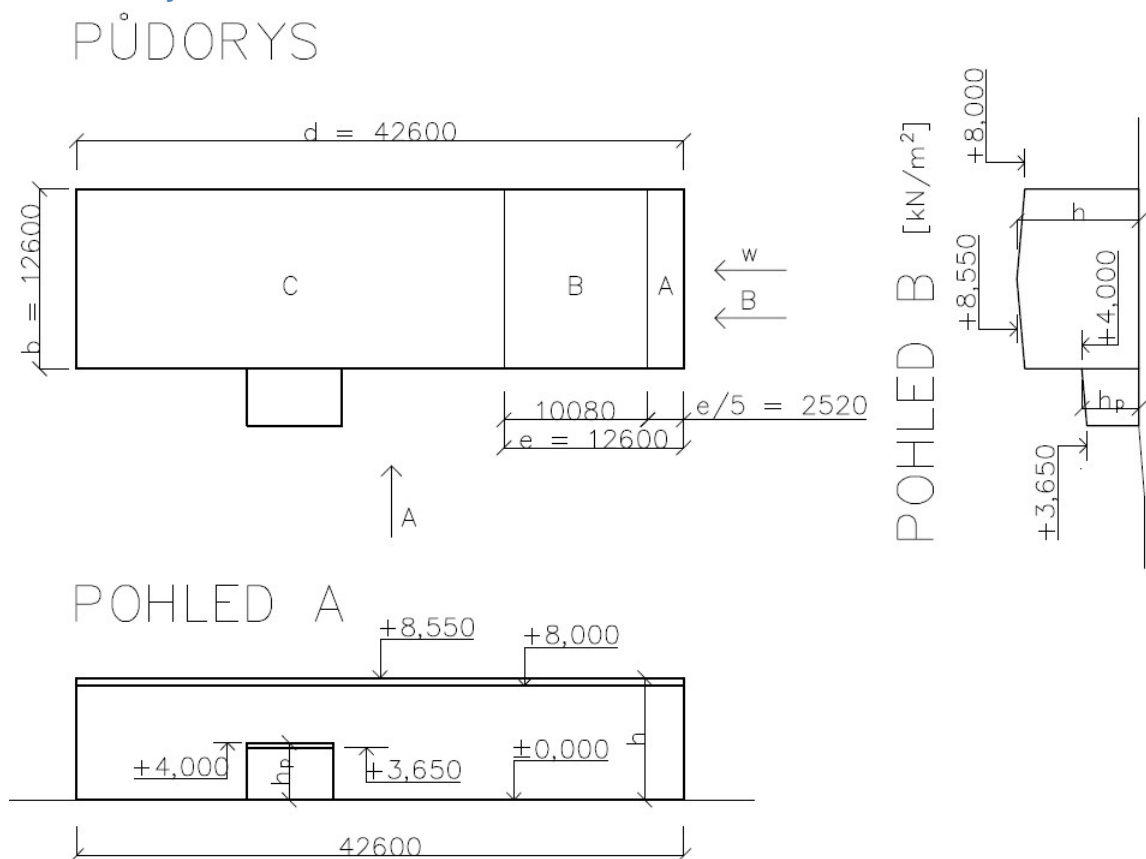
$q_p(z)$... maximální dynamický tlak

z_e ... referenční výška

c_{pe} ... součinitel vnějšího tlaku

2.2.1 Podélný vítr

2.2.1.1 Na stěny



Obr. 2.4: Schéma stavby pro výpočet zatížení podélným větrem

- šířka budovy: $b = 12,6 \text{ m}$
- délka budovy: $d = 42,6 \text{ m}$
- výška budovy: $h = 8,55 \text{ m}$
- $h \leq b = 8,55 \text{ m} < 12,6 \text{ m}$ (po výšce jedna hodnota)
- $e = \min(b; 2h) = \min(12,6; 2 \cdot 8,55) = 12,6 \text{ m}$ (oblasti A, B, C)
- $e/5 = 12,6/5 = 2,52 \text{ m}$
- $h/d = 8,55/42,6 = 0,201$; plocha vystavená větru $A > 10 \text{ m}^2$

Tab. 2.1: Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

oblast	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

- tlak větru na stěny (konstantní po celé výšce):

$$w_{e,A} = 0,656 \cdot (-1,2) = -0,787 \text{ kPa}$$

$$w_{e,B} = 0,656 \cdot (-0,8) = -0,525 \text{ kPa}$$

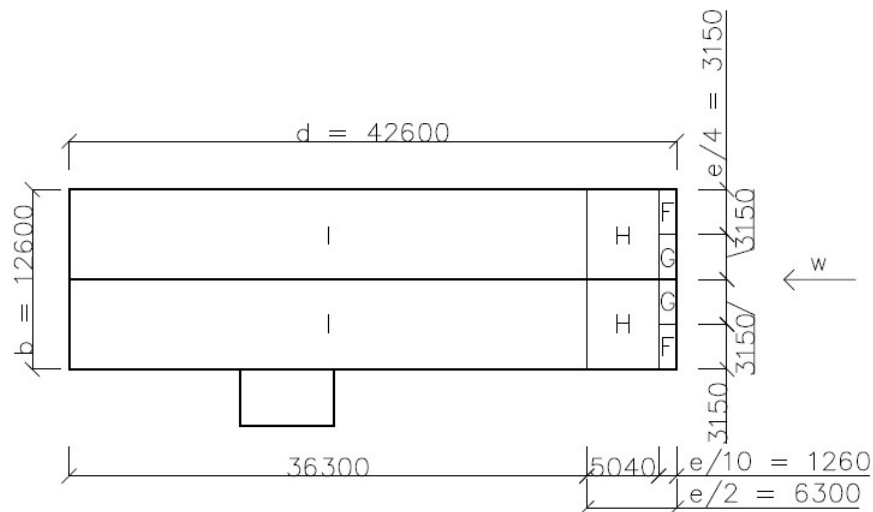
$$w_{e,C} = 0,656 \cdot (-0,5) = -0,328 \text{ kPa}$$

$$w_{e,D} = 0,656 \cdot 0,7 = 0,459 \text{ kPa}$$

$$w_{e,E} = 0,656 \cdot (-0,3) = -0,197 \text{ kPa}$$

2.2.1.2 Na střeše

Střeša 2. NP



Obr. 2.5: Oblasti zatížení větrem na střeše

- $e/2 = 12,6/2 = 6,3 \text{ m}$
- $e/4 = 12,6/4 = 3,15 \text{ m}$
- $e/10 = 12,6/10 = 1,26 \text{ m}$

Tab. 2.2: Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

oblast	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,6/+0,0	-1,3/+0,0	-0,7/+0,0	-0,6

- pozn.: hodnoty pro sedlovou střechu se sklonem 5°

- tlak větru na střechu:

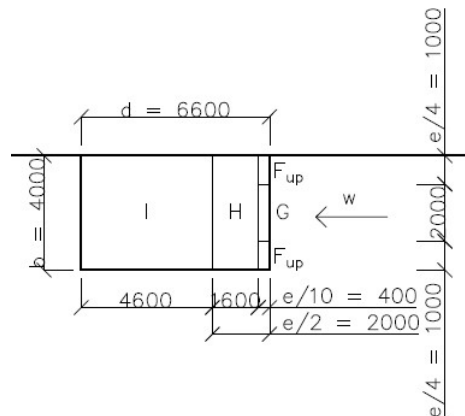
$$w_{e,F} = 0,656 \cdot (-1,6) = -1,050 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = 0,656 \cdot (-1,3) = -0,853 \text{ kPa}$$

$$w_{e,H} = 0,656 \cdot (-0,7) = -0,459 \text{ kPa}$$

$$w_{e,I} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$

Přístřešek 1. NP



Obr. 2.6: Oblasti zatížení větrem na přístřešku

- šířka přístřešku: $b = 4,0 \text{ m}$

- délka přístřešku: $d = 6,6 \text{ m}$

- výška přístřešku: $h = 4,0 \text{ m}$

- $e = \min(b; 2h) = \min(4,0; 2 \cdot 4) = 4,0 \text{ m}$

- $e/2 = 4/2 = 2 \text{ m}$

- $e/4 = 4/4 = 1 \text{ m}$

- $e/10 = 4/10 = 0,4 \text{ m}$

Tab. 2.3: Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

oblast	F_{up}	G	H	I
$c_{pe,10}$	-2,1	-1,8	-0,6	-0,5

- pozn.: hodnoty pro pultovou střechu se sklonem 5°

- tlak větru na střechu:

$$w_{e,F} = 0,522 \cdot (-2,1) = -1,096 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = 0,522 \cdot (-1,8) = -0,940 \text{ kPa}$$

$$w_{e,H} = 0,522 \cdot (-0,6) = -0,313 \text{ kPa}$$

$$w_{e,I} = 0,522 \cdot (-0,5) = -0,261 \text{ kPa}$$

2.2.1.3 Vnitřní tlak

Norma uvádí, že pro převládající fasádu se c_{pi} uvažuje buď 0,75 násobkem (pro dvojnásobnou plochu oproti ostatním fasádám) nebo 0,9 násobkem (pro trojnásobnou plochu) hodnoty c_{pe} . V tomto případě ostatní fasády žádné otvory nemají, proto bude c_{pi} konzervativně uvažováno hodnotou c_{pe} .

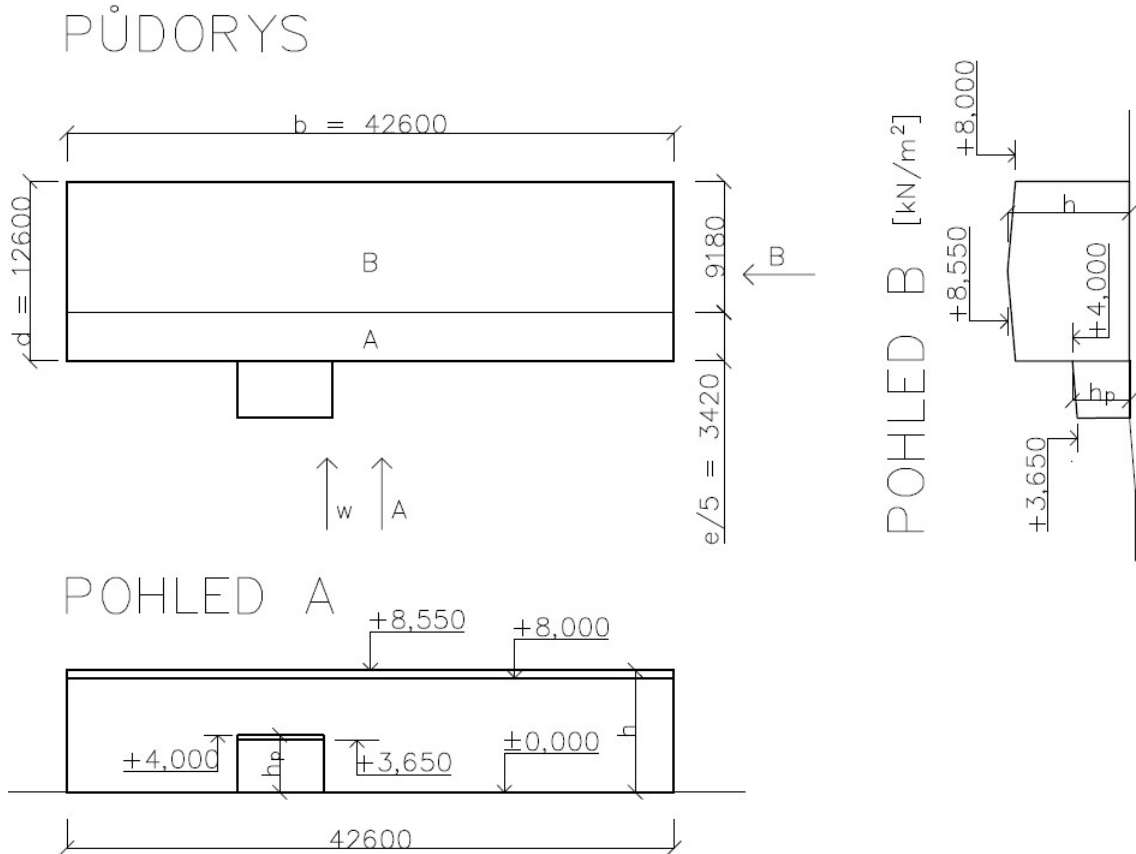
- $c_{pe,10,D} = -0,5$

- $c_{pi} = -0,5$

- podtlak uvnitř budovy: $w_{e,C} = 0,656 \cdot (-0,5) = -0,328$ kPa

2.2.2 Příčný vítr

2.2.2.1 Na stěny



Obr. 2.7: Schéma stavby pro výpočet zatížení podélným větrem

- šířka budovy: $b = 42,6$ m

- délka budovy: $d = 12,6$ m

- výška budovy: $h = 8,55$ m

$h \leq b = 8,55$ m < 42,6 m (po výšce jedna hodnota)

- $e = \min(b; 2h) = \min(42,6; 2 \cdot 8,55) = 17,1$ m (oblasti A, B)

- $e/5 = 17,1/5 = 3,42$ m

- $h/d = 8,55/12,6 = 0,679$; plocha vystavená větru A > 10 m²

Tab. 2.4: Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

oblast	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-1,143	-	0,757	-0,414

$$c_{pe,10(B)} = -0,8 + (0,679 - 0,25) \cdot \frac{-1,4 + 0,8}{1-0,25} = -1,143$$

$$c_{pe,10(D)} = 0,7 + (0,679 - 0,25) \cdot \frac{0,8 - 0,7}{1-0,25} = 0,757$$

$$c_{pe,10(E)} = -0,3 + (0,679 - 0,25) \cdot \frac{-0,5 + 0,3}{1-0,25} = -0,414$$

- tlak větru na stěny po celé výšce konstrukce:

$$w_{e,A} = 0,656 \cdot (-1,2) = -0,787 \text{ kPa}$$

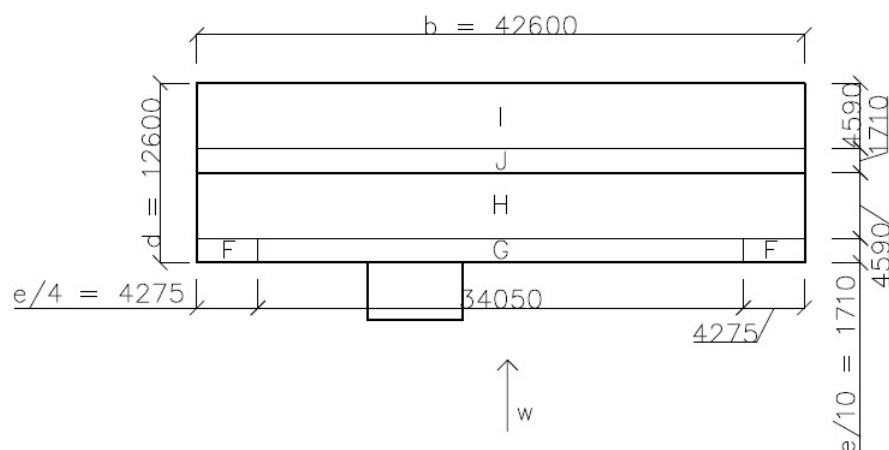
$$w_{e,B} = 0,656 \cdot (-1,143) = -0,750 \text{ kPa}$$

$$w_{e,D} = 0,656 \cdot 0,757 = 0,497 \text{ kPa}$$

$$w_{e,E} = 0,656 \cdot (-0,414) = -0,272 \text{ kPa}$$

2.2.2.2 Na střeše

Střeša 2. NP



Obr. 2.8: Oblasti zatížení větrem na střeše

$$- e/4 = 17,1/4 = 4,275 \text{ m}$$

$$- e/10 = 17,1/10 = 1,71 \text{ m}$$

Tab. 2.5: Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

oblast	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,7/+0,0	-1,2/+0,0	-0,6/+0,0	-0,6	+0,2/-0,6

- pozn.: hodnoty pro sedlovou střešu se sklonem 5°

- tlak větru na střechu:

$$w_{e,F} = 0,656 \cdot (-1,7) = -1,115 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = 0,656 \cdot (-1,2) = -0,787 \text{ kPa}$$

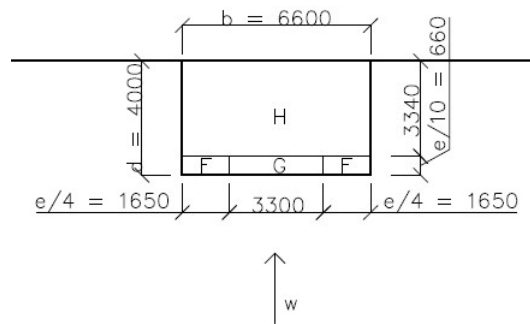
$$w_{e,H} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$

$$w_{e,I} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$

$$w_{e,J1} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$

$$w_{e,J2} = 0,656 \cdot 0,2 = 0,131 \text{ kPa}$$

Přístřešek 1. NP



Obr. 2.9: Oblasti zatížení větrem na přístřešku

- šířka přístřešku: $b = 6,6 \text{ m}$
- délka přístřešku: $d = 4,0 \text{ m}$
- výška přístřešku: $h = 4,0 \text{ m}$
- $e = \min(b; 2h) = \min(6,6; 2 \cdot 4) = 6,6 \text{ m}$
- $e/4 = 6,6/4 = 1,65 \text{ m}$
- $e/10 = 6,6/10 = 0,66 \text{ m}$

Tab. 2.6: Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

oblast	F	G	H
$c_{pe,10}$	-1,7/+0,0	-1,2/+0,0	-0,6/+0,0

- pozn.: hodnoty pro pultovou střechu se sklonem 5°

- tlak větru na střechu:

$$w_{e,F} = 0,522 \cdot (-1,7) = -0,887 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = 0,522 \cdot (-1,2) = -0,626 \text{ kPa}$$

$$w_{e,H} = 0,522 \cdot (-0,6) = -0,313 \text{ kPa}$$

2.2.2.3 Vnitřní tlak

- $c_{pe,10,D} = 0,7$
- $c_{pi} = 0,7$
- přetlak uvnitř budovy: $w_{i,D} = 0,656 \cdot 0,7 = 0,459 \text{ kPa}$

3 Kombinace zatížení

- podle 6.10: $F_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ " + " } \gamma_P \cdot P_k \text{ " + " } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ " + " } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

$$\gamma_{G,sup} = 1,35 \text{ (nepříznivé stálé zatížení)}$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,0 \text{ (příznivé stálé zatížení)}$$

$$\gamma_Q = 1,5 \text{ (dominantní užité zatížení)}$$

$$\psi_{0,u} = 0,7 \text{ (užitné zatížení)}$$

$$\psi_{0,s} = 0,5 \text{ (zatížení sněhem)}$$

$$\psi_{0,v} = 0,6 \text{ (zatížení větrem)}$$

1. nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení sních, příčný vítr

$$F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,s} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$$

2. nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení sních, podélný vítr

$$F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,s} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$$

3. nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení sních

$$F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,s}$$

4. nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení podélný vítr

$$F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,v} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{k,s}$$

5. nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení příčný vítr

$$F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,v} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{k,s}$$

6. nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení užité (na ploše $A = 10 \text{ m}^2$)

$$F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,u}$$

7. příznivé stálé zatížení, dominantní zatížení podélný vítr

$$F_d = 1,0 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,v}$$

8. příznivé stálé zatížení, dominantní zatížení příčný vítr

$$F_d = 1,0 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,v}$$

4 Konstrukce stropů

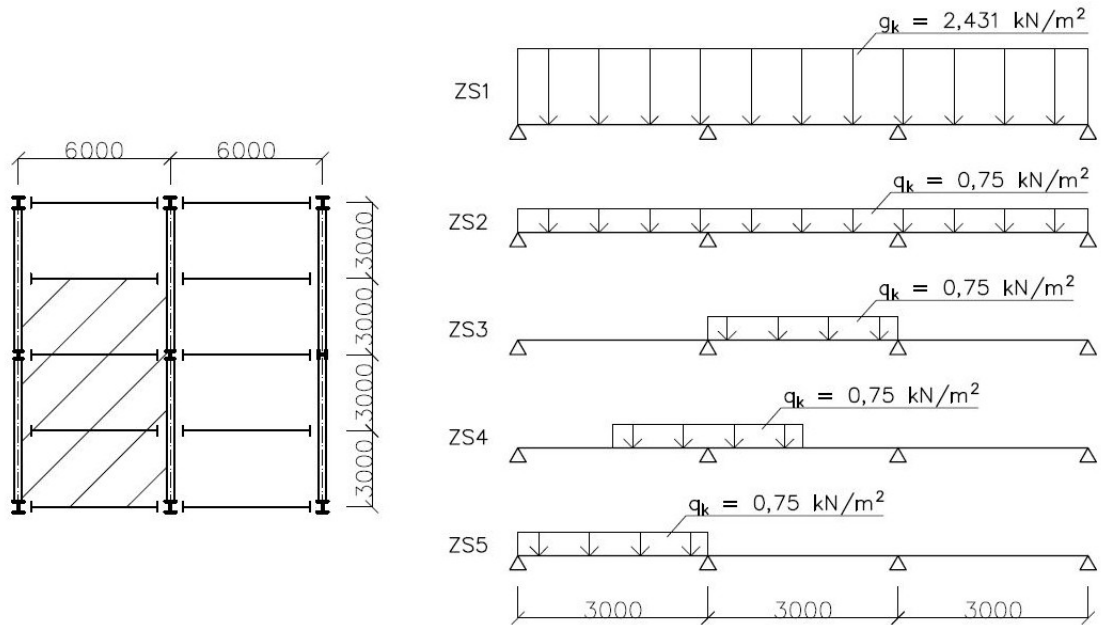
V následujících podkapitolách budou navrženy a následně posouzeny trapézové plechy, stropnice a průvlaky v montážním a provozním stadiu.

4.1 Trapézový plech

Trapézové plechy se posoudí pouze pro montážní stadium, ve kterém nebudou podepřeny. V provozním stadiu bude zatížení přenášet železobetonová deska.

Trapézové plechy jsou řešeny z oceli S320GD.

Jedná se o spojitý nosník o čtyřech polích, v místě realizace schodiště pak o spojitý nosník o třech polích. Výpočet bude proveden pro nepříznivější stav, tedy nosník o třech polích. Zatěžovací šířka je 3 m. Zatížení bude uvažováno podle 2.1.1.



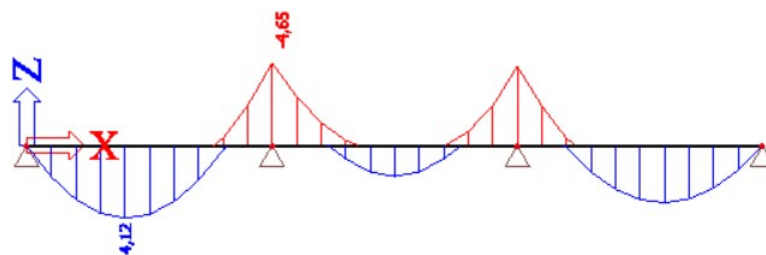
Obr. 4.1: Umístění prvku v administrativní části a zatěžovací stavy

- rovnoměrné spojitě zatížení na celém nosníku: $g_k = 2,431 \text{ kN/m}^2$
 $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

- přidané rovnoměrné zatížení na délce 3m: $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

- kombinační součinitele: $\gamma_G = 1,35$; $\gamma_Q = 1,5$

- kombinace: $\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3$
 $\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS4$
 $\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS5$



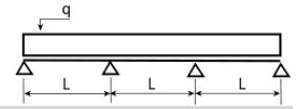
Obr. 4.2: Momentová obálka

- návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = 4,65 \text{ kNm/m}$

- rovnoměrné zatížení odpovídající návrhovému momentu: $f_{Ed} = \frac{10 \cdot M_{Ed}}{L^2} = \frac{10 \cdot 4,65}{3^2} = 5,17 \text{ kN/m}^2$

NÁVRH: **Hacierco 55/250/1,25 mm, S320GD** $m = 11,97 \text{ kg/m}^2$ ($< 12 \text{ kg/m}^2$ - předpoklad)
 $I_{\text{eff+}} = 604\,903,72 \text{ mm}^4$

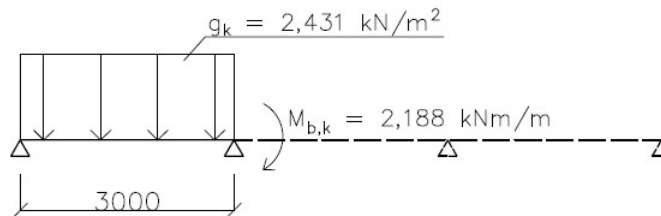
SPOJITÝ NOSNÍK SE TŘEMI SHODNÝMI POLI
- POZITIVNÍ POLOHA PLECHU



tN (mm)	g (kN/m ²)	rozpětí pole L [m]																
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
1,25	$q_{\text{Ed}} (c < 1,5h)$	44,10	30,92	22,93	17,70	14,09	11,49	9,55	8,07	6,90	5,92	5,10	4,44	3,91	3,46	3,09	2,77	2,50
	$q_{\text{Ed}} (c \geq 1,5h)$	44,10	30,92	22,93	17,70	14,09	11,49	9,55	8,07	6,90	5,92	5,10	4,44	3,91	3,46	3,09	2,77	2,50
	$q_{\text{Ek}} (\delta \leq L/200)$	93,81	48,03	27,79	17,50	11,73	8,24	6,00	4,51	3,47	2,73	2,19	1,78	1,47	1,22	1,03	0,88	0,75

POSOUZENÍ MSP (průhyb)

Pro výpočet průhybu během montážního zatížení se uvažuje pouze stálé zatížení a to charakteristickou hodnotou (důležité je, jaký průhyb zůstane po odstranění proměnného zatížení během betonáže). Maximální hodnota průhybu je určena součtem vlivu zatížení na prostém nosníku a momentu ve vnitřní podpoře.



Obr. 4.3: Zatěžovací schéma pro výpočet průhybu

$$M_{b,k} = -\frac{1}{10} \cdot q_k \cdot l^2 = -\frac{1}{10} \cdot 2,431 \cdot 3^2 = -2,188 \text{ kNm/m}$$

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

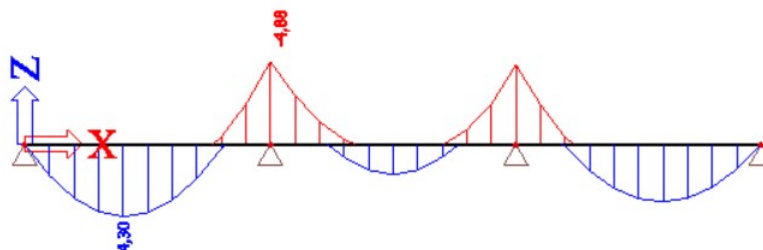
$$\delta = \frac{1}{210 \cdot 10^3 \cdot 604\,903,72} \left(\frac{5}{384} \cdot 2,431 \cdot 3000^4 - \frac{1}{16} \cdot 2,188 \cdot 10^6 \cdot 3000^2 \right) = 10,5 \text{ mm}$$

$$\delta = 10,5 \text{ mm} > \frac{t_{\text{deska}}}{10} = \frac{88,9}{10} = 8,89 \text{ mm} \rightarrow \text{bude uvažován rybníkový efekt}$$

- přidaná tloušťka betonové desky: $\delta_0 = 0,7 \cdot \delta = 0,7 \cdot 10,5 = 7,35 \text{ mm}$

- přidané zatížení: $\Delta q_k = \delta_0 \cdot 26 \text{ kN/m}^3 = 7,35 \cdot 1 \cdot 26 \cdot 10^{-3} = 0,191 \text{ kN/m}^2$

- nové stálé zatížení: $g_k = 2,622 \text{ kN/m}^2$



Obr. 4.4: Momentová obálka po započítání rybníkového efektu

- návrhový ohybový moment po započítání rybníkového efektu: $M_{Ed} = 4,88 \text{ kNm/m}$
- rovnoměrné zatížení odpovídající návrhovému momentu po započítání rybníkového efektu:

$$f_{Ed} = \frac{10 \cdot M_{Ed}}{L^2} = \frac{10 \cdot 4,88}{3^2} = 5,42 \text{ kN/m}^2 < q_{Ed} = 6,9 \text{ kN/m}^2$$

Profil Hacierco 55/250/1,25 mm vyhoví.

4.2 Stropnice

Předpokládá se, že stropnice nejsou během montáže podepřeny, proto je třeba je posoudit jak v provozním, tak i v montážním stádiu.

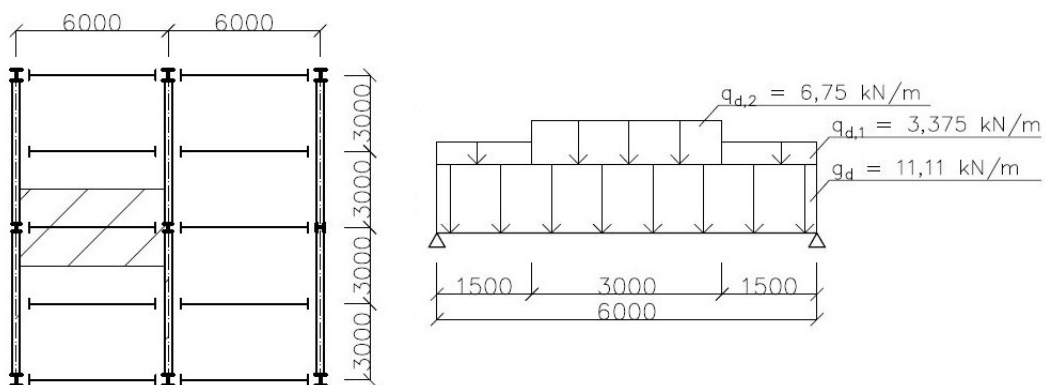
Stropnice jsou řešeny z oceli S355.

4.2.1 Vnitřní stropnice

4.2.1.1 Montážní stádium

STÁLÉ ZATÍŽENÍ	g_k [kN/m]	γ_G	g_d [kN/m]
betonová deska - $26 \cdot 0,0889 \cdot 3$	6,934	1,35	9,361
rybníkový efekt od trapézového plechu - $0,191 \cdot 3$	0,573	1,5	0,860
trapézový plech - $11,97/100 \cdot 3$	0,359	1,35	0,485
vlastní tíha stropnice (odhad)	0,300	1,35	0,405
CELKEM	8,166		11,110

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	q_k [kN/m]	γ_Q	q_d [kN/m]
rovnoměrné - $0,75 \cdot 3$	2,250	1,5	3,375
zvětšené (na čtverci 3x3 m v nejnepříznivější poloze) - $1,5 \cdot 3$	4,500	1,5	6,750



Obr. 4.5: Umístění prvku v administrativní části a statické schéma zatížení stropnice

- návrhová posouvající síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot [(g_d + q_{d,1}) \cdot l + q_{d,1} \cdot 3] = \frac{1}{2} \cdot [(11,11 + 3,375) \cdot 6 + 3,375 \cdot 3] = 48,52 \text{ kN}$$

- návrhový ohybový moment:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{1}{2} - (g_d + q_{d,1}) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 - q_{d,1} \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 48,52 \cdot \frac{6}{2} - (11,11 + 3,375) \cdot \left(\frac{6}{2}\right)^2 - 3,375 \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2$$

$$M_{Ed} = 76,58 \text{ kNm}$$

- potřebný průřezový modul:

$$W_{\min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{76,58 \cdot 10^6}{355} = 215\,720,07 \text{ mm}^3$$

NÁVRH: IPE 200, S355 $m = 22,4 \text{ kg/m}^2$ ($< 30 \text{ kg/m}^2$ - předpoklad)

$$A = 2848 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 1400 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 194,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 220,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 19,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

třída 1 pro ohyb k ose y

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 220,6 \cdot 355 \cdot 10^3 = 78,31 \text{ kNm} > M_{Ed} = 76,58 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1400 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 286,94 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 48,52 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

POSOUZENÍ MSP (průhyb)

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8,166 \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 19,43 \cdot 10^6} = 33,77 \text{ mm}$$

\rightarrow příliš velký průhyb, návrh nového průřezu ($L/250 = 6000/250 = 24 \text{ mm}$)

NÁVRH: IPE 220, S355 $m = 26,2 \text{ kg/m}^2$ ($< 30 \text{ kg/m}^2$ - předpoklad)

$$A = 3337 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 1588 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 252 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 285,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 27,72 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

třída 1 pro ohyb k ose y

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8,166 \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 27,72 \cdot 10^6} = 23,67 \text{ mm}$$

$$\delta = 23,67 \text{ mm} > \frac{t_{deska}}{10} = \frac{88,9}{10} = 8,89 \text{ mm} \rightarrow \text{rybníkový efekt}$$

- přidaná tloušťka betonové desky: $\delta_0 = 0,7 \cdot \delta = 0,7 \cdot 23,67 = 16,57 \text{ mm}$

- přidané zatížení: $\Delta q_k = \delta_0 \cdot B \cdot 26 \text{ kN/m}^3 = 16,57 \cdot 3 \cdot 26 \cdot 10^{-3} = 1,292 \text{ kN/m}$

$$\Delta q_d = \Delta q_k \cdot \gamma_G = 1,292 \cdot 1,35 = 1,745 \text{ kN/m}$$

- momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 285,4 \cdot 355 \cdot 10^3 = 101,32 \text{ kNm}$$

- návrhový ohybový moment po započítání rybníkového efektu:

$$M_{Ed} = 76,58 + \frac{1}{8} \cdot 1,745 \cdot 6^2 = 84,43 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 101,32 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.2.1.2 Provozní stadium

V provozním stadiu už nosník působí jako celek a je třeba ho posoudit jako ocelobetonový průřez. Stropnice je řešena jako prostý nosník zatížený rovnoměrným spojitým zatížením daným součtem návrhových hodnot zatížení stálých a proměnných.

STÁLÉ ZATÍŽENÍ	g_k [kN/m]	γ_G	g_d [kN/m]
skladby podlahy - $1,493 \cdot 3$	4,479	1,35	6,047
betonová deska - $2,223 \cdot 3$	6,668	1,35	9,001
rybníkový efekt od trapézového plechu - $0,573/26 \cdot 25$	0,551	1,35	0,744
rybníkový efekt od stropnice - $1,292/26 \cdot 25$	1,242	1,35	1,677
trapézový plech	0,359	1,35	0,485
vlastní tíha stropnice	0,262	1,35	0,354
podhled KNAUF - $0,15 \cdot 3$	0,450	1,35	0,608
CELKEM	14,011		18,915

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	q_k [kN/m]	γ_Q	q_d [kN/m]
užitné (B - kancelářské plochy) - $2,5 \cdot 3$	7,500	1,5	11,250
přemístitelné příčky (vl. tíha $\leq 2,0$ kN/m) - $0,8 \cdot 3$	2,400	1,5	3,600
CELKEM	9,900		14,850

- návrhové zatížení: $g_d + q_d = 18,915 + 14,85 = 33,765$ kN/m

- návrhová posouvající síla:

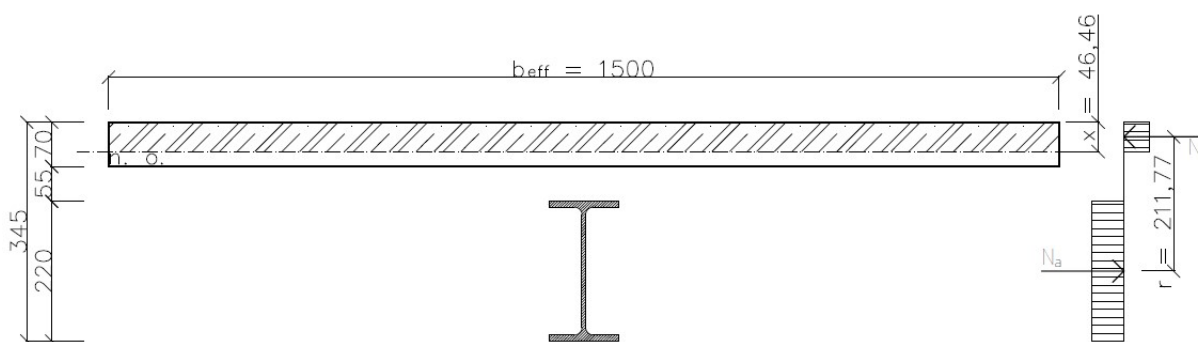
$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (g_d + q_d) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 33,765 \cdot 6 = 101,3 \text{ kN}$$

- návrhový ohybový moment:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 33,765 \cdot 6^2 = 151,94 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost (průřez třídy 1 - plastické posouzení)



Obr. 4.6: Plastická ohybová únosnost ocelobetonového průřezu

- účinná šířka desky: $b_{\text{eff}} = 2 \cdot b_{e1} = 2 \cdot \frac{L}{8} = \frac{6000}{4} = 1500 \text{ mm} < 3000 \text{ mm}$ (vzdálenost stropnic)

→ $b_{\text{eff}} = 1500 \text{ mm}$

- použitý beton: C30/37 → $f_{\text{ck}} = 30 \text{ MPa}$

$$f_{\text{cd}} = 0,85 \cdot \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{30}{1,5} = 17 \text{ MPa}$$

- předpoklad: neutrální osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A \cdot f_{\text{yd}} = x \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{\text{cd}}$$

$$x = \frac{A \cdot f_{\text{yd}}}{b_{\text{eff}} \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{3337 \cdot 355}{1500 \cdot 17} = 46,46 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \rightarrow \text{předpoklad splněn}$$

$$r = \frac{220}{2} + 55 + 70 - \frac{46,46}{2} = 211,77 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = N_a \cdot r = 3337 \cdot 355 \cdot 211,77 \cdot 10^{-6} = 250,87 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 151,94 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost

$$V_{\text{pl,Rd}} = \frac{A_{\text{v,z}} \cdot f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}} = \frac{1588 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 325,48 \text{ kN} \gg V_{\text{Ed}} = 100,59 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- sprážení: hlavový přivařený trn 19/100 - S235 ($f_u = 360 \text{ MPa}$)

- $h_{\text{sc}} = 100 \text{ mm}$, $d = 19 \text{ mm}$

- únosnost jednoho trnu:

$P_{\text{Rd}} = \min$ (pevnost trnu; porušení betonu)

$$P_{\text{Rd}} = \min \left(\frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\gamma_v}; \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{\text{ck}} \cdot E_{\text{cm}}}}{\gamma_v} \right); \alpha = 1 \text{ (pro } h_{\text{sc}} > 4d)$$

$$P_{\text{Rd}} = \min \left(\frac{0,8 \cdot 360 \cdot 000 \cdot \pi \cdot \frac{0,019^2}{4}}{1,25}; \frac{0,29 \cdot 1 \cdot 0,019^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 32 \cdot 10^9}}{1,25} \right) = \min (65,33; 82,06)$$

$$P_{\text{Rd}} = 65,33 \text{ kN}$$

- únosnost se redukuje součinitelem k_t (trn v žebrové desce s žebry kolmo na nosník)

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{\text{sc}}}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{86}{55} \cdot \left(\frac{100}{55} - 1 \right) = 0,896 \text{ (} t_{\text{tr}} > 1 \text{ mm} \rightarrow k_t \leq 1)$$

n_r ... počet trnů v žebru

h_{sc} ... výška trnu

h_p ... výška trapézového plechu

$$b_0 = a + b = 39 + 47 = 86 \text{ mm}$$

- únosnost trnu v žebru $P'_{\text{Rd}} = P_{\text{Rd}} \cdot k_t = 65,33 \cdot 0,896 = 58,51 \text{ kN}$

- síla na sprážení na 1/2 nosníku: $F_{\text{cf}} = N_c = N_a = A \cdot f_{\text{yd}} = 3337 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1184,64 \text{ kN}$

- potřebný počet trnů na 1/2 nosníku: $n_f = \frac{F_{\text{cf}}}{P'_{\text{Rd}}} = \frac{1184,64}{58,51} = 20,25 \rightarrow 21 \text{ trnů}$

- lze umístit: $\frac{L}{2} = \frac{3000}{250} = 12$ trnů \rightarrow návrh s neúplným spřažením

- plastická momentová únosnost IPE 220: $M_{a,pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} = 285,4 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 101,32$ kNm

- síla na neúplné spřažení na 1/2 nosníku:

$$F_c = \frac{M_{Ed} - M_{a,pl,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd}} \cdot F_{cf} = \frac{150,89 - 101,32}{250,87 - 101,32} \cdot 1184,64 = 392,66 \text{ kN}$$

- potřebný počet trnů k neúplnému spřažení: $n_f = \frac{F_c}{P_{Rd}} = \frac{392,66}{58,51} = 6,71 \rightarrow 7$ trnů

Trn bude umístěn v každém žebru, návrh tedy počítá s 24 trny na celém nosníku.

POSOUZENÍ MSP

Montážní zatížení - charakteristické hodnoty (podle kap. 4.2.1.1)

- stálé zatížení (6,802 + 0,57 + 0,339 + 0,262)	8,166 kN/m
- vliv rybníkového efektu	1,292 kN/m
<hr/>	
- celkem	$g_0 = 9,458$ kN/m

Provozní zatížení (podle kap. 4.2.1.2)

- betonová deska	6,668 kN/m
- vliv rybníkových efektů (0,551 + 1,292)	1,843 kN/m
- trapézový plech	0,359 kN/m
- skladba podlahy	4,479 kN/m
- podhled	0,450 kN/m
- užité zatížení	7,500 kN/m
- přemístitelné příčky	2,400 kN/m
<hr/>	
- celkem	23,699 kN/m

- rozdíl mezi provozním a montážním zatížením: $q_p = 23,699 - 9,458 = 14,241$ kN/m

- charakteristický moment při montážním zatížení: $M_0 = \frac{1}{8} \cdot g_0 \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 9,458 \cdot 6^2 = 42,56$ kNm

- charakteristický přídatný moment při provozním zatížení: $M_p = \frac{1}{8} \cdot q_p \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 14,241 \cdot 6^2 = 64,08$ kNm

Ideální průřez

- modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování a smršťování: $E_c' = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{32}{2} = 16$ MPa

- pracovní součinitel: $n = \frac{E_a}{E_c'} = \frac{210}{16} = 13,125$

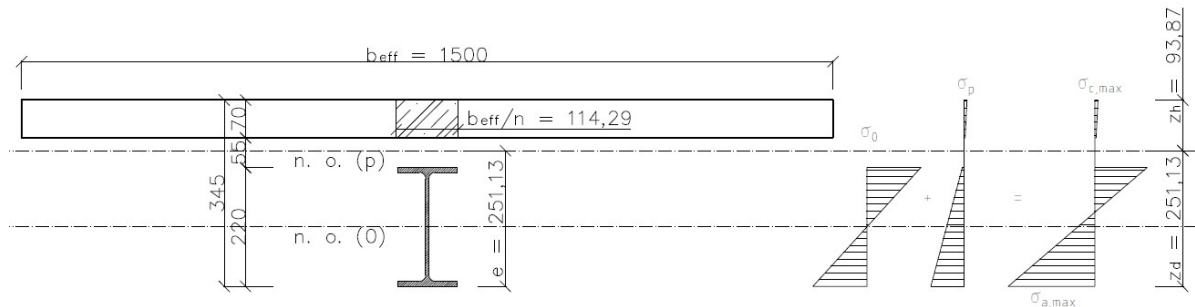
- plocha ideálního průřezu: $A_i = 3337 + 70 \cdot \frac{1500}{13,125} = 11\,337$ mm²

- těžiště ideálního průřezu: $e = \frac{3337 \cdot 110 + 70 \cdot \frac{1500}{13,125} \cdot (220 + 55 + \frac{70}{2})}{11\,337} = 251,13$ mm

- moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = 27,72 \cdot 10^6 + 3337 \cdot (251,13 - 110)^2 + \frac{1}{13,125} \cdot \left[\frac{1500 \cdot 70^3}{12} + 1500 \cdot 70 \cdot (251,13 - 220 - 55 - \frac{70}{2})^2 \right]$$

$$I_i = 125,18 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Obr. 4.7: Posouzení pružného působení nosníku při provozním zatížení

- největší napětí v ocelovém profilu:

$$\bar{\sigma}_{a,max} = \bar{\sigma}_0 + \bar{\sigma}_p = \frac{M_0}{W_y} + \frac{M_p}{I_i} \cdot z_d$$

$$\bar{\sigma}_{a,max} = \frac{42,56 \cdot 10^6}{252\,000} + \frac{64,08 \cdot 10^6}{125,18 \cdot 10^6} \cdot 251,13 = 297,44 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- největší napětí v betonové desce:

$$\bar{\sigma}_{c,max} = \frac{M_p}{n \cdot I_i} \cdot z_h = \frac{64,08 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 125,18 \cdot 10^6} \cdot (345 - 251,13)$$

$$\bar{\sigma}_{c,max} = 3,66 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ nosník při provozním zatížení působí pružně

- zatížení pro průhyb (užitné, příčky, skladba podlahy, podhledy): $f_k = 9,9 + 4,479 + 0,45 = 14,829 \text{ kN}$

- průhyb: $\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14,829 \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 162,62 \cdot 10^6} = 7,33 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$

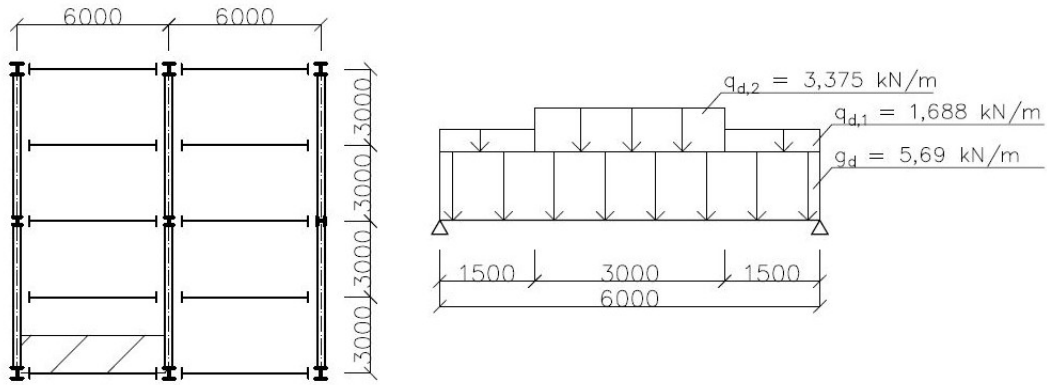
Profil IPE 220 vyhoví.

4.2.2 Krajní stropnice

4.2.2.1 Montážní stadium

STÁLÉ ZATÍŽENÍ	g_k [kN/m]	γ_G	g_d [kN/m]
betonová deska - $26 \cdot 0,0889 \cdot 1,5$	3,467	1,35	4,681
rybníkový efekt od trapézového plechu - $0,191 \cdot 1,5$	0,287	1,5	0,42975
trapézový plech - $11,97/100 \cdot 1,5$	0,180	1,35	0,242
vlastní tíha stropnice (odhad)	0,250	1,35	0,338
CELKEM	4,183		5,690

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	q_k [kN/m]	γ_Q	q_d [kN/m]
rovnoměrné - $0,75 \cdot 1,5$	1,125	1,5	1,688
zvětšené (na čtverci 3x3 m v nejnepříznivější poloze) - $1,5 \cdot 1,5$	2,250	1,5	3,375



Obr. 4.8: Umístění prvku v administrativní části a statické schéma zatížení stropnice

- návrhová posouvající síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot [(g_d + q_{d,1}) \cdot l + (q_{d,2} - q_{d,1}) \cdot 3] = \frac{1}{2} \cdot [(5,69 + 1,688) \cdot 6 + 1,687 \cdot 3] = 24,66 \text{ kN}$$

- návrhový ohybový moment:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{l}{2} - (g_d + q_{d,1}) \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2 - (q_{d,2} - q_{d,1}) \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 24,66 \cdot \frac{6}{2} - (5,69 + 1,688) \cdot \left(\frac{6}{2}\right)^2 - 1,687 \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^2$$

$$M_{Ed} = 38,89 \text{ kNm}$$

- potřebný průřezový modul:

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{38,89 \cdot 10^6}{355} = 109\,562,23 \text{ mm}^3$$

NÁVRH: IPE 160, S355 $m = 15,8 \text{ kg/m}^2$ ($< 25 \text{ kg/m}^2$ - předpoklad)

$$A = 2009 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 966 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 108,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 123,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 8,693 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

třída 1 pro ohyb k ose y

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 123,9 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 43,98 \text{ kNm} > M_{Ed} = 38,89 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{966 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 197,99 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 24,66 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

POSOUZENÍ MSP (průhyb)

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,183 \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 8,693 \cdot 10^6} = 38,67 \text{ mm}$$

→ příliš velký průhyb, návrh nového průřezu ($L/250 = 6000/250 = 24 \text{ mm}$)

NÁVRH: **IPE 180, S355** $m = 18,8 \text{ kg/m}^2$ ($< 25 \text{ kg/m}^2$ - předpoklad)
 $A = 2395 \text{ mm}^2$
 $A_{v,z} = 1125 \text{ mm}^2$
 $W_y = 146,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
 $W_{pl,y} = 166,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
 $I_y = 13,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
třída 1 pro ohyb k ose y

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,183 \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 13,17 \cdot 10^6} = 25,52 \text{ mm}$$

→ příliš velký průhyb, další navyšování neekonomické, krajní stropnice budou při montáži podepřeny

4.2.2.2 Provozní stadium

NÁVRH: **IPE 160** (charakteristiky vypsány v předchozí kapitole)

STÁLÉ ZATÍŽENÍ	g_k [kN/m]	γ_G	g_d [kN/m]
skladby podlahy - $1,493 \cdot 1,5$	2,240	1,35	3,023
betonová deska - $2,223 \cdot 1,5$	3,334	1,35	4,501
rybníkový efekt od trapézového plechu - $0,573/26 \cdot 25$	0,275	1,35	0,372
trapézový plech	0,180	1,35	0,242
vlastní tíha stropnice	0,158	1,35	0,213
podhled KNAUF - $0,15 \cdot 1,5$	0,225	1,35	0,304
CELKEM	6,411		8,655

PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	q_k [kN/m]	γ_Q	q_d [kN/m]
užitné (B - kancelářské plochy) - $2,5 \cdot 1,5$	3,750	1,5	5,625
přemístitelné příčky (vl. tíha $\leq 2,0 \text{ kN/m}$) - $0,8 \cdot 1,5$	1,200	1,5	1,800
CELKEM	4,950		7,425

- návrhové zatížení: $g_d + q_d = 8,655 + 7,425 = 16,08 \text{ kN/m}$

- návrhová posouvající síla:

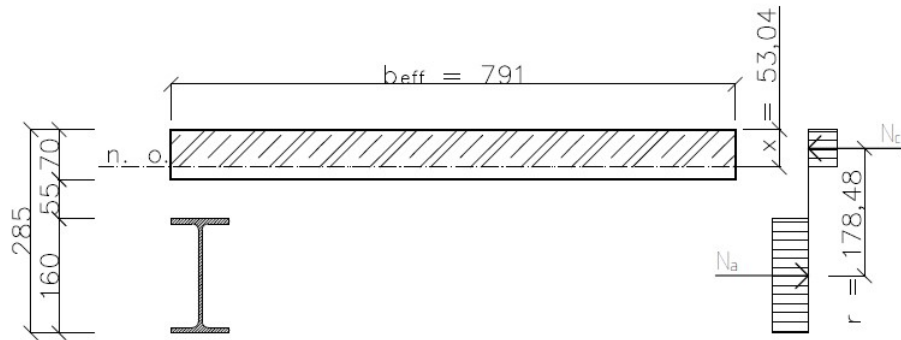
$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (g_d + q_d) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 16,08 \cdot 6 = 48,24 \text{ kN}$$

- návrhový ohybový moment:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 16,08 \cdot 6^2 = 75,6 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost (průřez třídy 1 - plastické posouzení)



Obr. 4.9: Plastická ohybová únosnost ocelobetonového průřezu

- účinná šířka desky: $b_{\text{eff}} = b_{e1} + b/2 = \frac{L}{8} + b/2 = \frac{6000}{8} + 82/2 = 791 \text{ mm} < 1500 \text{ mm}$ (zat. šířka)

→ $b_{\text{eff}} = 791 \text{ mm}$

- předpoklad: neutrální osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A \cdot f_{yd} = x \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{cd}$$

$$x = \frac{A \cdot f_{yd}}{b_{\text{eff}} \cdot f_{cd}} = \frac{2009 \cdot 355}{791 \cdot 17} = 53,04 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \rightarrow \text{předpoklad splněn}$$

$$r = \frac{160}{2} + 55 + 70 - \frac{53,04}{2} = 178,48 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = N_a \cdot r = 2009 \cdot 355 \cdot 178,48 \cdot 10^{-6} = 127,29 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 75,6 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost

$$V_{\text{pl,Rd}} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{966 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 197,99 \text{ kN} \gg V_{\text{Ed}} = 48,24 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- sprážení: hlavový přivařený trn 19/100 - S235 ($f_u = 360 \text{ MPa}$)

- $h_{sc} = 100 \text{ mm}$, $d = 19 \text{ mm}$

- únosnost trnu v žebře $P'_{\text{Rd}} = P_{\text{Rd}} \cdot k_t = 65,33 \cdot 0,896 = 58,51 \text{ kN}$

- síla na sprážení na 1/2 nosníku: $F_{cf} = N_c = N_a = A \cdot f_{yd} = 2009 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 713,2 \text{ kN}$

- potřebný počet trnů na 1/2 nosníku: $n_f = \frac{F_{cf}}{P'_{\text{Rd}}} = \frac{713,2}{58,51} = 12,19 \rightarrow 13 \text{ trnů}$

- lze umístit: $\frac{L}{250} = \frac{3000}{250} = 12 \text{ trnů} \rightarrow \text{návrh s neúplným sprážením}$

- plastická momentová únosnost IPE 160: $M_{a,\text{pl,Rd}} = W_{\text{pl}} \cdot f_{yd} = 123,9 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 43,98 \text{ kNm}$

- síla na neúplné spřažení na 1/2 nosníku:

$$F_c = \frac{M_{Ed} - M_{a,pl,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd}} \cdot F_{cf} = \frac{71,91 - 43,98}{127,29 - 43,98} \cdot 713,2 = 239,1 \text{ kN}$$

- potřebný počet trnů k neúplnému spřažení: $n_f = \frac{F_c}{P_{Rd}} = \frac{239,1}{58,51} = 4,09 \rightarrow 5$ trnů

Trn bude umístěn v každém žebru, návrh tedy počítá s 24 trny na celém nosníku.

POSOUZENÍ MSP

- charakteristický moment při provozním zatížení: $M_k = \frac{1}{8} \cdot (g_k + q_k) \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot (6,411 + 4,95) \cdot 6^2$
 $M_k = 51,12 \text{ kNm}$

Ideální průřez

- modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování a smršťování: $E_c' = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$

- pracovní součinitel: $n = \frac{E_a}{E_c'} = \frac{210}{16} = 13,125$

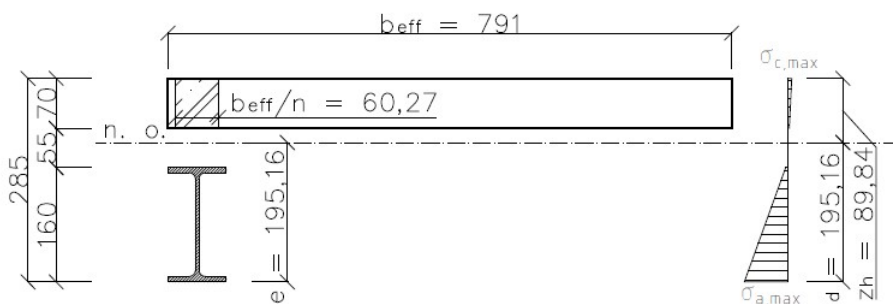
- plocha ideálního průřezu: $A_i = 2009 + 70 \cdot \frac{791}{13,125} = 6\,227,67 \text{ mm}^2$

- těžiště ideálního průřezu: $e = \frac{2009 \cdot 80 + 70 \cdot \frac{791}{13,125} \cdot (160 + 55 + \frac{70}{2})}{6\,227,67} = 195,16 \text{ mm}$

- moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = 8,693 \cdot 10^6 + 2009 \cdot (195,16 - 80)^2 + \frac{1}{13,125} \cdot \left[\frac{791 \cdot 70^3}{12} + 791 \cdot 70 \cdot (195,16 - 160 - 55 - \frac{70}{2})^2 \right]$$

$$I_i = 49,75 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Obr. 4.10: Posouzení pružného působení nosníku při provozním zatížení

- největší napětí v ocelovém profilu:

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_k}{I_i} \cdot z_d = \frac{51,12}{49,75} \cdot 195,16 = 200,53 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max} = \frac{M_k}{n \cdot I_i} \cdot z_h = \frac{51,12 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 49,75 \cdot 10^6} \cdot (285 - 195,16) = 7,03 \text{ MPa}$

$< 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$
 \rightarrow nosník při provozním zatížení působí pružně

- zatížení pro průhyb (užitné, příčky, skladba podlahy, podhledy): $f_k = 4,95 + 2,24 + 0,225 = 7,415 \text{ kN}$

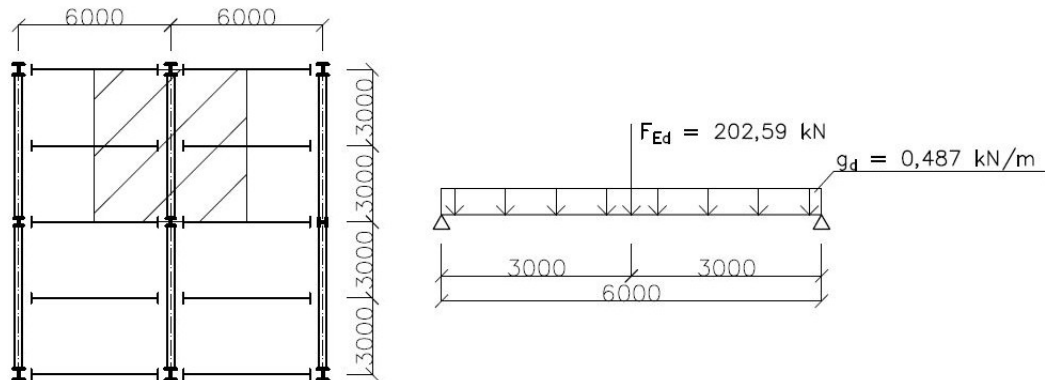
$$\text{- průhyb: } \delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot l^4}{E \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{7,415 \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 49,75 \cdot 10^6} = 11,98 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 160 vyhoví.

4.3 Průvlaky

Průvlaky jsou během montáže podepřeny.
Všechny průvlaky jsou řešeny z oceli S355.

4.3.1 Vnitřní průvlak



Obr. 4.11: Umístění prvku v administrativní části a statické schéma zatížení průvlaku

Zatížení je uvažováno podle kap. 4.2.1.2.

NÁVRH: IPE 270, S355 $m = 36,1 \text{ kg/m}^2$
 $A = 4595 \text{ mm}^2$
 $A_{v,z} = 2214 \text{ mm}^2$
 $W_y = 428,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
 $W_{pl,y} = 484 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
 $I_y = 57,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
 třída 1 pro ohyb k ose y

$$\text{- reakce stropnic: } R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (g_d + \Delta q_d + q_d) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (18,915 + 14,85) \cdot 6 = 101,3 \text{ kN}$$

$$\text{- zatížení: } F_{Ed} = 2 \cdot R_{Ed} = 2 \cdot 101,3 = 202,59 \text{ kN}$$

$$\text{- návrhová posouvající síla: } V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (F_{Ed} + g_{0,d} \cdot L)$$

$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (202,59 + 0,361 \cdot 1,35 \cdot 6) = 102,76 \text{ kN}$$

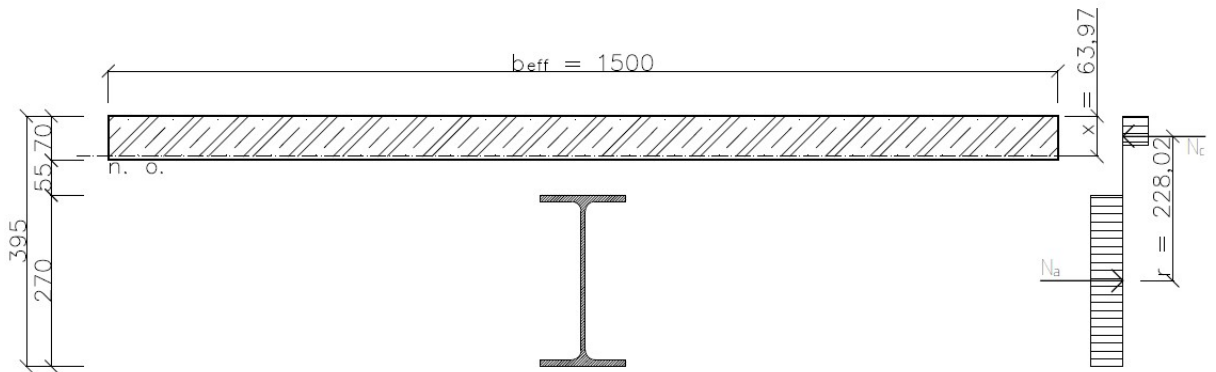
$$\text{- návrhový ohybový moment: } M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot g_{0,d} \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot F_{Ed} \cdot l$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (0,361 \cdot 1,35) \cdot 6^2 + \frac{1}{4} \cdot 202,59 \cdot 6$$

$$M_{Ed} = 306,08 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost (průřez třídy 1 - plastické posouzení)



Obr. 4.12: Plastická ohybová únosnost ocelobetonového průřezu

- účinná šířka desky: $b_{eff} = 2 \cdot b_{e1} = 2 \cdot \frac{L}{8} = \frac{6000}{4} = 1500 \text{ mm} < 6000 \text{ mm}$ (vzdálenost průvlaků)

→ $b_{eff} = 1500 \text{ mm}$

- předpoklad: neutrální osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$x = \frac{A \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{4595 \cdot 355}{1500 \cdot 17} = 63,97 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \rightarrow \text{předpoklad splněn}$$

$$r = \frac{270}{2} + 55 + 70 - \frac{63,97}{2} = 228,02 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot r = 4595 \cdot 355 \cdot 228,02 \cdot 10^{-6} = 371,95 \text{ kNm} > M_{Ed} = 306,08 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{2214 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 453,78 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 102,76 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- spřažení: hlavový přivařený trn 19/100 - S235 ($f_u = 360 \text{ MPa}$)

- $h_{sc} = 100 \text{ mm}$, $d = 19 \text{ mm}$

- únosnost jednoho trnu: $P_{Rd} = 65,33 \text{ kN}$

- únosnost se redukuje součinitelem k_1 (trn v žebrové desce s žebry rovnoběžnými s nosníkem):

$$k_1 = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{86}{55} \cdot \left(\frac{100}{55} - 1 \right) = 0,768 \leq 1,0 \rightarrow k_1 = 0,768$$

- únosnost trnu v žebru $P'_{Rd} = P_{Rd} \cdot k_1 = 65,33 \cdot 0,768 = 50,17 \text{ kN}$

- síla na spřažení na 1/2 nosníku: $F_{cf} = N_c = N_a = A \cdot f_{yd} = 4595 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1631,23 \text{ kN}$

- potřebný počet trnů na 1/2 nosníku: $n_f = \frac{F_{cf}}{P'_{Rd}} = \frac{1631,23}{50,17} = 32,51 \rightarrow 33 \text{ trnů}$

- vzdálenost trnů: $\frac{L}{n_f} = \frac{3000}{33} = 90,91 \text{ mm} < \text{minimální vzdálenost trnů } 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$

- nový návrh spřažení: hlavový přivařený trn 22/100 - S235 ($f_u = 360$ MPa)

- $h_{sc} = 100$ mm, $d = 22$ mm

- únosnost jednoho trnu:

$$P_{Rd} = \min \left(\frac{0,8 \cdot 360\,000 \cdot \pi \cdot \frac{0,022^2}{4}}{1,25}; \frac{0,29 \cdot 1 \cdot 0,022^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 32 \cdot 10^9}}{1,25} \right) = \min (87,58; 110,02)$$
$$P_{Rd} = 87,58 \text{ kN}$$

- únosnost trnu v žeburu $P'_{Rd} = P_{Rd} \cdot k_l = 87,58 \cdot 0,768 = 67,26$ kN

- potřebný počet trnů na 1/2 nosníku: $n_f = \frac{F_{cf}}{P'_{Rd}} = \frac{1631,23}{67,26} = 24,25 \rightarrow 25$ trnů

- vzdálenost trnů: $\frac{L}{n_f} = \frac{6000}{25} = 240$ mm > minimální vzdálenost trnů $5 \cdot d = 5 \cdot 22 = 110$ mm

Bude umístěno 25 trnů s osovou vzdáleností 240 mm.

POSOUZENÍ MSP

- charakteristické reakce od stropnic: $R_{Ek} = \frac{1}{2} \cdot (g_k + q_k) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (14,011 + 9,9) \cdot 6 = 71,73$ kN

- zatížení: $F_k = 2 \cdot R_{Ek} = 2 \cdot 71,73 = 143,47$ kN

- charakteristický moment: $M_k = \frac{1}{8} \cdot g_0 \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot F_{Ek} \cdot l = \frac{1}{8} \cdot 0,361 \cdot 6^2 + \frac{1}{4} \cdot 143,47 \cdot 6$
 $M_k = 216,83$ kNm

Ideální průřez

- modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování a smršťování: $E_c' = 16$ MPa

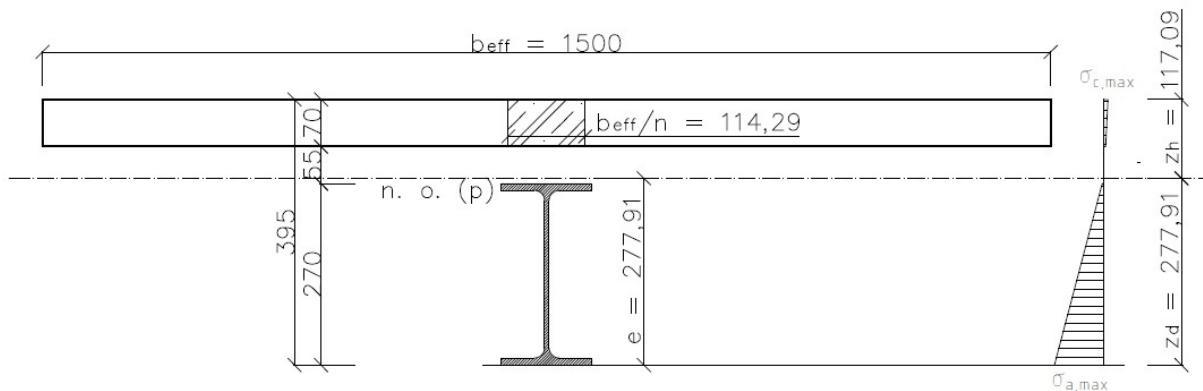
- pracovní součinitel: $n = \frac{E_a}{E_c'} = \frac{210}{16} = 13,125$

- plocha ideálního průřezu: $A_i = 4595 + 70 \cdot \frac{1500}{13,125} = 12\,595$ mm²

- těžiště ideálního průřezu: $e = \frac{4595 \cdot 135 + 70 \cdot \frac{1500}{13,125} \cdot (270 + 55 + \frac{70}{2})}{12\,595} = 277,91$ mm

- moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = 57,9 \cdot 10^6 + 4595 \cdot (277,91 - 135)^2 + \frac{1}{13,125} \cdot \left[\frac{1500 \cdot 70^3}{12} + 1500 \cdot 70 \cdot (277,91 - 270 - 55 - \frac{70}{2})^2 \right]$$
$$I_i = 208,92 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Obr. 4.13: Posouzení pružného působení nosníku při provozním zatížení

- největší napětí v ocelovém profilu:

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_k}{I_i} \cdot z_d = \frac{216,83}{208,92} \cdot 277,91 = 288,43 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

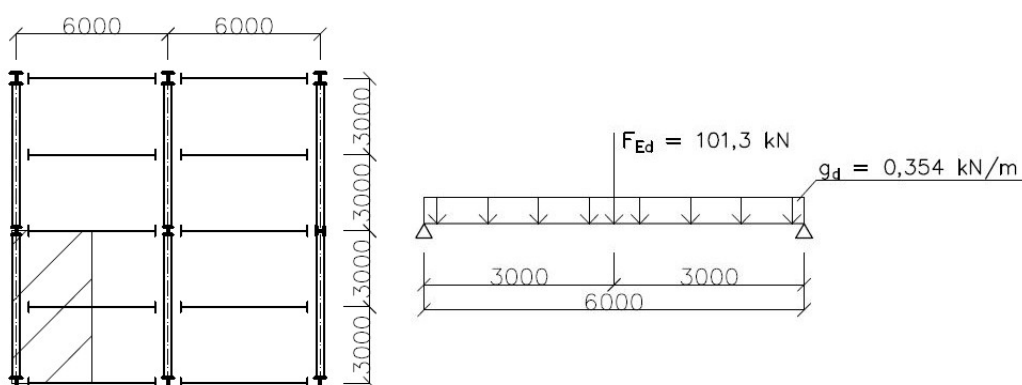
- největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max} = \frac{M_k}{n \cdot I_i} \cdot z_h = \frac{216,83 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 208,92 \cdot 10^6} \cdot (395 - 277,91) = 9,26 \text{ MPa}$
 $< 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$
 \rightarrow nosník při provozním zatížení působí pružně

- průhyb: $\delta = \frac{F_k \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_i} = \frac{142,43 \cdot 6000^3}{48 \cdot 210 \cdot 208,92 \cdot 10^6} = 14,61 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$

- průhyb od proměnného zatížení: $\delta = \frac{F_k \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_i} = \frac{59,4 \cdot 6000^3}{48 \cdot 210 \cdot 208,92 \cdot 10^6} = 6,09 \text{ mm} < \frac{L}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$
 \rightarrow vyhovuje

Profil IPE270 vyhoví.

4.3.2 Krajní průvlek



Obr. 4.14: Umístění prvku v administrativní části a statické schéma zatížení průvleku

Zatížení je uvažováno podle kap. 4.2.1.2.

NÁVRH: IPE 220, S355 $m = 26,2 \text{ kg/m}^2$ ($< 30 \text{ kg/m}^2$ - předpoklad)

$$A = 3337 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 1588 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 252 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 285,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 27,72 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

třída 1 pro ohyb k ose y

- reakce stropnice, zatížení: $R_{Ed} = F_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (g_d + \Delta q_d + q_d) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (18,915 + 14,85) \cdot 6 = 101,3 \text{ kN}$

- návrhová posouvající síla: $V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (F_{Ed} + g_0 \cdot l)$

$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (101,3 + 0,262 \cdot 1,35 \cdot 6) = 51,71 \text{ kN}$$

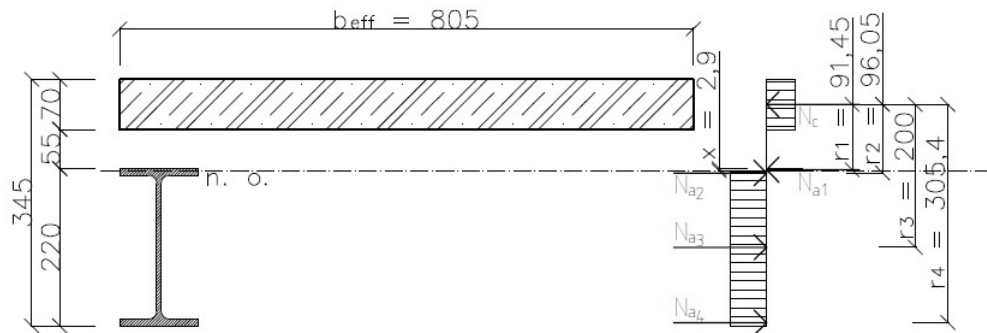
- návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot g_0 \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot F_{Ed} \cdot L$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (0,262 \cdot 1,35) \cdot 6^2 + \frac{1}{4} \cdot 101,3 \cdot 6$$

$$M_{Ed} = 153,54 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost (průřez třídy 1 - plastické posouzení)



Obr. 4.15: Plastická ohybová únosnost ocelobetonového průřezu

- účinná šířka desky: $b_{eff} = b_{e1} + b/2 = \frac{L}{8} + b/2 = \frac{6000}{8} + 110/2 = 805 \text{ mm} < 3000 \text{ mm}$

→ $b_{eff} = 805 \text{ mm}$

- předpoklad: neutrální osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$x = \frac{A \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{3337 \cdot 355}{805 \cdot 17} = 86,56 \text{ mm} > 70 \text{ mm} \rightarrow \text{předpoklad není splněn}$$

- předpoklad: neutrální osa leží v pásnici nosníku

$$N_{a1} = N_c + N_{a2}$$

$$(A - x \cdot b_f) \cdot f_{yd} = 70 \cdot b_{eff} \cdot f_{cd} + x \cdot b_f \cdot f_{yd}$$

$$x \cdot b_f \cdot f_{yd} + x \cdot b_f \cdot f_{yd} = A \cdot f_{yd} - 70 \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$x \cdot (b_f \cdot f_{yd} + b_f \cdot f_{yd}) = A \cdot f_{yd} - 70 \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$x = \frac{A \cdot f_{yd} - 70 \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}}{2 \cdot b_f \cdot f_{yd}} = \frac{3337 \cdot 355 - 70 \cdot 805 \cdot 17}{2 \cdot 110 \cdot 355} = 2,9 \text{ mm} < t_f = 9,2 \text{ mm} \rightarrow \text{předpoklad splněn}$$

- momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = N_{a,4} \cdot r_4 + N_{a,3} \cdot r_3 + N_{a,2} \cdot r_2 - N_{a,1} \cdot r_1$$

$$M_{pl,Rd} = [110 \cdot 9,2 \cdot 355 \cdot 305,4 + (3337 - 2 \cdot 110 \cdot 9,2) \cdot 355 \cdot 200 + (9,2 - 2,9) \cdot 110 \cdot 355 \cdot 96,05 - 2,9 \cdot 110 \cdot 355 \cdot 91,45] \cdot 10^{-6} = 216,21 \text{ kNm}$$

$$< M_{Ed} = 153,54 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1588 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 325,48 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 51,71 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- spřažení: hlavový přivařený trn 19/100 - S235 ($f_u = 360 \text{ MPa}$)

$$- h_{sc} = 100 \text{ mm}, d = 19 \text{ mm}$$

$$- \text{únosnost trnu v žeburu } P'_{Rd} = P_{Rd} \cdot k_t = 65,33 \cdot 0,896 = 58,51 \text{ kN}$$

$$- \text{síla na spřažení na } \frac{1}{2} \text{ nosníku: } F_{cf} = N_c = N_a = A \cdot f_{yd} = 3337 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 1184,64 \text{ kN}$$

$$- \text{potřebný počet trnů na } \frac{1}{2} \text{ nosníku: } n_f = \frac{F_{cf}}{P'_{Rd}} = \frac{1184,64}{58,51} = 20,25 \rightarrow 21 \text{ trnů}$$

$$- \text{lze umístit: } \frac{\frac{L}{2}}{250} = \frac{3000}{250} = 12 \text{ trnů} \rightarrow \text{návrh s neúplným spřažením}$$

$$- \text{plastická momentová únosnost IPE 220: } M_{a,pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} = 285,4 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 101,32 \text{ kNm}$$

- síla na neúplné spřažení na $\frac{1}{2}$ nosníku:

$$F_c = \frac{M_{Ed} - M_{a,pl,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd}} \cdot F_{cf} = \frac{159,59 - 101,32}{250,87 - 101,32} \cdot 1184,64 = 461,58 \text{ kN}$$

$$- \text{potřebný počet trnů k neúplnému spřažení: } n_f = \frac{F_c}{P'_{Rd}} = \frac{461,58}{58,51} = 7,89$$

$$- \text{počet trnů: alespoň 40\% plného potřebného počtu} \rightarrow 0,4 \cdot 20,25 = 8,1 \rightarrow 10 \text{ trnů}$$

$$- \text{vzdálenost trnů: } \frac{L}{n_f} = \frac{6000}{10} = 600 \text{ mm} > \text{minimální vzdálenost trnů } 5 \cdot d = 5 \cdot 19 = 95 \text{ mm}$$

Bude umístěno 8 trnů s osovou vzdáleností 750 mm.

POSOUZENÍ MSP

- charakteristické reakce od stropnice, zatížení:

$$R_{Ek} = F_k = \frac{1}{2} \cdot (g_k + q_k) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (14,011 + 9,9) \cdot 6 = 71,73 \text{ kN}$$

- charakteristický moment: $M_k = \frac{1}{8} \cdot g_0 \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot F_{Ed} \cdot l = \frac{1}{8} \cdot 0,262 \cdot 6^2 + \frac{1}{4} \cdot 71,73 \cdot 6$

$$M_k = 108,77 \text{ kNm}$$

Ideální průřez

- modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování a smršťování: $E_c' = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ MPa}$

- pracovní součinitel: $n = \frac{E_a}{E_c'} = \frac{210}{16} = 13,125$

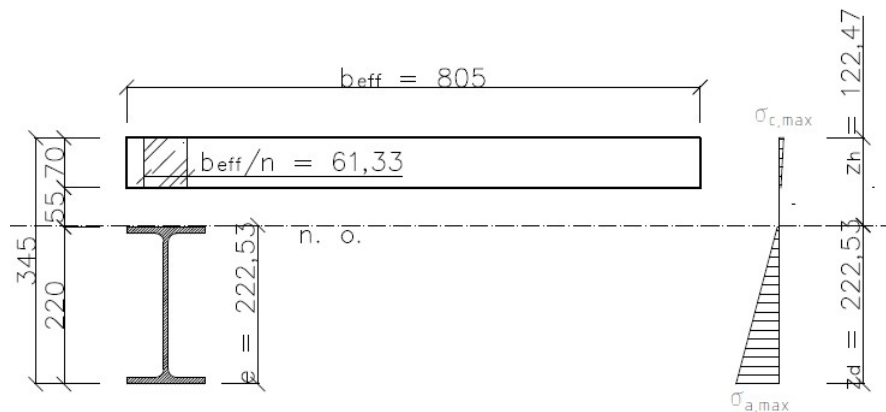
- plocha ideálního průřezu: $A_i = 3337 + 70 \cdot \frac{805}{13,125} = 7\,630,33 \text{ mm}^2$

- těžiště ideálního průřezu: $e = \frac{3337 \cdot 110 + 70 \cdot \frac{805}{13,125} \cdot (220 + 55 + \frac{70}{2})}{7\,630,33} = 222,53 \text{ mm}$

- moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = 27,72 \cdot 10^6 + 3337 \cdot (222,53 - 110)^2 + \frac{1}{13,125} \cdot \left[\frac{805 \cdot 70^3}{12} + 805 \cdot 70 \cdot (222,53 - 220 - 55 - \frac{70}{2})^2 \right]$$

$$I_i = 104,58 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Obr. 4.16: Posouzení pružného působení nosníku při provozním zatížení

- největší napětí v ocelovém profilu:

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_k}{I_i} \cdot z_d = \frac{108,77}{104,58} \cdot 222,53 = 231,45 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max} = \frac{M_k}{n \cdot I_i} \cdot z_h = \frac{108,77 \cdot 10^6}{13,125 \cdot 104,58 \cdot 10^6} \cdot (345 - 222,53) = 9,7 \text{ MPa}$
 $< 0,85 \cdot f_{ck} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$
 $\rightarrow \text{nosník při provozním zatížení působí pružně}$

- průhyb: $\delta = \frac{F_k \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_i} = \frac{71,73 \cdot 6000^3}{48 \cdot 210 \cdot 104,58 \cdot 10^6} = 14,7 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$

- průhyb od proměnného zatížení: $\delta = \frac{F_k \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_i} = \frac{29,7 \cdot 6000^3}{48 \cdot 210 \cdot 104,58 \cdot 10^6} = 6,09 \text{ mm} < \frac{L}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$

Profil IPE220 vyhoví.

5 Trapézový plech na střeše

Zatížení pro následující kapitolu bude vzato podle kap. 2.1.2.

5.1 Vaznicový systém

- ocel S320GD

- spojitý nosník o dvou polích, rozpětí $L = 3 \text{ m}$

- zatížení na celé délce: $g_k = 0,479 \text{ kN/m}^2$

(krajní profil, 2 m)

$$q_{\max,k} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{\max,k} = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{\max,k-} = -0,459 - 0,56 = -1,019 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{\max,k+} = 0,328 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)}$$

- pozn.: maximální zatížení větrem (sání) je dáno součtem vnitřního tlaku a váženého průměru ze sání na plochách F a H (příčný vítr)

- pozn.: maximální zatížení větrem (tlak) je dáno rozdílem vnitřního sání a nulového zatížení po celé délce pole na ploše H (podélný vítr)

- kombinace zatížení:

- MSÚ 1: $F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,s} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$

$$F_d = 1,35 \cdot 0,479 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,328 = 1,782 \text{ kN/m}^2$$

- MSÚ 2: $F_d = 1,0 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,v}$

$$F_d = 1,0 \cdot 0,432 - 1,5 \cdot 1,019 = -1,097 \text{ kN/m}^2$$

- MSÚ 3: $F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,q}$

$$F_d = 1,35 \cdot 0,479 + 1,5 \cdot 0,75 = 1,772 \text{ kN/m}^2$$

- MSP: $F_k = 1,0 \cdot \sum G_{k,j} + 1,0 \cdot Q_{k,s} + 1,0 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$

$$F_k = 1,0 \cdot 0,479 + 1,0 \cdot 0,56 + 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,328 = 1,236 \text{ kN/m}^2$$

- návrh: SAT50/260/0,60 (pozitiv)

Spojitý nosník o dvou polích

P POZITIV



Tloušťka mm	Vlastní tíha kN/m ²	I _y [cm ⁴] (min/max)	Přípustné rovnoměrné zatížení v kN/m ² při vzdálenosti podpor L																						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00		
0,70	0,068	26,00	1	q _d	19,18	12,28	8,52	6,26	4,80	3,79	3,07	2,54	2,13	1,82	1,57	1,36	1,20	1,06	0,95	0,85	0,77	0,70	0,63	0,58	0,53
			2	l/150	19,18	12,28	8,52	6,26	4,80	3,79	3,07	2,54	2,13	1,82	1,57	1,36	1,18	0,99	0,83	0,71	0,61	0,52	0,45	0,40	0,35
			3	l/200	19,18	12,28	8,52	6,26	4,80	3,79	3,07	2,54	2,10	1,65	1,32	1,08	0,89	0,74	0,62	0,53	0,45	0,39	0,34	0,30	0,26
			4	l/300	19,18	12,28	8,52	6,26	4,73	3,32	2,42	1,82	1,40	1,10	0,88	0,72	0,59	0,49	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18

5.2 Bezvaznicový systém

- ocel S320GD

- prostý nosník, rozpětí $L = 6 \text{ m}$

- zatížení na celé délce: $g_k = 0,479 \text{ kN/m}^2$

$$q_{\max,k} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{\max,k} = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{\max,k-} = -0,459 - 0,59 = -1,049 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{\max,k+} = 0,328 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)}$$

- pozn.: maximální zatížení větrem (sání) je dáno součtem vnitřního tlaku a sání na ploše F (příčný vítr)
- pozn.: maximální zatížení větrem (tlak) je dáno rozdílem vnitřního sání a zjednodušeně nulového zatížení po celé délce pole na ploše H (podélný vítr)

- kombinace zatížení:

- MSÚ 1: $F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,s} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$
 $F_d = 1,35 \cdot 0,479 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,328 = 1,782 \text{ kN/m}^2$
- MSÚ 2: $F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,v}$
 $F_d = 1,35 \cdot 0,479 - 1,5 \cdot 1,049 = -0,927 \text{ kN/m}^2$
- MSÚ 3: $F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,q}$
 $F_d = 1,35 \cdot 0,479 + 1,5 \cdot 0,75 = 1,772 \text{ kN/m}^2$
- MSP: $F_k = 1,0 \cdot \sum G_{k,j} + 1,0 \cdot Q_{k,s} + 1,0 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$
 $F_k = 1,0 \cdot 0,479 + 1,0 \cdot 0,56 + 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,328 = 1,236 \text{ kN/m}^2$

- návrh: T 160/260/0,75 (pozitiv)

Prostý nosník

P POZITIV



Tloušťka mm	Vlastní tíha kN/m ²	l _y [cm ⁴] (min/max)	Přípustné rovnoměrné zatížení v kN/m ² při vzdálenosti podpor L																		
			4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50		
0,75	0,107	456,73	1	q _d	3,80	3,60	3,42	3,26	3,11	2,97	2,85	2,74	2,63	2,53	2,44	2,33	2,18	2,04	1,91	1,80	1,69
			2	l/150	3,80	3,60	3,42	3,26	2,88	2,52	2,22	1,96	1,75	1,56	1,40	1,26	1,14	1,03	0,94	0,85	0,78
			3	l/200	3,80	3,35	2,88	2,48	2,16	1,89	1,66	1,47	1,31	1,17	1,05	0,94	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59
			4	l/300	2,63	2,24	1,92	1,66	1,44	1,26	1,11	0,98	0,87	0,78	0,70	0,63	0,57	0,51	0,47	0,43	0,39

5.3 Posouzení vhodnosti variant

- zatížení pro vaznice: (viz bezvaznicový systém násobený zatěžovací šířkou 3m)

- MSÚ 1: $F_d = 1,35 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,s} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$
 $F_d = 1,782 \cdot 3 = 5,346 \text{ kN/m}$
- MSÚ 2: $F_d = 1,0 \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,v}$
 $F_d = -0,927 \cdot 3 = -2,781 \text{ kN/m}^2$
- MSP: $F_k = 1,0 \cdot \sum G_{k,j} + 1,0 \cdot Q_{k,s} + 1,0 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,v}$
 $F_k = 1,236 \cdot 3 = 3,708 \text{ kN/m}$

- krajní a vrcholová vaznice:

SPOJITÝ NOSNÍK O 5 A VÍCE POLÍCH - PŘESAHY 0,6 m + 0,9 m

Profil		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		5.00	5.50	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	10.50	11.00
krajní : Z 240/2,5	1	7.20	6.09	5.23	4.81	4.43	4.09	3.79	3.52	3.28	3.06	2.86	2.48	2.16	1.90	1.67	1.49	1.33
	2	6.16	5.29	4.61	4.24	3.91	3.62	3.36	3.12	2.91	2.72	2.55	2.16	1.85	1.59	1.37	1.18	1.01
vnitřní : Z 240/2,0	3	-6.35	-5.14	-4.24	-3.89	-3.57	-3.30	-3.05	-2.83	-2.63	-2.45	-2.29	-2.00	-1.76	-1.56	-1.39	-1.25	-1.13
	4	-4.69	-3.75	-3.05	-2.78	-2.55	-2.34	-2.16	-1.99	-1.84	-1.71	-1.59	-1.38	-1.21	-1.06	-0.94	-0.84	-0.75
	5	9.91	7.44	5.73	5.07	4.51	4.03	3.61	3.25	2.94	2.66	2.42	2.02	1.70	1.44	1.24	1.07	0.93
	6	6.61	4.96	3.82	3.38	3.01	2.69	2.41	2.17	1.96	1.77	1.61	1.34	1.13	0.96	0.83	0.71	0.62

- středová vaznice:

SPOJITÝ NOSNÍK O 5 A VÍCE POLÍCH - PŘESAHY 0,6 m + 0,9 m

Profil		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		5.00	5.50	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00	10.50	11.00
krajní : Z 240/3,0	1	9.37	7.96	6.88	6.36	5.90	5.50	5.13	4.80	4.50	4.23	3.99	3.45	3.01	2.64	2.32	2.07	1.85
	2	8.48	7.30	6.38	5.89	5.46	5.07	4.73	4.42	4.14	3.88	3.65	3.12	2.68	2.32	2.01	1.74	1.50
vnitřní : Z 240/2,5	3	-8.06	-6.53	-5.38	-4.93	-4.54	-4.19	-3.87	-3.59	-3.34	-3.11	-2.91	-2.54	-2.24	-1.99	-1.77	-1.59	-1.43
	4	-6.46	-5.18	-4.23	-3.87	-3.55	-3.26	-3.01	-2.78	-2.58	-2.40	-2.23	-1.94	-1.71	-1.50	-1.34	-1.19	-1.07
	5	12.2	9.17	7.07	6.25	5.56	4.96	4.45	4.01	3.62	3.28	2.98	2.49	2.09	1.78	1.53	1.32	1.15
	6	8.14	6.12	4.71	4.17	3.71	3.31	2.97	2.67	2.41	2.19	1.99	1.66	1.40	1.19	1.02	0.88	0.76

Únosnost dle ČSN EN 1993-1-3:

Rádek č. 1 : Unosnost bez vlivu osové síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 2 : Unosnost s vlivem osové síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 3 : Unosnost pro sání bez vlivu osové síly (návrhová hodnota)

Rádek č. 4 : Unosnost pro sání s vlivem osové síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Rádek č. 5 : Maximální zatížení pro deformaci L/200 (charakteristická hodnota, unosnost dle MSU není zohledněna)

Rádek č. 6 : Maximální zatížení pro deformaci L/300 (charakteristická hodnota, unosnost dle MSU není zohledněna)

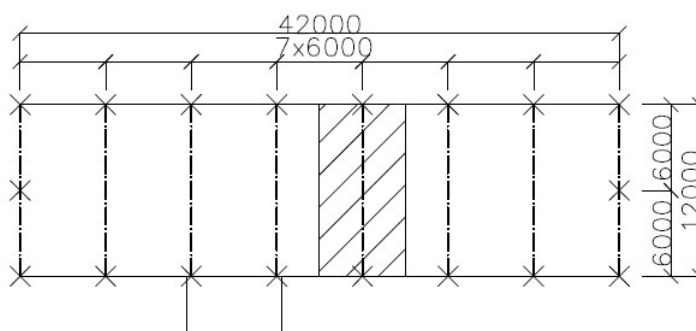
Tab. 5.1: Porovnání hmotnosti nosné střešní konstrukce

system	celková plocha TP [m ²]	vl. tíha TP [kN/m ²]	tíha TP [kN]	celk. délka vaznic [m]	vl. tíha vaznic [kN/m]	tíha vaznic [kN]	celková tíha [kN]
vaznicový	537	0,068	36,516	60,8	0,083	5,022	63,580
				174,4	0,099	17,283	
				72	0,066	4,759	
bezvaznicový	537	0,107	57,459	0	0	0	57,459

Z tabulky je patrné, že ekonomičtější, co se hmotnosti spotřebovaného materiálu týče, vyjde varianta bez vaznic. Varianta s vaznicemi je navíc pracnější, proto budu dále uvažovat právě variantu bez nich.

6 Rám

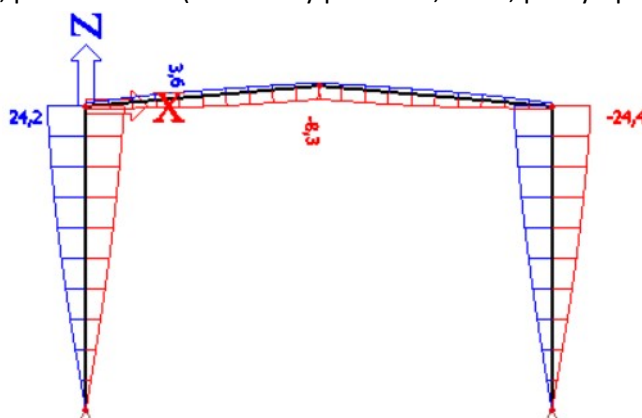
- omezení vodorovného posunu: $H/300 = 7800/300 = 26 \text{ mm}$



Obr. 6.1: Umístění prvku v konstrukci

- počáteční deformace (náklon) 1/200, nelineární výpočet

- návrh: sloupy HEA 450, příčel IPE 500 (vodorovný posun 24,4 mm, průhyb příčle 8,3 mm)



Obr. 6.2: Deformace konstrukce uz [mm]

6.1 Posouzení – sloup

NÁVRH: HEA 450, S355

$$A = 17\,800 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 2\,896 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 3\,216 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 637,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 189 \text{ mm}$$

$$W_z = 631 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

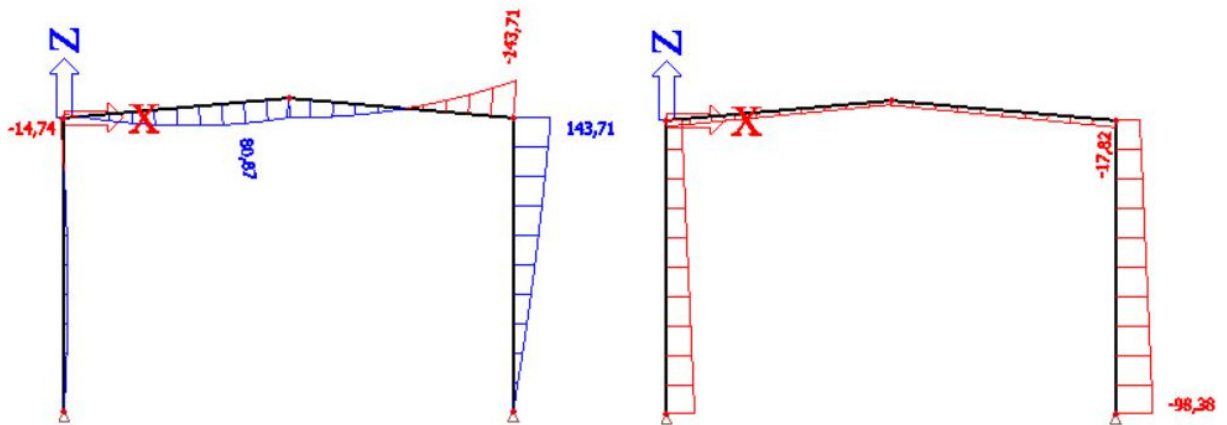
$$W_{pl,z} = 965,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 94,65 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 72,9 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ M + N

- nejnepříznivější kombinace: KZ1, nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení sních (i), příčný vítr bez vnitřního tlaku (zleva)



Obr. 6.3: Vnitřní síly na konstrukci M_y [kNm], N [kN]

- vnitřní síly: $M_{Ed} = 143,71 \text{ kN}$

$$N_{Ed} = 98,38 \text{ kN (tlak)}$$

- zatřídění průřezu:

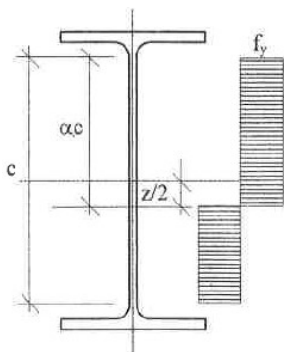
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$$

- pásnice:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{300 - 2 \cdot 27 - 11,5}{2} = 117,25 \text{ mm}$$

$$c_f/t_f = 117,25/21 = 5,583 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,323 \text{ (třída 1)}$$

- stojina:



$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 440 - 2 \cdot 21 - 2 \cdot 27 = 344 \text{ mm}$$

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{98,38}{0,0115 \cdot 355} = 24,1 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{344 + 24,1}{2} = 184,05 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{184,05}{344} = 0,535 > 0,5$$

Obr. 6.4: Zatřídění stojiny

$$c_w/t_w = 344/11,5 = 29,913 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,535 - 1} = 54,13 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 1

- dílčí únosnosti průřezu:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 17\,800 \cdot 10^{-3} = 6\,319 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 3216 \cdot 10^{-3} = 1141,68 \text{ kNm}$$

- součinitele vzpěrnosti:

$$L_y = 7,8 \text{ m}$$

$$\beta_y = 1$$

$$L_{cr,y} = \beta_y \cdot L_z = 1 \cdot 7,8 = 7,8 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 637,2}{7,8^2} = 21\,707,29 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{17\,800 \cdot 355}{21\,707,29 \cdot 10^3}} = 0,54$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,54 - 0,2) + 0,54^2] = 0,681$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,681 + \sqrt{0,681^2 - 0,54^2}} = 0,912 \leq 1$$

$$L_z = 7,8 \text{ m}$$

$$\beta_z = 1$$

$$L_{cr,z} = \beta_z \cdot L_z = 1 \cdot 7,8 = 7,8 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 94,65}{7,8^2} = 3224,41 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{17\,800 \cdot 355}{3224,41 \cdot 10^3}} = 1,4$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,4 - 0,2) + 1,4^2] = 1,684$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,684 + \sqrt{1,684^2 - 1,4^2}} = 0,382 \leq 1$$

- součinitel klopení:

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	Iz (cm4)	It (cm4)	Iw (cm6)	βz (cm)	zG (cm)	zS (cm)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)	Kw' (daN.cm)
1	CAT	0	HEA 450	<input checked="" type="checkbox"/>	20,28	9465,3	246,89	4,154E+6	0	22	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	7,8	HEA 450	<input type="checkbox"/>	20,28	9465,3	246,89	4,154E+6	0	22	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

Lateral restraints

No.	Type	x1 (m) / O	x2 (m) / O	z1 (m) / S	z2 (m) / S	Kv (kN/m)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Free	Free	Free
2	Continuous	0	7,8	-0,22	-0,22	Fixed	Free	Free	Free
3	Punctual	7,8	7,8	0	0	Fixed	Free	Free	Free

No.	x (m) / O	Ku (kN/m)	Kw (kN/m)	Kw' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Fixed	Fixed	Free	
2	7,8	Free	Fixed	Free	

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

M_{max} = 143,71 kN.m (x = 7,8 m) ; N_{max} = 0 kN (x = 0 m) ; V_{max} = -237,82 kN (x = 0 m)

External loading Internal loading

x (m)	N (kN)
0	-99,9
7,8	-65,32

x (m)	M (kN.m)
0	0
0,78	18,55
1,56	36,18
2,34	52,89

x (m)	M (kN.m)
3,12	68,68
3,9	83,53
4,68	97,44
5,46	110,42

x (m)	M (kN.m)
5,46	110,42
6,24	122,45
7,02	133,55
7,8	143,71

centric distributed loads

x1 (m)	z1 (m)	qz1 (kN/m)	x2 (m)	z2 (m)	qz2 (kN/m)	Active

Obr. 6.5: Zadání do programu LTBeamN

$$M_{cr} = 1839,3 \text{ kNm (LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2896 \cdot 355}{1839,3 \cdot 10^3}} = 0,748$$

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení b; $h/b \leq 2$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,748 - 0,2) + 0,748^2] = 0,873$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,873 + \sqrt{0,873^2 - 0,75 \cdot 0,748^2}} = 0,359 \leq 1,0$$

- součinitele interakce:

$$\Psi = 0 / (143,71) = 0$$

$$C_{my} = 0,9 \text{ (vlastní tvar s posuvem styčnicku)}$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,9 \cdot \left(1 + (0,54 - 0,2) \cdot \frac{98,38}{0,912 \cdot 6319/1} \right); 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{98,38}{0,912 \cdot 6319/1} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,905; 0,912] = 0,905$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,4}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{98,38}{0,382 \cdot 6319/1}; 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} \cdot \frac{98,38}{0,382 \cdot 6319/1} \right] = \max [0,984; 0,988]$$

$$k_{zy} = 0,988$$

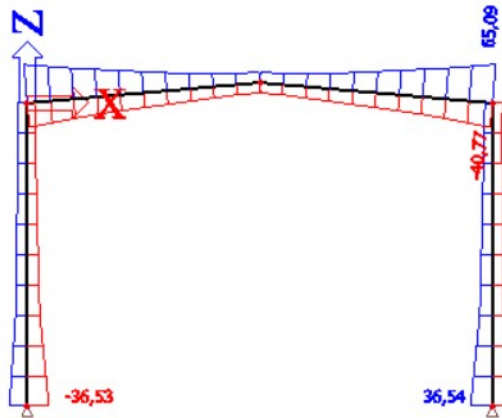
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{zy,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{98,38}{0,912 \cdot 6319/1} + 0,905 \cdot \frac{143,71}{0,359 \cdot 1141,68/1} = 0,334 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{98,38}{0,382 \cdot 6319/1} + 0,988 \cdot \frac{143,71}{0,359 \cdot 1141,68/1} = 0,385 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

POSOUZENÍ SMYKU



Obr. 6.6: Obálka posouvajících sil [kN]

$$-V_{z,Ed,max} = 36,54 \text{ kN}$$

$$- \text{smyková únosnost: } V_{Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{6578 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 1348,22 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 36,54 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.2 Posouzení – příčel

NÁVRH: IPE 500, S355

$$A = 11\,550 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 1\,928 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 2\,194 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 482 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 204 \text{ mm}$$

$$W_z = 214,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 335,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 21,42 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 43,1 \text{ mm}$$

POSOUZENÍ M + N

- nejnepříznivější kombinace: viz sloup

- vnitřní síly: $M_{Ed} = 143,71 \text{ kN}$

$$N_{Ed} = 17,82 \text{ kN (tlak)}$$

- zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$$

- pásnice:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{200 - 2 \cdot 21 - 10,2}{2} = 73,9 \text{ mm}$$

$$c_f/t_f = 73,9/16 = 4,619 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,323 \text{ (třída 1)}$$

- stojina:

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 500 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 21 = 426 \text{ mm}$$

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{17,82}{0,0102 \cdot 355} = 4,92 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{426 + 4,92}{2} = 215,46 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{215,46}{426} = 0,506 > 0,5$$

$$c_w/t_w = 426/10,2 = 41,765 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,506 - 1} = 57,82 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 1

- dílčí únosnosti průřezu:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 11\,550 \cdot 10^{-3} = 4\,100,25 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 2\,194 \cdot 10^{-3} = 778,87 \text{ kNm}$$

- součinitele vzpěrnosti:

$$L_y = 6,023 \text{ m}$$

$$\beta_y = 1$$

$$L_{cr,y} = \beta_y \cdot L_z = 1 \cdot 6,023 = 6,023 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 482}{6,023^2} = 27\,538,5 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{11\,550 \cdot 355}{27\,538,5 \cdot 10^3}} = 0,386$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,386 - 0,2) + 0,386^2] = 0,594$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,594 + \sqrt{0,594^2 - 0,386^2}} = 0,956 \leq 1$$

$$L_z = 6,023 \text{ m}$$

$$\beta_z = 1$$

$$L_{cr,z} = \beta_z \cdot L_z = 1 \cdot 6,023 = 6,023 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 21,42}{6,023^2} = 1223,81 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{11\,550 \cdot 355}{1223,81 \cdot 10^3}} = 1,830$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,83 - 0,2) + 1,83^2] = 2,452$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,452 + \sqrt{2,452^2 - 1,83^2}} = 0,245 \leq 1$$

- součinitel klopení:

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	lz (cm4)	lt (cm4)	lw (cm6)	βz (cm)	zG (cm)	zS (cm)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)	Kw' (kN.cm)
1	CAT	0	IFE 500	<input type="checkbox"/>	20,87	2141,7	89,01	1,254E+6	0	25	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	6,023	IFE 500	<input checked="" type="checkbox"/>	20,87	2141,7	89,01	1,254E+6	0	25	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

Lateral restraints

No.	Type	x1 (m)/O	x2 (m)/O	z1 (m)/S	z2 (m)/S	Kv (kN/m)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free
2	Continuous	-1E-6	6,023	0,25	0,25	Fixed	Free	Free	Free
3	Punctual	6,023	6,023	0	0	Fixed	Free	Fixed	Free
4	Continuous	6,023	12,05	0,25	0,25	Fixed	Free	Free	Free
5	Punctual	12,05	12,05	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free

No.	x (m) /O	Ku (kN/m)	Kw (kN/m)	Kw' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Free	Fixed	Free	
2	6,023	Fixed	Fixed	Free	

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

M_{max} = -143,71 kN.m (x = 12,05 m) ; N_{max} = 0 kN (x = 0 m) ; V_{max} = 299,77 kN (x = 11,44 m)

External loading Internal loading

Active Axial force diagram Active Moment diagram and Eccentric loads

x (m)	M (kN.m)	N (kN)	x (m)	M (kN.m)	N (kN)	x (m)	M (kN.m)	N (kN)	x (m)	M (kN.m)	N (kN)	x (m)	M (kN.m)	N (kN)	x (m)	M (kN.m)	N (kN)
0	-14,74	0	2,41	57,14	0	4,818	80,87	0	7,228	55,66	0	9,637	-18,43	0	10,24	-44,96	0
0,6023	7	0	3,012	67,88	0	5,421	78,79	0	7,83	41,94	0	10,24	-44,96	0	10,84	-74,68	0
1,205	26,32	0	3,614	75,41	0	6,023	73,5	0	8,432	25,02	0	10,84	-74,68	0	11,44	-107,6	0
1,807	43,19	0	4,216	79,74	0	6,625	66,18	0	9,035	4,89	0	11,44	-107,6	0	12,05	-143,71	0

Obr. 6.7: Zadání do programu LTBeamN

$$M_{cr} = 2074,6 \text{ kNm (LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 928 \cdot 355}{2074,6 \cdot 10^3}} = 0,574$$

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení c; $h/b > 2$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,574 - 0,2) + 0,574^2] = 0,757$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,757 + \sqrt{0,757^2 - 0,75 \cdot 0,574^2}} = 0,586 \leq 1,0$$

- součinitele interakce:

$$\Psi = (-14,74)/(-143,71) = 0,103$$

$$\alpha_s = 80,87/(-143,71) = -0,563$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,563) = 0,55 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,55 \cdot \left(1 + (0,386 - 0,2) \cdot \frac{17,82}{0,956 \cdot 4100,25/1} \right); 0,55 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{17,82}{0,956 \cdot 4100,25/1} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,55; 0,552] = 0,55$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,83}{0,55 - 0,25} \cdot \frac{17,82}{0,245 \cdot 4100,25/1}; 1 - \frac{0,1}{0,55 - 0,25} \cdot \frac{17,82}{0,245 \cdot 4100,25/1} \right] = \max [0,989; 0,994]$$

$$k_{zy} = 0,994$$

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

$$\frac{17,82}{0,956 \cdot 4100,25/1} + 0,55 \cdot \frac{143,71}{0,586 \cdot 778,87/1} = 0,178 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{17,82}{0,245 \cdot 4100,25/1} + 0,994 \cdot \frac{143,71}{0,586 \cdot 778,87/1} = 0,331 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

POSOUZENÍ SMYKU

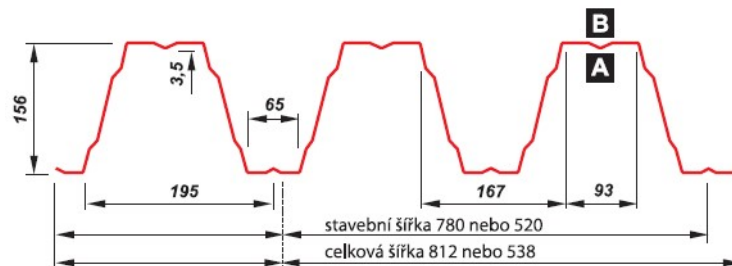
$$V_{z,Ed,max} = 65,09 \text{ kN}$$

$$\text{- smyková únosnost: } V_{Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{5987 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 1227,09 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 65,09 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7 Plášťové chování – střecha

Plášťové chování trapézového plechu umístěného na střeše haly je řešeno za pomoci publikace [1].

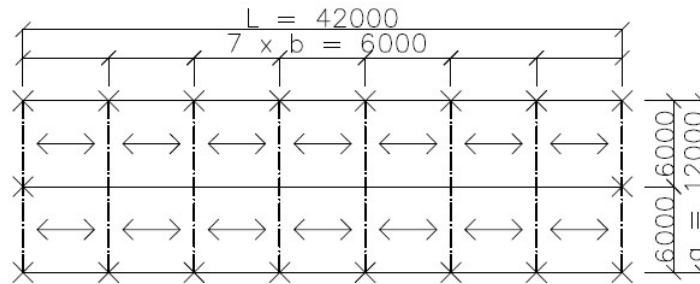
- trapézový plech: T 160/260/0,75 (pozitiv), ocel S320GD ($f_u = 390 \text{ MPa}$, $E = 205 \text{ GPa}$)



Obr. 7.1: Rozměry trapézového plechu

- délka dílu TP: 6,2 m

- šířka vlny: $d = 260 \text{ mm}$



Obr. 7.2: Trapézový plech – schéma

7.1 Návrhová smyková únosnost

7.1.1 Únosnost plechu

- přípoj TP k příčli: šrouby, $d_n = 6,3$ mm, v každém druhém žebru ($p = 520$ mm), $s_p = 0,15$ mm/kN

- návrhová smyková únosnost: $F_p = 1,9 \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 1,9 \cdot 0,39 \cdot 6,3 \cdot 0,75$

$$F_p = 3,501 \text{ kN} \leq 8,0 \text{ kN}$$

- spoj mezi TP: samořezné šrouby, $d_n = 4,8$ mm, $l_s = 600$ mm, $s_s = 0,3$ mm/kN

- počet spojovacích prostředků: $n_s = \frac{6000}{600} - 1 = 9$

- návrhová smyková únosnost: $F_s = 2,9 \cdot \left(\frac{t}{d_n}\right)^{1/2} \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 2,9 \cdot \left(\frac{0,75}{4,8}\right)^{1/2} \cdot 0,39 \cdot 4,8 \cdot 0,75$

$$F_s = 1,609 \text{ kN} \leq 3,8 \text{ kN}$$

- únosnost pro spoj mezi TP: $V_s = \frac{a}{b} \cdot (n_s \cdot F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot F_p) = \frac{12\,000}{6\,000} \cdot (9 \cdot 1,609 + \frac{1,0}{1,0} \cdot 3,501) = 35,96 \text{ kN}$

$\beta_1 = 1,0$ (součinitel zohledňující počet připojovacích prvků mezi TP a příčli na šířku TP; tabulka 5.2 – případ 2, počet připojovacích prvků na šířku TP: $n_f = 3$)

$\beta_3 = 1,0$ (pro spoje v žebrech)

- únosnost ve smyku: $V_{Rd} = V_s = 35,96 \text{ kN}$

- ověření: $\frac{0,6 \cdot a \cdot F_p}{p} \geq V_{Rd}$

$$\frac{0,6 \cdot 12\,000 \cdot 3,501}{520} = 48,48 \text{ kN} \geq 35,96 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- zhroucení profilu: $\frac{0,3 \cdot t^{1,5} \cdot a \cdot f_{yd}}{d^{0,5}} \geq V_{Rd}$

$$\frac{0,3 \cdot 0,75^{1,5} \cdot 12\,000 \cdot 0,32/1,1}{260^{0,5}} = 42,19 \text{ kN} \geq 35,96 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.1.2 Boulení

- moment setrvačnosti: $I_y = 456,73 \text{ cm}^4/\text{m}$

- moment setrvačnosti pro jednu vlnu: $I_y = \frac{456,73 \cdot 10^4}{1000} \cdot 260 = 1,187 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

- obvod vlny: $u = 500 \text{ mm}$

- ohybová tuhost: $D_x = \frac{E \cdot t^3 \cdot d}{12 \cdot (1-\nu^2) \cdot u} = \frac{205 \cdot 0,75^3 \cdot 260}{12 \cdot (1-0,3^2) \cdot 500} = 4,12 \text{ kNmm}$

$$D_y = \frac{E \cdot I_y}{d} = \frac{205 \cdot 1,187 \cdot 10^6}{260} = 935\,904,85 \text{ kNm}$$

- ověření: $\frac{14,4 \cdot a}{b^2} \cdot D_x^{1/4} \cdot D_y^{3/4} \geq V_{Rd}$

$$\frac{14,4 \cdot 12\,000}{6\,000^2} \cdot 4,118^{1/4} \cdot 935\,904,85^{3/4} = 205,75 \text{ kN} \geq 35,96 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.2 Smykové deformace

7.2.1 Poddajnost trapézového plechu

- zkroucení profilu: $c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_5 \cdot K_2}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2} = \frac{12\,000 \cdot 260^{2,5} \cdot 0,7 \cdot 4,477}{205 \cdot 0,75^{2,5} \cdot 6000^2} = 11,401 \text{ mm/kN}$

$\alpha_5 = 0,7$ (tabulka 5.11, počet délek TP: $n_l = 7$)

$K_2 = 4,477$ (tabulka 5.7; $\frac{l}{d} = \frac{93}{260} = 0,358$; $\frac{h}{d} = \frac{156}{260} = 0,6$; $\theta = 18,1^\circ$)

- smyková deformace: $c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot (1 + \nu) \cdot (1 + \frac{2 \cdot h}{d})}{E \cdot t \cdot b} = \frac{2 \cdot 12\,000 \cdot (1 + 0,3) \cdot (1 + \frac{2 \cdot 156}{260})}{205 \cdot 0,75 \cdot 6000} = 0,074 \text{ mm/kN}$

v... Poissonův součinitel pro ocel

- přípoj TP k příčli: $c_{2,1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p}{b^2} = \frac{2 \cdot 12\,000 \cdot 0,15 \cdot 520}{6000^2} = 0,052 \text{ mm/kN}$

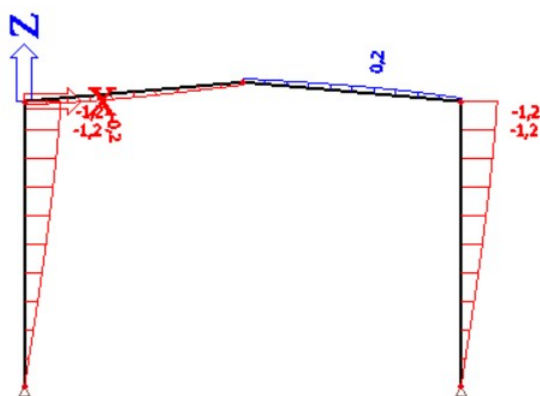
- spoj mezi TP: $c_{2,2} = \frac{s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot s_s} = \frac{0,3 \cdot 0,15 \cdot (16 - 1)}{9 \cdot 0,15 + 1,0 \cdot 0,3} = 0,409 \text{ mm/kN}$

n_{sh} ... počet šířek TP v rozměru a

- poddajnost: $c = \frac{b^2}{a^2} \cdot \sum c_{i,j} = \frac{6000^2}{12\,000^2} \cdot (11,401 + 0,074 + 0,052 + 0,409) = 2,984 \text{ mm/kN}$

7.2.2 Poddajnost rámu

- zatížení vodorovnou silou $F = 1 \text{ kN}$ v rámovém rohu



Obr. 7.3: Deformace rámu od jednotkové síly

- poddajnost: $\delta = 1,2 \text{ mm/kN}$

7.2.3 Celková deformace

- poměrná poddajnost: $r = \frac{c}{\delta} = \frac{2,984}{1,2} = 2,487$

- redukce výchylky pro budovu s osmi rámy (tabulka 7.1)

2. od kraje: $\eta > 0,732$

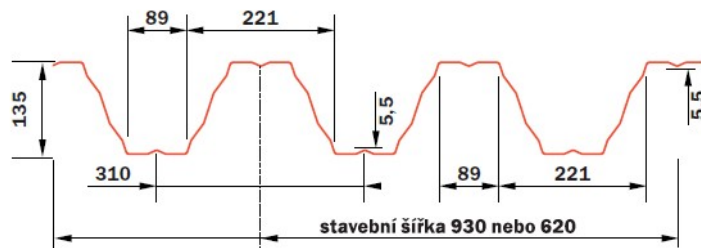
3. od kraje: $\eta > 0,927$

4. od kraje: $\eta > 0,976$

- redukce je definována pro poměrné poddajnosti $r < 2,0 \rightarrow$ při použití uvažovaného profilu plechu je jeho plášťové chování minimální \rightarrow možná řešení: tlustší a nižší plech, použití vaznicového systému

7.3 Návrhová smyková únosnost – nový plech

- návrh: T135 P/310/1,0 mm; $g_0 = 0,12 \text{ kg/m}^2$



Obr. 7.4: Rozměry nového trapézového plechu

- délka dílu TP: 6,2 m

- šířka vlny: $d = 310 \text{ mm}$

7.3.1 Únosnost plechu

- přípoj TP k příčli: šrouby, $d_n = 6,3 \text{ mm}$, v každém druhém žeburu ($p = 620 \text{ mm}$), $s_p = 0,15 \text{ mm/kN}$

- návrhová smyková únosnost: $F_p = 1,9 \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 1,9 \cdot 0,39 \cdot 6,3 \cdot 1,0$

$$F_p = 4,668 \text{ kN} \leq 8,0 \text{ kN}$$

- spoj mezi TP: samořezné šrouby, $d_n = 4,8 \text{ mm}$, $l_s = 600 \text{ mm}$, $s_s = 0,3 \text{ mm/kN}$

- počet spojovacích prostředků: $n_s = \frac{6000}{600} - 1 = 9$

- návrhová smyková únosnost: $F_s = 2,9 \cdot \left(\frac{t}{d_n}\right)^{1/2} \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 2,9 \cdot \left(\frac{1,0}{4,8}\right)^{1/2} \cdot 0,39 \cdot 4,8 \cdot 1,0$

$$F_s = 2,478 \text{ kN} \leq 3,8 \text{ kN}$$

- únosnost pro spoj mezi TP: $V_s = \frac{a}{b} \cdot (n_s \cdot F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot F_p) = \frac{12\,000}{6\,000} \cdot (9 \cdot 2,478 + \frac{1,0}{1,0} \cdot 4,668) = 53,94 \text{ kN}$

- únosnost ve smyku: $V_{Rd} = V_s = 53,85 \text{ kN}$

- ověření: $\frac{0,6 \cdot a \cdot F_p}{p} \geq V_{Rd}$

$$\frac{0,6 \cdot 12\,000 \cdot 4,668}{620} = 54,21 \text{ kN} \geq 53,94 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- zhroucení profilu: $\frac{0,3 \cdot t^{1,5} \cdot a \cdot f_{yd}}{d^{0,5}} \geq V_{Rd}$

$$\frac{0,3 \cdot 1^{1,5} \cdot 12\,000 \cdot 0,32/1,1}{310^{0,5}} = 59,48 \text{ kN} \geq 53,94 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.3.2 Boulení

- moment setrvačnosti: $I_y = 403,92 \text{ cm}^4/\text{m}$

- moment setrvačnosti pro jednu vlnu: $I_y = \frac{403,92 \cdot 10^4}{1000} \cdot 310 = 1,252 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

- obvod vlny: $u = 395 \text{ mm}$

- ohybová tuhost: $D_x = \frac{E \cdot t^3 \cdot d}{12 \cdot (1-\nu^2) \cdot u} = \frac{205 \cdot 1,0^3 \cdot 310}{12 \cdot (1-0,3^2) \cdot 395} = 14,73 \text{ kNm}$

$$D_y = \frac{E \cdot I_y}{d} = \frac{205 \cdot 1,252 \cdot 10^6}{310} = 827 \, 935,48 \text{ kNm}$$

- ověření: $\frac{14,4 \cdot a}{b^2} \cdot D_x^{1/4} \cdot D_y^{3/4} \geq V_{Rd}$

$$\frac{14,4 \cdot 12 \, 000}{6 \, 000^2} \cdot 14,73^{1/4} \cdot 827 \, 935,48^{3/4} = 258,11 \text{ kN} \geq 53,94 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.4 Smykové deformace – nový plech

7.4.1 Poddajnost trapézového plechu

- zkroucení profilu: $c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_5 \cdot K_2}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2} = \frac{12 \, 000 \cdot 310^{2,5} \cdot 0,7 \cdot 2,377}{205 \cdot 1,0^{2,5} \cdot 6000^2} = 4,578 \text{ mm/kN}$

$\alpha_5 = 0,7$ (tabulka 5.11, počet délek TP: $n_l = 7$)

$K_2 = 4,477$ (tabulka 5.7; $\frac{l}{d} = \frac{89}{310} = 0,287$; $\frac{h}{d} = \frac{135}{310} = 0,435$; $\theta = 27^\circ$)

- smyková deformace: $c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot (1+\nu) \cdot (1+\frac{2 \cdot h}{d})}{E \cdot t \cdot b} = \frac{2 \cdot 12 \, 000 \cdot (1+0,3) \cdot (1+\frac{2 \cdot 135}{310})}{205 \cdot 1,0 \cdot 6000} = 0,047 \text{ mm/kN}$

- přípoj TP k příčli: $c_{2,1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p}{b^2} = \frac{2 \cdot 12 \, 000 \cdot 0,15 \cdot 620}{6000^2} = 0,062 \text{ mm/kN}$

- spoj mezi TP: $c_{2,2} = \frac{s_s \cdot s_p \cdot (n_s h - 1)}{n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot s_s} = \frac{0,3 \cdot 0,15 \cdot (13 - 1)}{9 \cdot 0,15 + 1,0 \cdot 0,3} = 0,327 \text{ mm/kN}$

- poddajnost: $c = \frac{b^2}{a^2} \cdot \sum c_{i,j} = \frac{6000^2}{12 \, 000^2} \cdot (4,578 + 0,047 + 0,062 + 0,327) = 1,254 \text{ mm/kN}$

7.4.2 Poddajnost rámu

- poddajnost: $\delta = 1,2 \text{ mm/kN}$ (totožné jako v kap. 7.2.2)

7.4.3 Celková deformace

- poměrná poddajnost: $r = \frac{c}{\delta} = \frac{1,254}{1,2} = 1,045$

- redukce výchylky pro budovu s osmi rámy:

2. od kraje: $\eta = 0,621$

3. od kraje: $\eta = 0,851$

4. od kraje: $\eta = 0,926$

- výchylka rámu od zatížení větrem: $\Delta = u_z \cdot \eta = 24,4 \cdot 0,926 = 22,59 \text{ mm}$

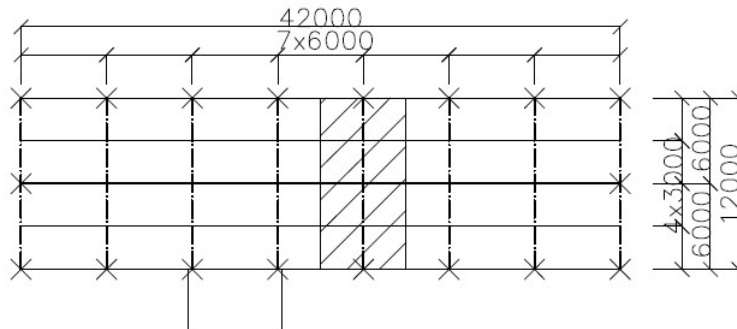
- u rámců vzdálenějších od kraje není plášťové chování trapézového plechu tak výrazné, aby bylo možné použít menších profilů pro rám, varianta bez vaznic tedy z tohoto hlediska není příliš výhodná

8 Varianta s vaznicemi

- vaznice: Z240 (podle kap. 5.3)

- trapézový plech: SAT50/260/0,60 (pozitiv), $g_0 = 0,058 \text{ kN/m}^2$ (podle kap. 5.1)

8.1 Rám



Obr. 8.1: Umístění prvku v konstrukci

- stálé zatížení na vaznice:

krajní: $g_{0,k} = (0,479 + 0,068) \cdot 1,8 = 0,985 \text{ kN/m}$ (+ přesahy vaznic podle průřezu)

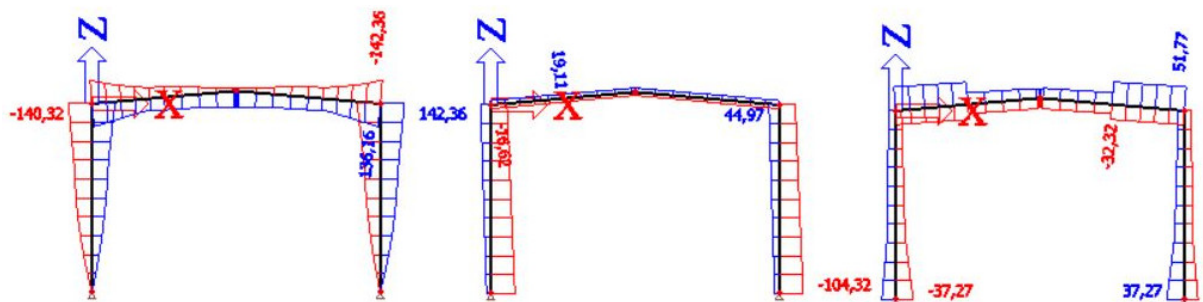
střední: $g_{0,k} = (0,479 + 0,068) \cdot 3 = 1,641 \text{ kN/m}$ (+ přesahy vaznic podle průřezu)

vrcholová: $g_{0,k} = (0,479 + 0,068) \cdot 1,5 = 0,821 \text{ kN/m}$ (+ přesahy vaznic podle průřezu)

- zatížení sněhem na vaznice podle kap. 2.1.2

- zatížení větrem na vaznice podle kap. 2.2

→ výsledné reakce do příslušných zatížení rámu

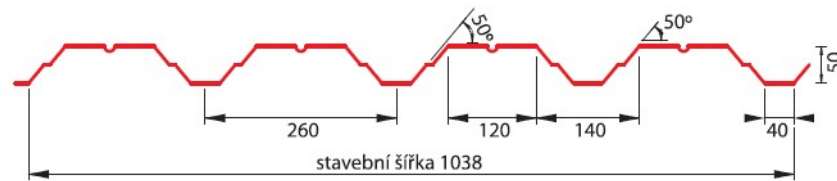


Obr. 8.2: Obálky vnitřních sil na konstrukci M_y [kNm], N [kN], V [kN]

- vnitřní síly odpovídají přibližně kap. 6, kde byla dostatečná rezerva → budou uvažovány stejné průřezy (sloup HEA 450, příčel IPE 500)

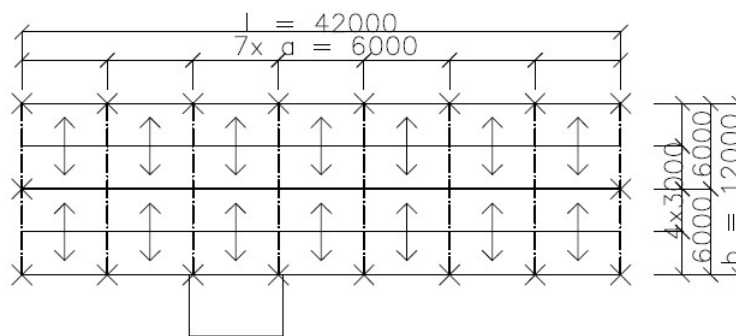
8.2 Plášťové chování – střecha

- trapézový plech: SAT 50/260/0,70 (pozitiv), ocel S320GD ($f_u = 390 \text{ MPa}$, $E = 205 \text{ GPa}$)



Obr. 8.3: Rozměry trapézového plechu

- délka dílu TP: 6,2 m
- šířka vlny: $d = 260 \text{ mm}$



Obr. 8.4: Trapézový plech – schéma

8.2.1 Návrhová smyková únosnost

- přípoj TP k vaznici: šrouby, $d_n = 6,3 \text{ mm}$, v každém druhém žebru ($p = 520 \text{ mm}$), $s_p = 0,15 \text{ mm/kN}$

$$\begin{aligned} \text{- návrhová smyková únosnost: } F_p &= 1,9 \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 1,9 \cdot 0,39 \cdot 6,3 \cdot 0,7 \\ F_p &= 3,268 \text{ kN} \leq 8,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

- spoj mezi TP: samořezné šrouby, $d_n = 4,8 \text{ mm}$, $l_s = 600 \text{ mm}$, $s_s = 0,3 \text{ mm/kN}$

$$\text{- počet spojovacích prostředků: } n_s = \left(\frac{6000}{600} - 1 \right) \cdot 2 = 18$$

$$\begin{aligned} \text{- návrhová smyková únosnost: } F_s &= 2,9 \cdot \left(\frac{t}{d_n} \right)^{1/2} \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 2,9 \cdot \left(\frac{0,7}{4,8} \right)^{1/2} \cdot 0,39 \cdot 4,8 \cdot 0,7 \\ F_s &= 1,451 \text{ kN} \leq 3,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

- únosnost pro spoj mezi TP: $V_s = n_s \cdot F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot n_p \cdot F_p = 18 \cdot 1,451 + \frac{1,0}{1,0} \cdot 6 \cdot 3,268 = 45,73 \text{ kN}$

- únosnost koncového spoje mezi TP a vaznicí: $V_p = \beta_2 \cdot n_p \cdot F_p = 1,0 \cdot 6 \cdot 3,268 = 19,61 \text{ kN}$

$\beta_2 = 1,0$ (součinitel zohledňující počet připojovacích prvků mezi TP a vaznicí na šířku TP; tabulka 5.2, počet připojovacích prvků na šířku TP: $n_f = 3$)

- únosnost spoje vaznice – příčel: $V_{pr} = 6 \cdot 4,4 = 26,4 \text{ kN}$

- únosnost ve smyku: $V_{Rd} = \min(V_s, V_p, V_{pr}) = \min(45,73; 19,61; 26,4) = 19,61 \text{ kN}$

- ověření: $\frac{0,6 \cdot b \cdot F_p}{p \cdot \alpha_3} \geq V_{Rd}$

$$\frac{0,6 \cdot 12\,000 \cdot 2,801}{520 \cdot 0,71} = 54,62 \text{ kN} \geq 19,61 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- zhroucení profilu: $\frac{0,3 \cdot t^{1,5} \cdot b \cdot f_{yd}}{d^{0,5}} \geq V_{Rd}$

$$\frac{0,3 \cdot 0,6^{1,5} \cdot 12\,000 \cdot 0,32/1,1}{260^{0,5}} = 30,19 \text{ kN} \geq 19,61 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

8.2.2 Smykové deformace

8.2.2.1 Poddajnost trapézového plechu

- zkroucení profilu: $c_{1,1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K_2}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2} = \frac{6\,000 \cdot 260^{2,5} \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,785}{205 \cdot 0,7^{2,5} \cdot 12\,000^2} = 0,679 \text{ mm/kN}$

$\alpha_1 = 1$ (tabulka 5.4, počet vaznic na délku TP: $n_p = 3$)

$\alpha_4 = 1 + 0,3 \cdot n_b = 1 + 0,3 \cdot n_b = 1,6$ (tabulka 5.8, počet délek TP: $n_b = 2$)

$K_2 = 0,785$ (tabulka 5.7; $\frac{l}{d} = \frac{120}{260} = 0,462$; $\frac{h}{d} = \frac{50}{260} = 0,192$; $\theta = 40^\circ$)

- smyková deformace: $c_{1,2} = \frac{2 \cdot a \cdot (1 + \nu) \cdot (1 + \frac{2 \cdot h}{d})}{E \cdot t \cdot b} = \frac{2 \cdot 6\,000 \cdot (1 + 0,3) \cdot (1 + \frac{2 \cdot 50}{260})}{205 \cdot 0,7 \cdot 12\,000} = 0,013 \text{ mm/kN}$

- přípoj TP k vaznici: $c_{2,1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p}{b^2} = \frac{2 \cdot 6\,000 \cdot 0,15 \cdot 520}{12\,000^2} = 0,007 \text{ mm/kN}$

- spoj mezi TP: $c_{2,2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 0,15 \cdot (6 - 1)}{2 \cdot 18 \cdot 0,15 + 1,0 \cdot 6 \cdot 0,3} = 0,063 \text{ mm/kN}$

- spoj mezi vaznicí a příčlí: $c_{2,3} = \frac{2}{n_p} \cdot (s_{pr} + \frac{s_p}{\beta_2}) = \frac{2}{6} \cdot (1,4 + \frac{0,15}{1,0}) = 0,517 \text{ mm/kN}$

- poddajnost: $c = \sum c_{i,j} = 0,679 + 0,013 + 0,007 + 0,063 + 0,517 = 1,279 \text{ mm/kN}$

8.2.2.2 Poddajnost rámu

- poddajnost: $\delta = 1,2 \text{ mm/kN}$ (podle kap. 7.2.2)

8.2.2.3 Celková deformace

- poměrná poddajnost: $r = \frac{c}{\delta} = \frac{1,279}{1,2} = 1,066$

- redukce výchylky pro budovu s osmi rámy:

2. od kraje: $\eta > 0,624$

3. od kraje: $\eta > 0,853$

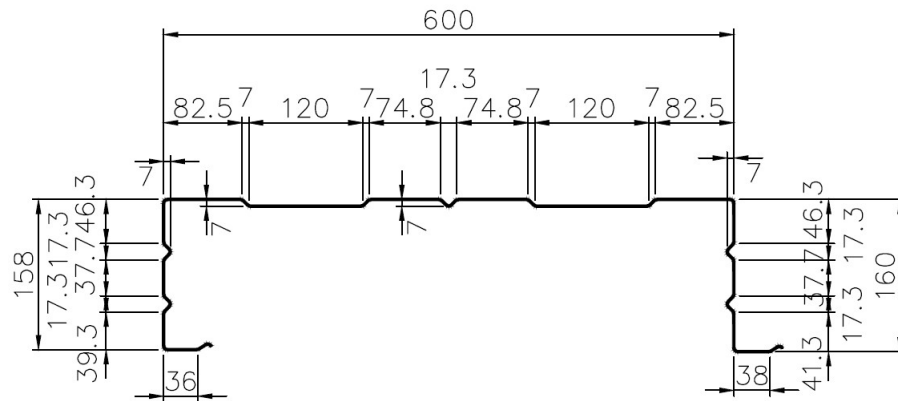
4. od kraje: $\eta > 0,928$

- u rámu vzdálenějších od kraje není plášťové chování trapézového plechu nijak výrazné

- v porovnání s variantou bez vaznic nejsou redukce o tolik výhodnější, aby se vyplatilo tuto variantu použít

- ZÁVĚR: pro řešenou halu není příliš výhodné uvažovat plášťové chování střešního trapézového plechu

9 Použití kazet místo stěnových ztužidel



Obr. 9.1: Rozměry použitých kazet

K 160/600 typ B

Prostý nosník - TLAK

Šířka podpory b = 40 mm

Tloušťka (mm)	Hmotnost (kg/m ²)	Připustné charakteristické rovnoměrné zatížení v kN/m ² při rozpětí L (m)																			
		3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0	
1	14	1	4,56	3,80	2,91	2,30	1,86	1,54	1,29	1,19	1,10	1,02	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,64	0,58	0,52	0,47
		2	4,56	3,80	2,91	2,30	1,86	1,54	1,29	1,19	1,10	1,02	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,64	0,58	0,52	0,47
		3	4,56	3,80	2,91	2,30	1,86	1,54	1,29	1,19	1,10	1,02	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,64	0,56	0,47	0,41

- moment setrvačnosti kazety:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{f \cdot l^4}{E \cdot I_y} \rightarrow I_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot \delta} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,41 \cdot 10\,000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 10\,000/250} = 6,36 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4/\text{mm}$$

9.1 Podélný směr

- zatížení větrem: $w_k = w_{e,D} + w_{e,E} = 0,459 + 0,197 = 0,656 \text{ kPa}$ (podle kap. 2.2.1.2)

- zatěžovací šířka: $b = 6,3 \text{ m}$

- zatížení panelů větrem: $T_{v,k} = 0,656 \cdot 6,3 = 4,133 \text{ kN/m}$

$$T_{v,d} = 4,133 \cdot 1,5 = 6,199 \text{ kN/m}$$

- zatížení v rovině střechy: $V_k = 4,133 \cdot 8,075 = 33,37 \text{ kN}$

$$V_d = 6,199 \cdot 8,075 = 50,06 \text{ kN}$$

- šířka: $B_u = 600 \text{ mm}$

- výška: $H = 130 \text{ mm}$

- tloušťka: $t = 1,00 \text{ mm}$

- výška diafragmatu: $B = 7800 \text{ mm}$

- šířka diafragmatu: $L = 6000 \text{ mm}$

- počet kazet na výšce diafragmatu: $n_{sh} = 7800/600 = 13$

9.1.1 Mezní stav únosnosti

- přípoj mezi sousedními kazetami: samořezné šrouby, $d_n = 4,8$ mm, $l_s = 300$ mm, $s_s = 0,3$ mm/kN

$$\text{- počet spojovacích prostředků: } n_s = \frac{6000}{300} = 20$$

$$\text{- návrhová smyková únosnost: } F_s = 2,9 \cdot \left(\frac{t}{d_n}\right)^{1/2} \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 2,9 \cdot \left(\frac{1,0}{4,8}\right)^{1/2} \cdot 0,39 \cdot 4,8 \cdot 1,0$$

$$F_s = 2,478 \text{ kN} \leq 3,8 \text{ kN}$$

- přípoj kazet ke sloupu: šrouby, $d_n = 6,3$ mm, $p = 200$ mm; $s_p = 0,15$ mm/kN

$$\text{- návrhová smyková únosnost: } F_p = 1,9 \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 1,9 \cdot 0,39 \cdot 6,3 \cdot 1,0$$

$$F_p = 4,668 \text{ kN} \leq 8,0 \text{ kN}$$

- maximální smykový tok:

$$T_v = \frac{8,43 \cdot E}{B_u^2} \cdot \sqrt[4]{I \cdot t^9} = \frac{8,43 \cdot 210\,000}{600^2} \cdot \sqrt[4]{6,36 \cdot 1,0^9} = 7,809 \text{ kN/m} > T_{v,d} = 6,199 \text{ kN/m}$$

- únosnost pro spoj mezi kazetami: $V_s = n_s \cdot F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot n_p \cdot F_p = 20 \cdot 2,478 + \frac{0,3}{0,667} \cdot 2 \cdot 4,668 = 53,76$ kN

$$\beta_1 = 0,3 \text{ (pro } n_f = 3)$$

$$\beta_3 = \frac{n_f - 1}{n_f} = \frac{3 - 1}{3} = 0,667$$

n_p ... počet sloupů v rámci jednoho diafragmatu

- únosnost přípoje kazet ke sloupu: $V_p = 2 \cdot n_{sh} \cdot n_f \cdot F_p = 2 \cdot 13 \cdot 3 \cdot 4,668 = 364,1$ kN

n_f ... počet přípoju široké pásnice kazety ke sloupu na jednom konci

- smyková únosnost pro spoje: $V_{Rd} = \min(V_s; V_p) = \min(53,76; 364,1) = 53,76$ kN $> V_d = 5,06$ kN

9.1.2 Mezní stav použitelnosti (průhyb)

- omezení smykového toku: $T_v \leq \frac{2000 \cdot L \cdot B_u}{375 \cdot l_s \cdot (B - B_u)} = \frac{2000 \cdot 6000 \cdot 600}{375 \cdot 300 \cdot (7800 - 600)} = 8,889$ kN/m $> T_{v,k} = 4,113$ kN

- smyková deformace: $c_{1,2} = \frac{2 \cdot B \cdot (1 + \nu)}{E \cdot t \cdot L} = \frac{2 \cdot 7\,800 \cdot (1 + 0,3)}{210 \cdot 1,0 \cdot 6\,000} = 0,016$ mm/kN

- přípoj kazety ke sloupu: $c_{2,1} = \frac{2 \cdot B \cdot s_p \cdot p}{L^2} = \frac{2 \cdot 7\,800 \cdot 0,15 \cdot 200}{6\,000^2} = 0,013$ mm/kN

- spoj mezi kazetami: $c_{2,2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 0,15 \cdot (13 - 1)}{2 \cdot 20 \cdot 0,15 + 0,3 \cdot 2 \cdot 0,3} = 0,175$ mm/kN

- celková poddajnost: $c = \sum c_{i,j} = 0,016 + 0,013 + 0,175 = 0,204$ mm/kN

- výchylka: $\Delta = V_k \cdot c = 33,37 \cdot 0,204 = 6,81$ mm = H/1146 (vyhovuje, není třeba použít stěnových ztužidel)

9.2 Příčný směr

- zatížení větrem: $w_k = w_{e,D} + w_{e,E} = 0,497 + 0,272 = 0,769$ kPa (podle kap. 2.2.2.1)

- zatěžovací šířka: $b = 3,3$ m (zbytek přebírají sousední rámy)

- zatížení panelů větrem: $T_{v,k} = 0,769 \cdot 3,3 = 2,538$ kN/m

$$T_{v,d} = 2,538 \cdot 1,5 = 3,807 \text{ kN/m}$$

- zatížení v rovině střechy: $V_k = 2,538 \cdot 7,8 = 19,79 \text{ kN}$
 $V_d = 3,807 \cdot 7,8 = 29,69 \text{ kN}$

- šířka: $B_u = 600 \text{ mm}$
- výška: $H = 130 \text{ mm}$
- tloušťka: $t = 1,00 \text{ mm}$

- výška diafragmatu: $B = 7800 \text{ mm}$
- šířka diafragmatu: $L = 6000 \text{ mm}$

- počet kazet na výšku diafragmatu: $n_{sh} = 7800/600 = 13$

9.2.1 Mezní stav únosnosti

- přípoj mezi sousedními kazetami: samořezné šrouby, $d_n = 4,8 \text{ mm}$, $l_s = 300 \text{ mm}$, $s_s = 0,3 \text{ mm/kN}$

- počet spojovacích prostředků: $n_s = \frac{6000}{300} = 20$

- návrhová smyková únosnost: $F_s = 2,9 \cdot \left(\frac{t}{d_n}\right)^{1/2} \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 2,9 \cdot \left(\frac{1,0}{4,8}\right)^{1/2} \cdot 0,39 \cdot 4,8 \cdot 1,0$

$$F_s = 2,478 \text{ kN} \leq 3,8 \text{ kN}$$

- přípoj kazet ke sloupu: šrouby, $d_n = 6,3 \text{ mm}$, $p = 200 \text{ mm}$; $s_p = 0,15 \text{ mm/kN}$

- návrhová smyková únosnost: $F_p = 1,9 \cdot f_u \cdot d_n \cdot t = 1,9 \cdot 0,39 \cdot 6,3 \cdot 1,0$

$$F_p = 4,668 \text{ kN} \leq 8,0 \text{ kN}$$

- maximální smykový tok:

$$T_v = \frac{8,43 \cdot E}{B_u^2} \cdot \sqrt[4]{I \cdot t^9} = \frac{8,43 \cdot 210\,000}{600^2} \cdot \sqrt[4]{6,36 \cdot 1,0^9} = 7,809 \text{ kN/m} > T_{v,d} = 3,807 \text{ kN/m}$$

- únosnost pro spoj mezi kazetami: $V_s = n_s \cdot F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} \cdot n_p \cdot F_p = 20 \cdot 2,478 + \frac{0,3}{0,667} \cdot 2 \cdot 4,668 = 53,76 \text{ kN}$

$$\beta_1 = 0,3 \text{ (pro } n_f = 3)$$

$$\beta_3 = \frac{n_f - 1}{n_f} = \frac{3 - 1}{3} = 0,667$$

n_p ... počet sloupů v rámci jednoho diafragmatu

- únosnost přípoje kazet ke sloupu: $V_p = 2 \cdot n_{sh} \cdot n_f \cdot F_p = 2 \cdot 13 \cdot 3 \cdot 4,668 = 364,1 \text{ kN}$

n_f ... počet přípojů široké pásnice kazety ke sloupu na jednom konci

- smyková únosnost pro spoje: $V_{Rd} = \min(V_s; V_p) = \min(53,76; 364,1) = 53,76 \text{ kN} > V_d = 29,69 \text{ kN}$

9.2.2 Mezní stav použitelnosti (průhyb)

- omezení smykového toku: $T_v \leq \frac{2000 \cdot L \cdot B_u}{375 \cdot l_s \cdot (B - B_u)} = \frac{2000 \cdot 6000 \cdot 600}{375 \cdot 300 \cdot (7800 - 600)} = 8,889 \text{ kN/m} > T_{v,k} = 2,538 \text{ kN}$

- smyková deformace: $c_{1,2} = \frac{2 \cdot B \cdot (1 + \nu)}{E \cdot t \cdot L} = \frac{2 \cdot 7\,800 \cdot (1 + 0,3)}{210 \cdot 1,0 \cdot 6\,000} = 0,016 \text{ mm/kN}$

- přípoj kazety ke sloupu: $c_{2,1} = \frac{2 \cdot B \cdot s_p \cdot p}{L^2} = \frac{2 \cdot 7\,800 \cdot 0,15 \cdot 200}{6\,000^2} = 0,013 \text{ mm/kN}$

- spoj mezi kazetami: $c_{2,2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 0,15 \cdot (13 - 1)}{2 \cdot 20 \cdot 0,15 + 0,3 \cdot 2 \cdot 0,3} = 0,175 \text{ mm/kN}$

- celková poddajnost: $c = \sum c_{i,j} = 0,016 + 0,013 + 0,175 = 0,204 \text{ mm/kN}$

- výchylka: $\Delta = V_k \cdot c = 19,79 \cdot 0,204 = 4,04 \text{ mm} = H/1932$ (vyhovuje, není třeba použít štítové ztužidlo)

10 Administrativní část

Všechny přípoje v administrativní části jsou uvažovány jako kloubové.

10.1 Vazníky

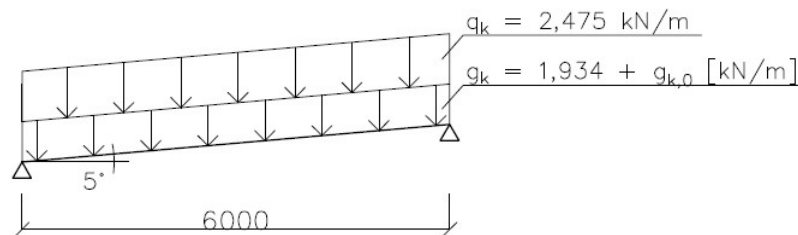
- nejnepříznivější kombinace 1 = nepříznivé stálé zatížení + užité zatížení (horní pásnice držena trapézovými plechy, bez klopení): MSÚ: $f_d = 1,35 \cdot \sum g_{k,j} + 1,5 \cdot q_{k,q}$

$$\text{MSP: } f_d = 1,0 \cdot \sum g_{k,j}$$

- nejnepříznivější kombinace 2 = příznivé stálé zatížení + sání větru (horní pásnice držena trapézovými plechy, s klopením): MSÚ: $f_d = 1,0 \cdot \sum g_{k,j} + 1,5 \cdot q_{k,v}$

10.1.1 Krajní vazník

KOMBINACE ZATÍŽENÍ 1



Obr. 10.1: Zatížení krajního vazníku (KZ1)

- zatěžovací šířka: $b = 3,3 \text{ m}$

- vlastní tíha střešního pláště: $g_{p,k} = (0,479 + 0,107) \cdot 3,3 = 1,934 \text{ kN/m}$

- odhad vlastní tíhy nosníku: $g_{0,k} = 0,2 \text{ kN/m}$

- užité zatížení: $q_k = 0,75 \cdot 3,3 = 2,475 \text{ kN/m}$

- návrhové zatížení: $(g_d + q_d) = 1,35 \cdot (1,934 + 0,2) + 1,5 \cdot 2,4 = 6,593 \text{ kN/m}$

- návrhová posouvající síla: $V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (g_d + q_d) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 6,593 / (\cos 5) \cdot 6 = 19,85 \text{ kN}$

- návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 6,593 / (\cos 5) \cdot 6^2 = 29,78 \text{ kNm}$

- potřebný průřezový modul: $W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{29,78 \cdot 10^6}{355} = 83\,892,48 \text{ mm}^3$

NÁVRH: **IPE 160, S355** $m = 15,8 \text{ kg/m}^2$ ($< 20 \text{ kg/m}^2$ - předpoklad)

$$A = 2009 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 966 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 123,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 8,693 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

třída 1 pro ohyb k ose y

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 108,7 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 38,59 \text{ kNm} > M_{Ed} = 29,78 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost: $V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{966 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 197,99 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 19,85 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

POSOUZENÍ MSP (průhyb)

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(1,934 + 0,15) / (\cos 5^\circ) \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 8,693 \cdot 10^6} = 19,34 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

KOMBINACE ZATÍŽENÍ 2

- vlastní tíha střešního pláště: $g_{p,k} = (0,479 + 0,107) \cdot 3,3 = 1,934 \text{ kN/m}$

- vlastní tíha nosníku: $g_{0,k} = 0,158 \text{ kN/m}$

- zatížení větrem (podle kap. 2.2.1.2 a 2.2.2.2):

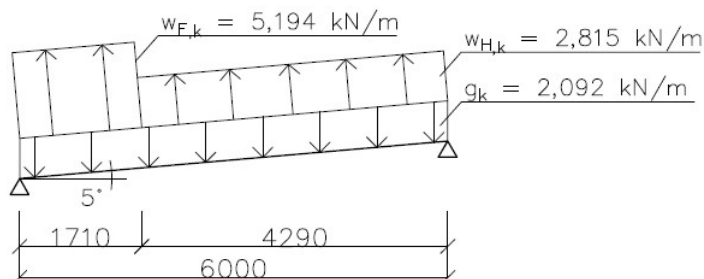
$$\text{podélný: } w_{F+H,k} = 1,26 \cdot 1,05 + 2,04 \cdot 0,459 = 2,259 \text{ kN/m}$$

$$w_{G+H,k} = 1,26 \cdot 0,853 + 2,04 \cdot 0,459 = 2,011 \text{ kN/m}$$

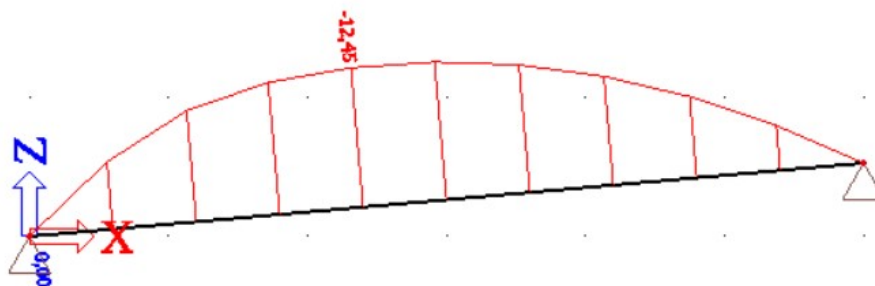
$$\text{příčný: } w_{F,k} = 3,3 \cdot (1,115 + 0,459) = 5,194 \text{ kN/m}$$

$$w_{H,k} = 3,3 \cdot (0,394 + 0,459) = 2,815 \text{ kN/m}$$

- je patrné, že zatížení příčným větrem je pro konstrukci nepříznivější



Obr. 10.2: Zatížení krajního vazníku (KZ2)



Obr. 10.3: Průběh momentu na krajním vazníku (KZ2)

- návrhový moment: $M_{Ed} = 12,45 \text{ kNm}$

POSOUZENÍ MSÚ

- křivka klopení: b ($h/b \leq 2$)

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	iz (cm4)	It (cm4)	Iw (cm6)	β_z (cm)	zG (cm)	zS (cm)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)	Kv' (daN.cm)
1	CAT	0	IPE 160	<input type="checkbox"/>	6,831	68,31	3,579	3977,1	0	8	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	6,023	IPE 160	<input checked="" type="checkbox"/>	6,831	68,31	3,579	3977,1	0	8	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

Lateral restraints
 Add Restraint Edit Restraint 1 Remove Restraint 1 Reference of the ordinate z Shear centre (S)

No.	Type	x1 (m) /O	x2 (m) /O	z1 (m) /S	z2 (m) /S	Kv (kN/m)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free
2	Continuous	0	6,023	0,08	0,08	Fixed	Free	Free	Free
3	Punctual	6,023	6,023	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free

Supports
 Add Support Edit Support 2 Remove Support 2

No.	x (m) /O	Ku (kN/m)	Kv (kN/m)	Kw' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Fixed	Fixed	Free	
2	6,023	Fixed	Fixed	Free	

krajni_vaznk_1.kbn
 USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

External loading Internal loading
 Active Axial force diagram Active Moment diagram and Eccentric loads Reference of the ordinate z Shear centre (S)

x (m)	N (kN)
0	0
6,023	0

x (m)	M (kN.m)
0	0
2,409	-12,45
4,216	-9,72
6,023	0

x (m)	M (kN.m)
0,6023	-6
3,012	-12,32
4,818	-7,26
6,023	0

x1 (m)	z1 (m)	qz1 (kN/m)	x2 (m)	z2 (m)	qz2 (kN/m)	Active
1,205	-9,93	3,614	-11,41	5,421	-4,02	<input checked="" type="checkbox"/>
1,807	-11,81	4,216	-9,72	6,023	0	<input type="checkbox"/>

Obr. 10.4: Zadání do programu LTBeamN

- kritický moment (LTBeam): $M_{cr} = 22,76$ kNm

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení b)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{123,9 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{22,76}} = 1,39$$

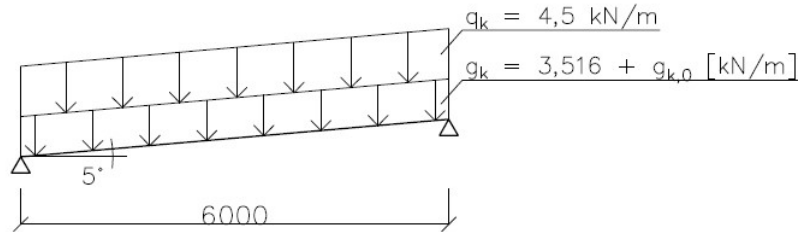
$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,39 - 0,2) + 1,39^2] = 1,669$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,669 + \sqrt{1,669^2 - 0,75 \cdot 1,39^2}} = 0,354 \leq 1,0 \wedge \leq 1 / \bar{\lambda}_{LT}^2 = 0,518$$

- moment únosnosti na klopení:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,354 \cdot 123,9 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 15,57 \text{ kNm} > M_{Ed} = 12,45 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

10.1.2 Střední vazníky



Obr. 10.5: Zatížení středních vazníků

- zatěžovací šířka: $b = 6 \text{ m}$

- vlastní tíha střešního pláště: $g_{p,k} = (0,479 + 0,107) \cdot 6 = 3,516 \text{ kN/m}$

- odhad vlastní tíhy nosníku: $g_{0,k} = 0,25 \text{ kN/m}$

- užité zatížení: $q_k = 0,75 \cdot 6 = 4,5 \text{ kN/m}$

- návrhové zatížení: $(g_d + q_d) = 1,35 \cdot (3,516 + 0,25) + 1,5 \cdot 4,5 = 11,834 \text{ kN/m}$

- návrhová posouvající síla: $V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (g_d + q_d) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 11,834 / (\cos 5) \cdot 6 = 35,64 \text{ kN}$

- návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) l^2 = \frac{1}{8} \cdot 11,834 / (\cos 5) \cdot 6^2 = 53,46 \text{ kNm}$

- potřebný průřezový modul: $W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{53,46 \cdot 10^6}{355} = 150\,581,46 \text{ mm}^3$

NÁVRH: **IPE 200, S355** $m = 22,4 \text{ kg/m}^2 (< 25 \text{ kg/m}^2 - \text{předpoklad})$

$$A = 2848 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 1400 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 194,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 19,43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

třída 1 pro ohyb k ose y

POSOUZENÍ MSÚ

- momentová únosnost:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 194,3 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 68,98 \text{ kNm} > M_{Ed} = 53,46 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- smyková únosnost: $V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1400 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 286,94 \text{ kN} \gg V_{Ed} = 35,64 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

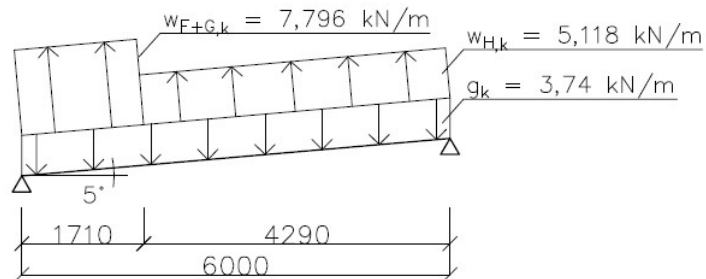
POSOUZENÍ MSP (průhyb)

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(3,516 + 0,224) / (\cos 5) \cdot 6000^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 19,43 \cdot 10^6} = 15,53 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

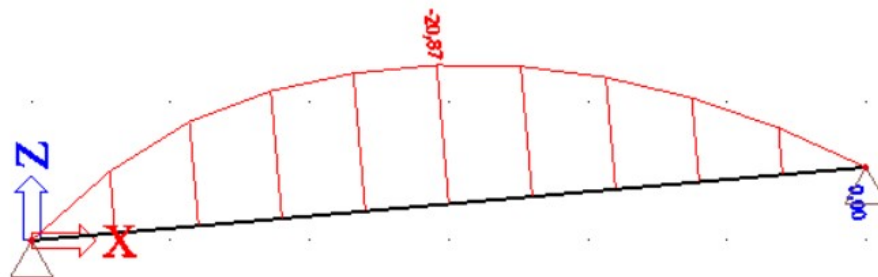
KOMBINACE ZATÍŽENÍ 2

- vlastní tíha střešního pláště: $g_{p,k} = (0,479 + 0,107) \cdot 6 = 3,516 \text{ kN/m}$

- vlastní tíha nosníku: $g_{0,k} = 0,224 \text{ kN/m}$
- zatížení příčným větrem (podle kap. 2.2.2.2):
 - $w_{F+G,k} = 0,975 \cdot (1,115 + 0,459) + 5,025 \cdot (0,787 + 0,459) = 7,796 \text{ kN/m}$
 - $w_{H,k} = 6 \cdot (0,394 + 0,459) = 5,118 \text{ kN/m}$
- je patrné, že zatížení příčným větrem je pro konstrukci nepříznivější



Obr. 10.6: Zatížení krajního vazníku (K22)



Obr. 10.7: Průběh momentu na krajním vazníku (K22)

- návrhový moment: $M_{Ed} = 20,87 \text{ kNm}$

POSOUZENÍ MSÚ

- křivka klopení: b ($h/b \leq 2$)

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	tz (cm4)	It (cm4)	Iw (cm6)	βz (cm)	zG (cm)	zS (cm)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)	Kw' (daN.cm)
1	CAT	0	IPE 200	<input type="checkbox"/>	8,557	142,37	6,884	13052	0	10	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	6,023	IPE 200	<input checked="" type="checkbox"/>	8,557	142,37	6,884	13052	0	10	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

USER :
COMPANY :
PROJECT :
PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

Lateral restraints

No.	Type	x1 (m) / O	x2 (m) / O	z1 (m) / S	z2 (m) / S	Kv (kN/m)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free
2	Continuous	0	6,023	0,1	0,1	Fixed	Free	Free	Free
3	Punctual	6,023	6,023	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free

No.	x (m) / O	Ku (kN/m)	Kw (kN/m)	Kw' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Fixed	Fixed	Free	
2	6,023	Fixed	Fixed	Free	

USER :
COMPANY :
PROJECT :
PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

External loading

x (m)	N (kN)
0	0
6,023	0

x (m)	M (kN.m)	x (m)	M (kN.m)	x (m)	M (kN.m)
0	0	2,409	-20,74	4,216	-16,83
0,6023	-9,28	3,012	-20,87	4,818	-12,65
1,205	-15,67	3,614	-19,57	5,421	-7,04
1,807	-19,18	4,216	-16,83	6,023	0

Eccentric distributed loads

x1 (m)	z1 (m)	qz1 (kN/m)	x2 (m)	z2 (m)	qz2 (kN/m)	Active

Obr. 10.8: Zadání do programu LTBeamN

- kritický moment (LTBeam): $M_{cr} = 39,04$ kNm

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení b)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{194,3 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{39,04}} = 1,329$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,329 - 0,2) + 1,329^2] = 1,575$$

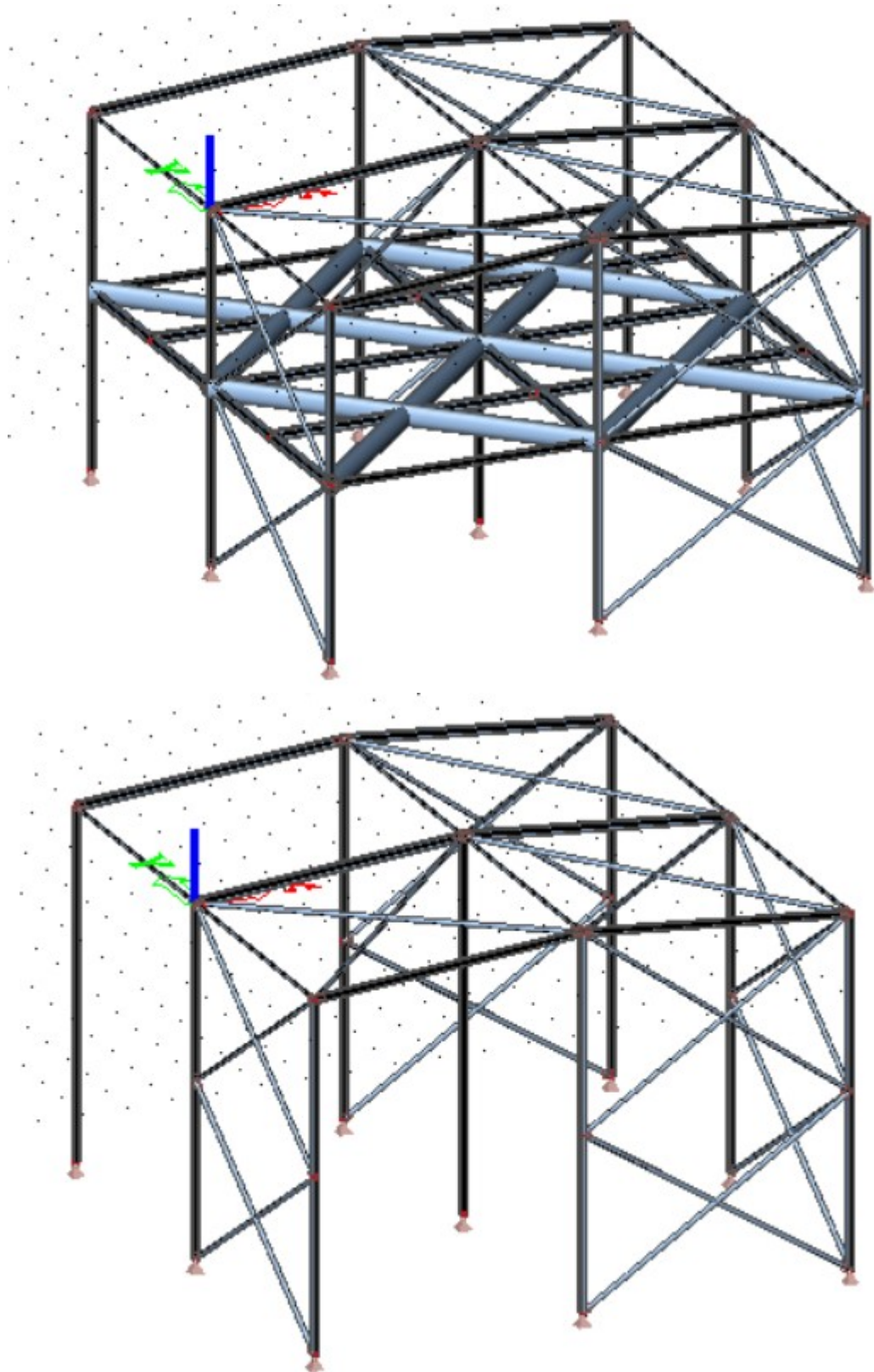
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,575 + \sqrt{1,575^2 - 0,75 \cdot 1,329^2}} = 0,377 \leq 1,0 \wedge \leq 1 / \bar{\lambda}_{LT}^2 = 0,566$$

- moment únosnosti na klopení:

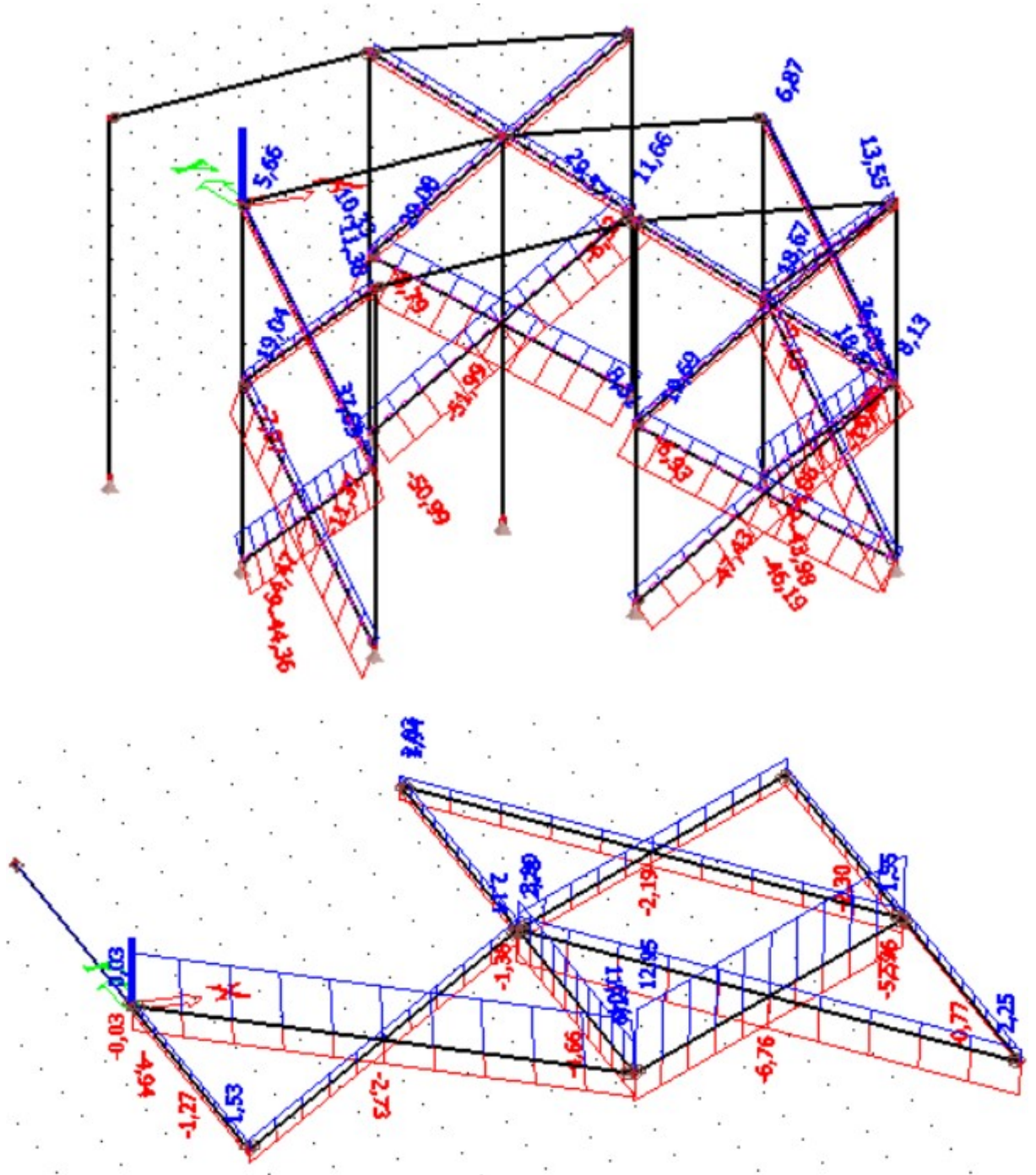
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,377 \cdot 194,3 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 26,02 \text{ kNm} > M_{Ed} = 20,87 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

10.2 Ztužidla

- 3D model v programu SCIA
- betonová deska nahrazena ztužidly velkého průřezu
- veškeré přípoje kloubové



Obr. 10.9: 3D model v programu SCIA (s a bez konstrukcí stropů)



Obr. 10.10: Obálky normálových sil na stěnových a střešních ztužidlech [kN]

- posouzení bude provedeno pro stěnová „X“ ztužidla v podélném a příčném směru (horní a dolní), střešní „X“ ztužidla (maximální účinky) a střešní I ztužidla (maximální účinky)
- u střešních ztužidel rozhoduje štíhlost, proto je nadbytečné posuzovat více průřezů

Použité vzorce

- tlačené průřezy:

$$\text{- vzpěrná délka: } L_{cr} = L_{teor} \cdot \left(\sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{N_{c,Ed}}} \right)$$

$$\text{- pružná kritická síla: } N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

$$\text{- poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\text{- } \phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

α ... součinitel imperfekce ($\alpha = 0,49$ pro křivku vzpěrné pevnosti c)

$$\text{- součinitel vzpěrnosti: } \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}}$$

$$\text{- vzpěrná tlaková únosnost: } N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

- tažené průřezy:

$$\text{- tahová únosnost: } N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Tab. 10.1: Únosnost ztužidel v tahu

prut	N_{Ed} (tah)	PROFIL	A mm ²	f_{yd} Mpa	$N_{t,Rd}$ kN	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	posouzení
I	6,19	TR76x3,2	732	355	259,86	0,02	<1
$X_{střecha}$	12,95	TR 102x3,6	1113	355	395,12	0,03	<1
X_{dolni}	37,56	TR 102x3,6	1113	355	395,12	0,10	<1
X_{horni}	12,27	TR 89x3,6	966	355	342,93	0,04	<1

	vložené hodnoty
	vypočtené hodnoty
	srovnávané hodnoty

Tlaková únosnost ztužidel (podle tab. 10.2)

- pro „X“ ztužidla ve střešní rovině je rozhodující štíhlost (nemá proto smysl hledat případné další nepříznivější kombinace)

- pro stěnová „X“ ztužidla je kombinace s největší tlakovou silou zároveň nejnepříznivější kombinací (ověřováno výpočty, pro jednoduchost a přehlednost není uvedeno v tabulce)

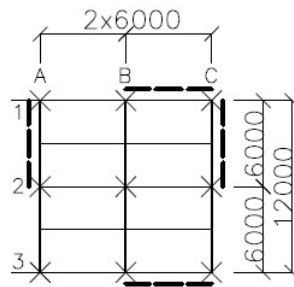
- v tabulce je vždy uveden výpočet pro největší tlakovou sílu a pro nejnepříznivější poměr tlak/tah

Tab. 10.2: Únosnost ztužidel v tlaku

prut	$N_{c,Ed}$ kN	PROFIL	A mm ²	I mm ⁴	f_{yd} Mpa	L_{teor} mm	$N_{t,Ed}$ kN	L_{cr}/L	L_{cr} mm	N_{cr} kN	$\bar{\lambda}$	ϕ	χ	$N_{b,rd}$ kN	$N_{ed}/N_{b,rd}$	posouzení	i mm	λ	posouzení
I	4,66	TR 76x3,2	732	4,86E+05	355	6000	-	1,000	6000	27,98	3,05	5,84	0,092	24,01	0,19	<1	25,8	232,56	≤ 250
$X_{střecha}$	6,76	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	8502	12,95	0,500	4251	154,84	1,60	2,12	0,285	112,59	0,06	<1	34,8	122,16	≤ 250
	5,49	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	8502	2,78	0,788	6696	62,41	2,52	4,23	0,131	51,74	0,11	<1	34,8	192,40	≤ 250
$X_{pric,dolni}$	51,99	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	7156	19,71	0,846	6054	76,35	2,27	3,60	0,157	61,92	0,84	<1	34,8	173,96	≤ 250
	18,52	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	7156	-	1,000	7156	54,64	2,69	4,73	0,116	45,88	0,40	<1	34,8	205,63	≤ 250
$X_{pric,horni}$	8,79	TR 89x3,6	966	8,82E+05	355	7455	7,54	0,597	4452	92,22	1,93	2,78	0,209	71,61	0,12	<1	30,2	147,42	≤ 250
	3,69	TR 89x3,6	966	8,82E+05	355	7455	-	1,000	7455	32,89	3,23	6,46	0,083	28,47	0,13	<1	30,2	246,85	≤ 250
$X_{pod,dolni}$	64,47	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	7156	31,07	0,799	5718	85,57	2,15	3,29	0,173	68,45	0,94	<1	34,8	164,32	≤ 250
	32,06	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	7156	-	1,000	7156	54,64	2,69	4,73	0,116	45,88	0,70	<1	34,8	205,63	≤ 250
$X_{pod,horni}$	11,37	TR 89x3,6	966	8,82E+05	355	7156	11,16	0,514	3676	135,30	1,59	2,11	0,286	98,24	0,12	<1	30,2	121,71	≤ 250
	2,30	TR 89x3,6	966	8,82E+05	355	7156	-	1,000	7156	35,70	3,10	6,01	0,090	30,71	0,07	<1	30,2	236,95	≤ 250

- vložené hodnoty
- vypočtené hodnoty
- porovnávané hodnoty

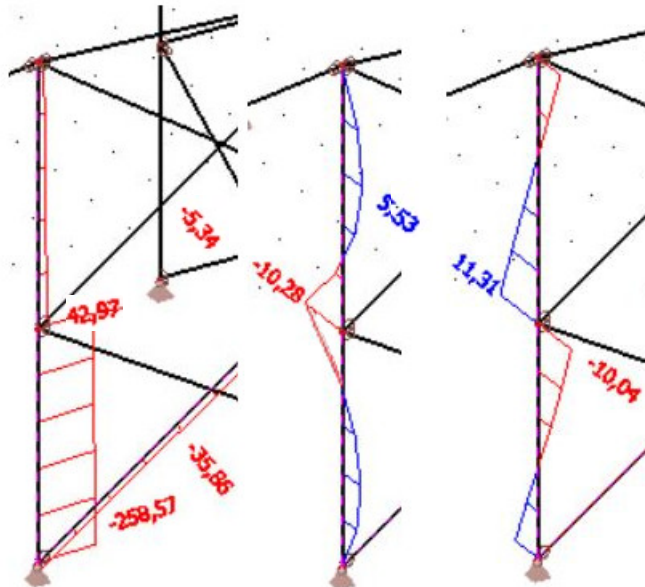
10.3 Sloupy



Obr. 10.11: Schéma rozložení sloupů v objektu

10.3.1 Sloup C2

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, redukováný příčný vítr, sníh i, užité zatížení stropů



Obr. 10.12: Průběh vnitřních sil na sloupu C2 – N [kN], M_y [kNm], V_z [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 278,14$ kN

- min. HEA 140 (přípoj vazníku – pro minimální rozestupy šroubů M16)

NÁVRH: HEA 140, S355

$$A = 3142 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 155,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 173,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 10,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 57,3 \text{ mm}$$

$$W_z = 55,62 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 84,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 3,893 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 35,2 \text{ mm}$$

- zatřídění průřezu: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$

- pásnice:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{140 - 2 \cdot 12 - 5,5}{2} = 55,25 \text{ mm}$$

$$c_f/t_f = 55,25/8,5 = 6,5 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,323 \text{ (třída 1)}$$

- stojina:

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 133 - 2 \cdot 8,5 - 2 \cdot 12 = 92 \text{ mm}$$

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{278,14}{0,0055 \cdot 355} = 142,45 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{92 + 142,45}{2} = 117,23 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{117,23}{92} = 1,274 > 0,5$$

$$c_w/t_w = 92/5,5 = 16,727 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 1,274 - 1} = 20,71 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 1

- dílčí únosnosti průřezu:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 3\,142 \cdot 10^{-3} = 1\,115,41 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 173,5 \cdot 10^{-3} = 61,59 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl,z} = 355 \cdot 84,85 \cdot 10^{-3} = 30,12 \text{ kNm}$$

Spodní část sloupu

- součinitele vzpěrnosti:

$$L_{cr,y} = 3,9 \text{ m (vzdálenost ke stropnici)}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10,33}{3,9^2} = 1\,407,64 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3\,142 \cdot 355}{1\,407,64 \cdot 10^3}} = 0,89$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,89 - 0,2) + 0,89^2] = 1,014$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,014 + \sqrt{1,014^2 - 0,89^2}} = 0,667 \leq 1$$

$$L_{cr,z} = 3,9 \text{ m (vzdálenost k průvlakům)}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 3,893}{3,9^2} = 542,75 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3\,142 \cdot 355}{542,75 \cdot 10^3}} = 1,434$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,434 - 0,2) + 1,434^2] = 1,83$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,83 + \sqrt{1,83^2 - 1,434^2}} = 0,337 \leq 1$$

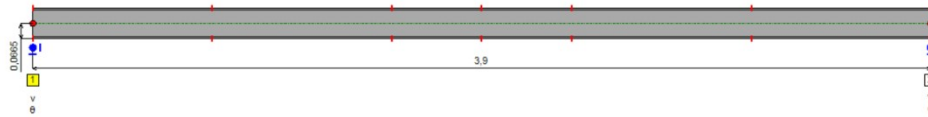
- součinitel klopení:

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	tz (cm4)	lt (cm4)	lw (cm6)	βz (cm)	zG (cm)	zS (cm)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)	Kv' (daN.cm)
1	CAT	0	HEA 140	<input checked="" type="checkbox"/>	6,729	389,32	8,056	15086	0	6,65	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	3,9	HEA 140	<input type="checkbox"/>	6,729	389,32	8,056	15086	0	6,65	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous



USER :
COMPANY :
PROJECT :
PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

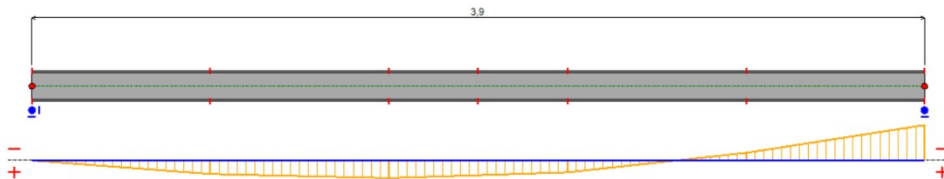


No.	Type	x1 (m) / O	x2 (m) / O	z1 (m) / S	z2 (m) / S	Kv (kN/m)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free
2	Punctual	3,9	3,9	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free

No.	x (m) / O	Ku (kN/m)	Kw (kN/m)	Kw' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Fixed	Fixed	Free	
2	3,9	Free	Fixed	Free	

USER :
COMPANY :
PROJECT :
PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100



x (m)	N (kN)	x (m)	M (kN.m)	x (m)	M (kN.m)
0	0	2,34	3,45		
3,9	0	3,12	-2,21		
		3,9	-10,28		

Obr. 10.13: Zadání do programu LTBeamN

$$M_{cr} = 176,67 \text{ kNm (LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{173,5 \cdot 355}{176,67 \cdot 10^3}} = 0,59$$

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení b; $h/b \leq 2$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2] = 0,741$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,741 + \sqrt{0,741^2 - 0,75 \cdot 0,59^2}} = 0,783 \leq 1,0$$

- součinitele interakce:

$$\alpha_s = 5,13 / (-10,28) = -0,499$$

$$C_{mLT} = C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,499) = 0,499 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,499 \cdot (1 + (0,89 - 0,2) \cdot \frac{278,14}{0,667 \cdot 1115,41/1}); 0,499 \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{278,14}{0,667 \cdot 1115,41/1}) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,616; 0,637] = 0,616$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,434}{0,499 - 0,25} \cdot \frac{278,14}{0,337 \cdot 1115,41/1}; 1 - \frac{0,1}{0,499 - 0,25} \cdot \frac{278,14}{0,337 \cdot 1115,41/1} \right] = \max [0,574; 0,703]$$

$$k_{zy} = 0,703$$

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

$$\frac{278,14}{0,667 \cdot 1115,41/1} + 0,616 \cdot \frac{10,28}{0,783 \cdot 61,59/1} = 0,505 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{278,14}{0,337 \cdot 1115,41/1} + 0,703 \cdot \frac{10,28}{0,783 \cdot 61,59/1} = 0,89 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Horní část sloupu

- $N_{Ed} = 42,97 + 5,34 \cdot \sin 32,04^\circ = 45,8 \text{ kN}$

- součinitele vzpěrnosti:

$L_{cr,y} = 4,425 \text{ m}$ (vzdálenost od stropnice k vazníku)

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10,33}{4,425^2} = 1\,093,43 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3\,142 \cdot 355}{1\,093,43 \cdot 10^3}} = 1,01$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,01 - 0,2) + 1,01^2] = 1,148$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,148 + \sqrt{1,148^2 - 1,01^2}} = 0,591 \leq 1$$

$L_{cr,z} = 4,425 \text{ m}$ (vzdálenost od průvlaku k vazníku)

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 3,893}{4,425^2} = 412,08 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3\,142 \cdot 355}{412,08 \cdot 10^3}} = 1,645$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,645 - 0,2) + 1,645^2] = 2,207$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,207 + \sqrt{2,207^2 - 1,645^2}} = 0,272 \leq 1$$

- součinitel klopení:

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	tz (cm4)	lt (cm4)	lw (cm6)	βz (cm)	zG (cm)	zS (cm)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)	Kv' (daN.cm)
1	CAT	0	HEA 140	<input type="checkbox"/>	6,729	389,32	8,056	15086	0	6,65	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	4,425	HEA 140	<input type="checkbox"/>	6,729	389,32	8,056	15086	0	6,65	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

Lateral restraints

No.	Type	x1 (m) /O	x2 (m) /O	z1 (m) /S	z2 (m) /S	Kv (kN/m)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free
2	Punctual	4,425	4,425	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free

No.	x (m) /O	Ku (kN/m)	Kw (kN/m)	Kv' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Fixed	Fixed	Free	
2	4,425	Free	Fixed	Free	

External loading Internal loading

x (m)	N (kN)
0	0
4,425	0

x (m)	M (kN.m)
0	-10,28
0,885	-1,81
1,77	3,49

x (m)	M (kN.m)
2,655	5,53
3,54	4,32
4,425	0

Eccentric distributed loads

x1 (m)	z1 (m)	qz1 (kN/m)	x2 (m)	z2 (m)	qz2 (kN/m)

Obr. 10.14: Zadání do programu LTBeamN

$$M_{cr} = 142,66 \text{ kNm (LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{173,5 \cdot 355}{142,66 \cdot 10^3}} = 0,657$$

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení b; $h/b \leq 2$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,657 - 0,2) + 0,657^2] = 0,794$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,794 + \sqrt{0,794^2 - 0,75 \cdot 0,657^2}} = 0,743 \leq 1,0$$

- součinitele interakce:

$$\alpha_s = 5,53 / (-10,28) = -0,538$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,538) = 0,53 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,53 \cdot (1 + (1,01 - 0,2) \cdot \frac{45,8}{0,591 \cdot 1115,41/1}); 0,53 \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{45,8}{0,591 \cdot 1115,41/1}) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,56; 0,56] = 0,56$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,645}{0,53 - 0,25} \cdot \frac{45,8}{0,272 \cdot 1115,41/1}; 1 - \frac{0,1}{0,53 - 0,25} \cdot \frac{45,8}{0,272 \cdot 1115,41/1} \right] = \max [0,911; 0,946]$$

$$k_{zy} = 0,946$$

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

$$\frac{45,8}{0,591 \cdot 1115,41/1} + 0,56 \cdot \frac{10,28}{0,743 \cdot 61,59/1} = 0,195 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

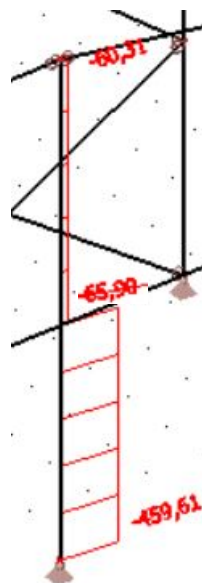
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{zy,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{45,8}{0,272 \cdot 1115,41/1} + 0,946 \cdot \frac{10,28}{0,743 \cdot 61,59/1} = 0,363 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ průřez HEA 140 pro sloup C2 vyhoví

10.3.2 Sloup B2

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, redukováný příčný vítr, sníh i, užité zatížení stropů



Obr. 10.15: Průběh normálových sil na sloupu B2 [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 459,61$ kN

NÁVRH: HEA 160, S355

$$A = 3\,877 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 16,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 6,156 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Dolní část sloupu

- součinitel vzpěrnosti:

$$L_{cr,z} = 3,9 \text{ m (vzdálenost k průvlakům)}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 6,156}{3,9^2} = 838,86 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3\,877 \cdot 355}{838,86 \cdot 10^3}} = 1,281$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,281 - 0,2) + 1,281^2] = 1,586$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z \mp \sqrt{\phi_z^2 + \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,586 + \sqrt{1,586^2 - 1,281^2}} = 0,397 \leq 1$$

$$N_{Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,397 \cdot 3\,877 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 546,4 \text{ kN} > N_{Ed} = 459,61 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Horní část sloupu

- součinitel vzpěrnosti:

$$L_{cr,z} = 4,425 \text{ m (vzdálenost k průvlakům)}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 6,156}{4,425^2} = 651,62 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3\,877 \cdot 355}{651,62 \cdot 10^3}} = 1,453$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,453 - 0,2) + 1,453^2] = 1,863$$

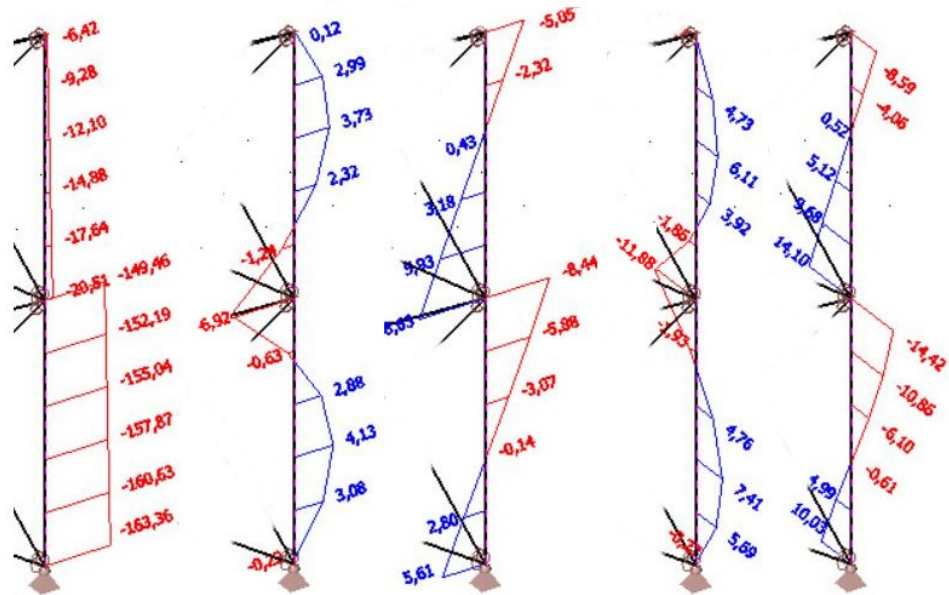
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z \mp \sqrt{\phi_z^2 + \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,863 + \sqrt{1,863^2 - 1,453^2}} = 0,33 \leq 1$$

$$N_{Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,33 \cdot 3\,877 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 454,32 \text{ kN} > N_{Ed} = 65,9 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ průřez HEA 160 pro sloup B2 vyhoví

10.3.3 Sloup C1

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, příčný vítr, užitné zatížení stropů



Obr. 10.16: Průběh vnitřních sil na sloupu C1 – N [kN], M_y [kNm], V_z [kN], M_z [kNm], V_y [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 223,6$ kN

NÁVRH: HEA 160, S355

$$A = 3877 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 220,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 245,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 16,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 76,95 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 117,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 6,156 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- zatřídění průřezu: $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$

- pásnice:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{160 - 2 \cdot 15 - 6}{2} = 62 \text{ mm}$$

$$c_f/t_f = 62/9 = 6,889 \leq 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,323 \text{ (třída 1)}$$

- stojina:

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 152 - 2 \cdot 9 - 2 \cdot 15 = 104 \text{ mm}$$

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{278,14}{0,006 \cdot 355} = 130,58 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{104 + 130,58}{2} = 117,29 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{117,29}{104} = 1,128 > 0,5$$

$$c_w/t_w = 104/6 = 17,333 \leq \frac{396 \cdot \epsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 1,128 - 1} = 23,595 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 1

- dílčí únosnosti průřezu:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 3\,877 \cdot 10^{-3} = 1\,376,34 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 245,1 \cdot 10^{-3} = 87,01 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl,z} = 355 \cdot 117,6 \cdot 10^{-3} = 41,75 \text{ kNm}$$

Spodní část sloupu (rozhodující – stejné vzpěrné délky, větší zatížení)

- součinitele vzpěrnosti:

$$L_{cr,y} = 3,9 \text{ m (vzdálenost ke stropnici)}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 16,73}{3,9^2} = 2279,74 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3\,877 \cdot 355}{2279,74 \cdot 10^3}} = 0,777$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,777 - 0,2) + 0,777^2] = 0,9$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,9 + \sqrt{0,9^2 - 0,777^2}} = 0,739 \leq 1$$

$$L_{cr,z} = 3,9 \text{ m (vzdálenost k průvlakům)}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 6,156}{3,9^2} = 838,86 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3\,877 \cdot 355}{838,86 \cdot 10^3}} = 1,281$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,281 - 0,2) + 1,281^2] = 1,585$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,585 + \sqrt{1,585^2 - 1,281^2}} = 0,397 \leq 1$$

- součinitel klopení: zadání do LTBeamN stejné jako v kap. 10.3.1, změna pouze v průřezu a zatížení

$$M_{cr} = 237,7 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{245,1 \cdot 355}{237,7 \cdot 10^3}} = 0,605$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,605 - 0,2) + 0,605^2] = 0,752$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,752 + \sqrt{0,752^2 - 0,75 \cdot 0,605^2}} = 0,775 \leq 1,0$$

- součinitele interakce:

$$\alpha_s = 4,13/(-6,92) = -0,597$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,597) = 0,577 \geq 0,4$$

$$\alpha_s = 7,41/(-11,88) = -0,624$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,624) = 0,599 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,577 \cdot (1 + (0,777 - 0,2) \cdot \frac{223,6}{0,739 \cdot 1376,34/1}); 0,577 \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{223,6}{0,739 \cdot 1376,34/1}) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,65; 0,678] = 0,65$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,65 = 0,39$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,281}{0,577 - 0,25} \cdot \frac{223,6}{0,397 \cdot 1376,34/1}; 1 - \frac{0,1}{0,577 - 0,25} \cdot \frac{223,6}{0,397 \cdot 1376,34/1} \right] = \max [0,84; 0,875]$$

$$k_{zy} = 0,875$$

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

$$k_{zz} = \min \left[0,599 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,281 - 0,6) \cdot \frac{223,6}{0,397 \cdot 1376,34/1} \right); 0,599 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{223,6}{0,397 \cdot 1376,34/1} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \min [1,08; 0,942] = 0,942$$

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

$$\frac{223,6}{0,739 \cdot 1376,34/1} + 0,65 \cdot \frac{6,92}{0,775 \cdot 87,01/1} + 0,39 \cdot \frac{11,88}{41,75/1} = 0,398 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

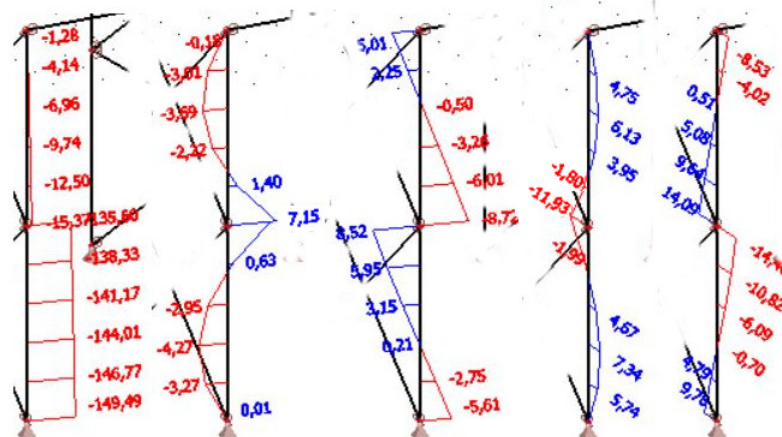
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{zy,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{223,6}{0,397 \cdot 1376,34/1} + 0,875 \cdot \frac{6,92}{0,775 \cdot 87,01/1} + 0,942 \cdot \frac{11,88}{41,75/1} = 0,767 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ průřez HEA 160 pro sloup C1 vyhoví

10.3.4 Sloup C3

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, příčný vítr, užité zatížení stropů



Obr. 10.17: Průběh vnitřních sil na sloupu C3 – N [kN], My [kNm], Vz [kN], Mz [kNm], Vy [kN]

- reakce R_z: N_{Ed} = 184,76 kN

NÁVRH: HEA 160, S355

- zatřídění průřezu: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,814$

- pásnice: třída 1 (podle kap. 10.3.3)

- stojina:

$$c_w = 104 \text{ mm}$$

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{184,76}{0,006 \cdot 355} = 86,74 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{104 + 86,74}{2} = 95,37 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{95,37}{104} = 0,917 > 0,5$$

$$c_w/t_w = 104/6 = 17,333 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,917 - 1} = 29,515 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 1

- dílčí únosnosti průřezu (podle kap. 10.3.3):

$$N_{Rk} = 1\,376,34 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 87,01 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 41,75 \text{ kNm}$$

Spodní část sloupu (rozhodující – stejné vzpěrné délky, větší zatížení)

- součinitele vzpěrnosti (podle kap. 10.3.3)

- součinitel klopení: zadání do LTBeamN stejné jako v kap. 10.3.3, změna pouze v zatížení

$$M_{cr} = 237,12 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{245,1 \cdot 355}{237,12 \cdot 10^3}} = 0,606$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,606 - 0,2) + 0,606^2] = 0,752$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,752 + \sqrt{0,752^2 - 0,75 \cdot 0,606^2}} = 0,774 \leq 1,0$$

- součinitele interakce:

$$\alpha_s = (-4,27)/7,15 = -0,597$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,597) = 0,578 \geq 0,4$$

$$\alpha_s = 7,34/(-11,93) = -0,615$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,624) = 0,592 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,578 \cdot \left(1 + (0,777 - 0,2) \cdot \frac{184,76}{0,739 \cdot 1376,34/1} \right); 0,578 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{184,76}{0,739 \cdot 1376,34/1} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,639; 0,662] = 0,639$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,639 = 0,383$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,281}{0,578 - 0,25} \cdot \frac{184,76}{0,397 \cdot 1376,34/1}; 1 - \frac{0,1}{0,578 - 0,25} \cdot \frac{184,76}{0,397 \cdot 1376,34/1} \right] = \max [0,868; 0,897]$$

$$k_{zy} = 0,897$$

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

$$k_{zz} = \min \left[0,592 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,281 - 0,6) \cdot \frac{184,76}{0,397 \cdot 1376,34/1} \right); 0,592 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{184,76}{0,397 \cdot 1376,34/1} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \min [0,985; 0,872] = 0,872$$

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

$$\frac{184,76}{0,739 \cdot 1376,34/1} + 0,639 \cdot \frac{7,15}{0,774 \cdot 87,01/1} + 0,383 \cdot \frac{11,93}{41,75/1} = 0,359 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

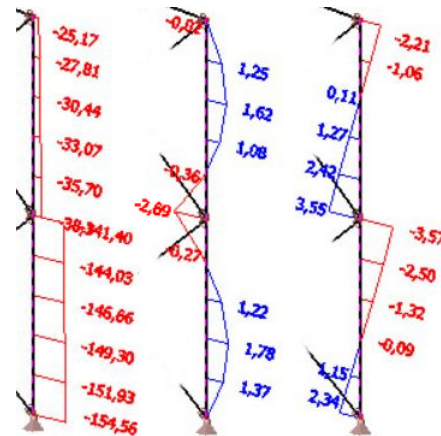
$$\frac{184,76}{0,397 \cdot 1376,34/1} + 0,897 \cdot \frac{7,15}{0,774 \cdot 87,01/1} + 0,872 \cdot \frac{11,93}{41,75/1} = 0,683 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ průřez HEA 160 pro sloup C3 vyhoví

10.3.4 Ostatní sloupy

Sloup A1

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, redukováný příčný vítr, sníh i, užité zatížení stropů

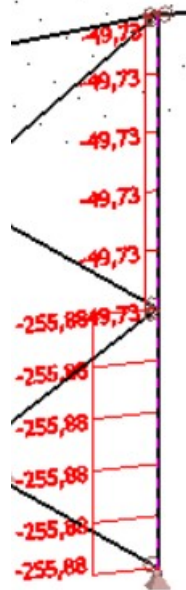


Obr. 10.18: Průběh vnitřních sil na sloupu A1 – N [kN], My [kNm], Vz [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 176,35$ kN
- menší zatížení než u sloupu C2 → bude použit průřez HEA 140

Sloup A2

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, redukovaný příčný vítr, sníh i, užité zatížení stropů



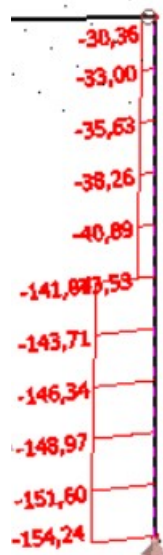
Obr. 10.19: Průběh normálové síly na sloupu A2 [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 277,29$ kN

- menší zatížení než u sloupu C2 → bude použit průřez HEA 140

Sloup A3

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, redukovaný příčný vítr, sníh i, užité zatížení stropů



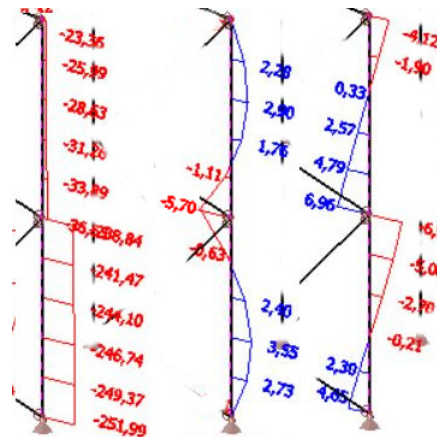
Obr. 10.20: Průběh normálové síly na sloupu A3 [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 154,24$ kN

- menší zatížení než u sloupu C2 → bude použit průřez HEA 140

Sloup B1

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, redukováný podélný vítr, sníh i, užiténé zatížení stropů



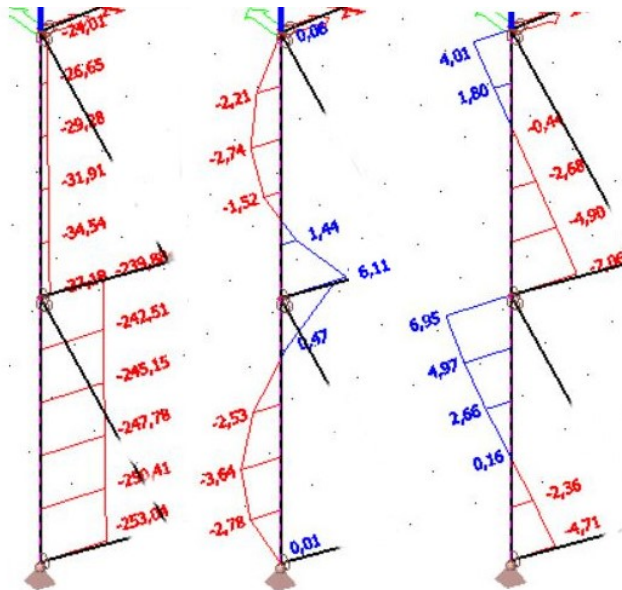
Obr. 10.21: Průběh vnitřních sil na sloupu B1 – N [kN], M_y [kNm], V_z [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 267,47$ kN

- menší zatížení než u sloupu C2 → bude použit průřez HEA 140

Sloup B3

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, redukováný podélný vítr, sníh i, užiténé zatížení stropů



Obr. 10.22: Průběh vnitřních sil na sloupu B3 – N [kN], M_y [kNm], V_z [kN]

- reakce R_z : $N_{Ed} = 268,39$ kN

- menší zatížení než u sloupu C2 → bude použit průřez HEA 140

11 Štítová stěna skladovací části

Všechny přípoje štítové stěny jsou kloubové.

11.1 Vazníky

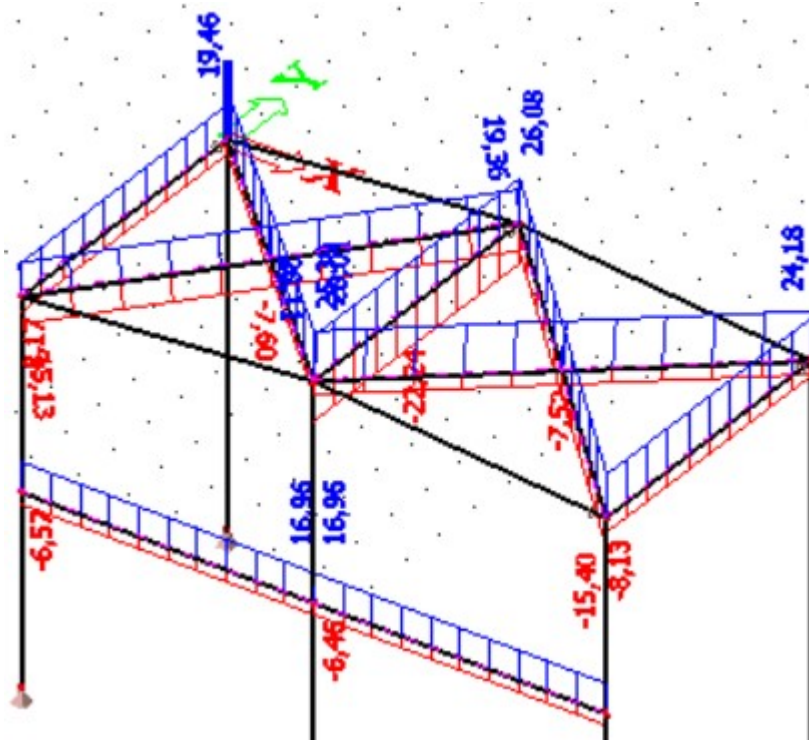
- IPE 160 (podle kap. 10.1.1 – stejné zatížení jako u krajního vazníku administrativní části)

11.2 Ztužidla

- 3D model v programu SCIA
- přenos vodorovných sil kazetami nahrazen posuvným kloubem
- přenos normálových sil do dalších trubek ve střešní rovině nahrazen posuvnými klouby
- vzorce podle kap. 10.2



Obr. 11.1: Model v programu SCIA



Obr. 11.2: Obálka normálových sil na ztužidlech

Tab. 11.1: Únosnost ztužidel v tahu

prut	N_{Ed} (tah)	PROFIL	A mm ²	f_{yd} Mpa	$N_{t,Rd}$ kN	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	posouzení
I	25,39	TR76x3,2	732	355	259,86	0,10	<1
X	28,11	TR 102x3,6	1113	355	395,12	0,07	<1

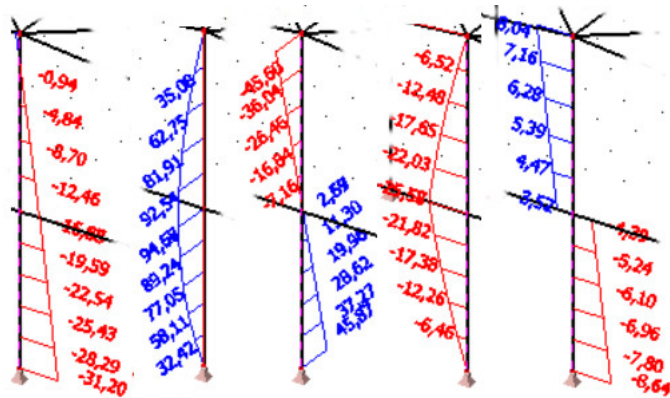
Tab. 11.2: Únosnost ztužidel v tlaku

prut	$N_{c,Ed}$ kN	PROFIL	A mm ²	I mm ⁴	f_{yd} Mpa	L_{teor} mm	$N_{t,Ed}$ kN	L_{cr}/L	L_{cr} mm	N_{cr} kN	$\bar{\lambda}$	ϕ	χ	$N_{b,Rd}$ kN	$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	posouzení	i mm	λ	posouzení
I	22,24	TR 76x3,2	732	4,86E+05	355	6000	-	1,000	6000	27,98	3,05	5,84	0,092	24,01	0,93	<1	25,8	232,56	≤ 250
X	15,40	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	8502	1,05	0,974	8282	40,79	3,11	6,06	0,089	35,12	0,44	<1	34,8	237,98	≤ 250
	12,82	TR 102x3,6	1113	1,35E+06	355	8502	-	1,000	8502	38,71	3,19	6,34	0,085	33,45	0,38	<1	34,8	244,31	≤ 250

- vložené hodnoty
- vypočtené hodnoty
- porovnávané hodnoty

11.3.1 Střední sloup

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, příčný vítr zprava (s vnitřním tlakem)



Obr. 11.3: Průběh vnitřních sil na středním sloupu – N [kN], M_y [kNm], V_z [kN], M_z [kNm], V_y [kN]

- omezení průhybu: $L/250 = 8325/250 = 33,3$ mm

- maximální charakteristický moment: $M_{y,k} = 63,13$ kNm (odpovídá $g_k = 7,287$ kN/m)

$M_{z,k} = 15,03$ kNm (odpovídá $F_k = 7,25$ kN)

- průhyb: $\delta_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot I_y} \rightarrow I_y \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot \delta_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{7,287 \cdot 8325^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 33,3} = 65,171 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

- průhyb: $\delta_z = \frac{F_k \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_z} \rightarrow I_z \geq \frac{F_k \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot \delta_z} = \frac{7,25 \cdot 8325^3}{48 \cdot 210 \cdot 33,3} = 12,462 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

NÁVRH: HEA 240, S355

$$A = 7684 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 675,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 744,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 77,63 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 210 \text{ mm}$$

$$W_z = 230,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 351,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 27,69 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 72,4 \text{ mm}$$

- zatřídění průřezu: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$

- pásnice:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{240 - 2 \cdot 21 - 7,5}{2} = 95,25 \text{ mm}$$

$$c_f/t_f = 95,25/12 = 7,938 > 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,323 \text{ (není třída 1)}$$

$$c_f/t_f = 7,938 \leq 9 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,814 = 8,14 \text{ (třída 2)}$$

- stojina (spodní část):

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 230 - 2 \cdot 11,5 - 2 \cdot 21 = 165 \text{ mm}$$

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{31,2}{0,0075 \cdot 355} = 11,72 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{165 + 11,72}{2} = 88,36 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{88,36}{165} = 0,536 > 0,5$$

$$c_w/t_w = 165/7,5 = 22 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,536 - 1} = 54,07 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 2

- stojina (horní část):

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{16,08}{0,0075 \cdot 355} = 6,039 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{165 + 6,039}{2} = 85,52 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{85,52}{165} = 0,518 > 0,5$$

$$c_w/t_w = 22 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,518 - 1} = 56,178 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 2

- dílčí únosnosti průřezu:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 7684 \cdot 10^{-3} = 2727,82 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 744,6 \cdot 10^{-3} = 264,33 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl,z} = 355 \cdot 351,7 \cdot 10^{-3} = 124,85 \text{ kNm}$$

- součinitel klopení:

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	lz (cm4)	lt (cm4)	lw (cm6)	βz (cm)	zG (cm)	zS (cm)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)	Kw'
1	CAT	0	HEA 240	<input type="checkbox"/>	11,71	2768,8	40,64	328962	0	11,5	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	8,325	HEA 240	<input checked="" type="checkbox"/>	11,71	2768,8	40,64	328962	0	11,5	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

No.	Type	x1 (m) /O	x2 (m) /O	z1 (m) /S	z2 (m) /S	Kv (kN/m)	KB (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	KB' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free
2	Continuous	0	3,9	-0,115	-0,115	Fixed	Free	Free	Free
3	Punctual	3,9	3,9	0	0	Fixed	Free	Free	Free
4	Continuous	3,9	8,325	-0,115	-0,115	Fixed	Free	Free	Free
5	Punctual	8,325	8,325	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free

No.	x (m) /O	Ku (kN/m)	Kw (kN/m)	Kw' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Fixed	Fixed	Free	
2	8,325	Free	Fixed	Free	

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

$M_{max} = 94,68 \text{ kN.m}$ (x = 3,9 m) ; $N_{max} = 0 \text{ kN}$ (x = 0 m) ; $V_{max} = 421,38 \text{ kN}$ (x = 7,44 m)

x (m)	N (kN)
0	0
8,325	0

x (m)	M (kN.m)
0	0
0,78	32,42
1,56	58,11
2,34	77,05
3,12	89,24
3,9	94,68
4,785	92,54
5,67	81,91
6,555	62,75
7,44	35,08
8,325	0

x1 (m)	z1 (m)	qz1 (kN/m)	x2 (m)	z2 (m)	qz2 (kN/m)	Active

Obr. 11.4: Zadání do programu LTBeamN

$$M_{cr} = 675,29 \text{ kNm (LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{744,6 \cdot 355}{675,29 \cdot 10^3}} = 0,626$$

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení b; $h/b \leq 2$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,626 - 0,2) + 0,626^2] = 0,768$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,768 + \sqrt{0,768^2 - 0,75 \cdot 0,626^2}} = 0,762 \leq 1,0$$

Spodní část sloupu

- součinitele vzpěrnosti:

$$L_{cr,y} = 8,325 \text{ m (délka sloupu)}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 77,63}{8,325^2} = 2321,56 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7684 \cdot 355}{2321,56 \cdot 10^3}} = 1,084$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,084 - 0,2) + 1,084^2] = 1,238$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,238 + \sqrt{1,238^2 - 1,084^2}} = 0,545 \leq 1$$

$$L_{cr,z} = 3,9 \text{ m (vzdálenost k trubce)}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 27,69}{3,9^2} = 3773,23 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7684 \cdot 355}{3773,23 \cdot 10^3}} = 0,85$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,85 - 0,2) + 0,85^2] = 1,021$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,021 + \sqrt{1,021^2 - 0,85^2}} = 0,631 \leq 1$$

- součinitele interakce:

$$\alpha_h = 67,58/94,68 = 0,714$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 - 0,05 \cdot 0,714 = 0,986 \geq 0,4$$

$$\Psi = 0/25,58 = 0$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,986 \cdot (1 + (1,084 - 0,2) \cdot \frac{31,2}{0,545 \cdot 2727,82/1}); 0,986 \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{31,2}{0,545 \cdot 2727,82/1}) \right]$$

$$k_{yy} = \min [1,004; 1,003] = 1,003$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,003 = 0,602$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,85}{0,986 - 0,25} \cdot \frac{31,2}{0,631 \cdot 2727,82/1}; 1 - \frac{0,1}{0,986 - 0,25} \cdot \frac{31,2}{0,631 \cdot 2727,82/1} \right] = \max [0,998; 0,998]$$

$$k_{zy} = 0,998$$

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

$$k_{zz} = \min \left[0,6 \cdot (1 + (2 \cdot 0,85 - 0,6) \cdot \frac{31,2}{0,631 \cdot 2727,82/1}); 0,6 \cdot (1 + 1,4 \cdot \frac{31,2}{0,631 \cdot 2727,82/1}) \right]$$

$$k_{zz} = \min [0,612; 0,615] = 0,612$$

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

$$\frac{31,2}{0,545 \cdot 2727,82/1} + 1,003 \cdot \frac{94,68}{0,762 \cdot 264,33/1} + 0,602 \cdot \frac{25,58}{124,85/1} = 0,616 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{31,2}{0,631 \cdot 2727,82/1} + 0,998 \cdot \frac{94,68}{0,762 \cdot 264,33/1} + 0,612 \cdot \frac{25,58}{124,85/1} = 0,604 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Horní část sloupu

- součinitele vzpěrnosti:

- vybočení kolmo k ose y stejné jako u spodní části sloupu

$L_{cr,z} = 4,425$ m (vzdálenost k trubce)

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 27,69}{4,425^2} = 2931 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7684 \cdot 355}{2931 \cdot 10^3}} = 0,965$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,965 - 0,2) + 0,965^2] = 1,153$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z \mp \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,153 + \sqrt{1,153^2 - 0,965^2}} = 0,561 \leq 1$$

- součinitele interakce:

$$\alpha_h = 72,33/94,68 = 0,763$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 - 0,05 \cdot 0,763 = 0,912 \geq 0,4$$

$$\Psi = 0/25,58 = 0$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,912 \cdot \left(1 + (0,965 - 0,2) \cdot \frac{16,08}{0,545 \cdot 2727,82/1} \right); 0,912 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{16,08}{0,545 \cdot 2727,82/1} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,92; 0,92] = 0,92$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,92 = 0,552$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,965}{0,912 - 0,25} \cdot \frac{16,08}{0,561 \cdot 2727,82/1}; 1 - \frac{0,1}{0,912 - 0,25} \cdot \frac{16,08}{0,561 \cdot 2727,82/1} \right] = \max [0,894; 0,89]$$

$$k_{zy} = 0,894$$

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

$$k_{zz} = \min \left[0,6 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,965 - 0,6) \cdot \frac{16,08}{0,561 \cdot 2727,82/1} \right); 0,6 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{16,08}{0,561 \cdot 2727,82/1} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \min [0,608; 0,609] = 0,608$$

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

$$\frac{16,08}{0,545 \cdot 2727,82/1} + 0,92 \cdot \frac{94,68}{0,762 \cdot 264,33/1} + 0,552 \cdot \frac{25,58}{124,85/1} = 0,556 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

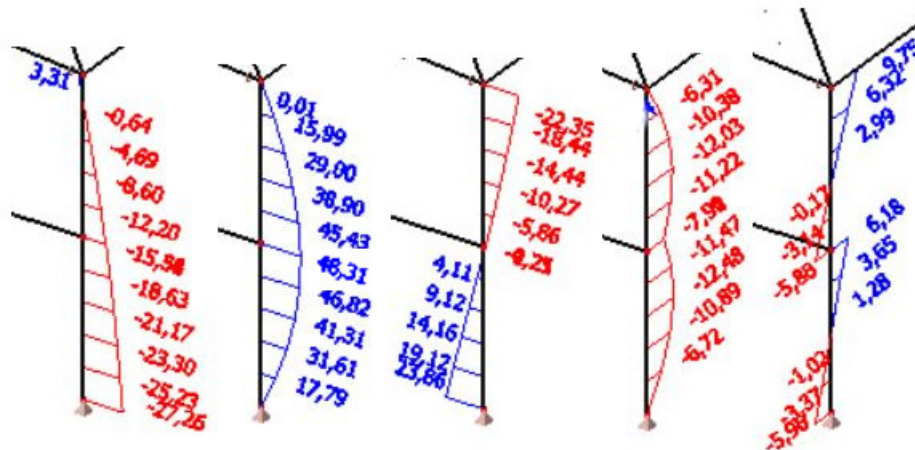
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{zy,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{16,08}{0,561 \cdot 2727,82/1} + 0,894 \cdot \frac{94,68}{0,762 \cdot 264,33/1} + 0,608 \cdot \frac{25,58}{124,85/1} = 0,555 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ průřez HEA 240 pro střední sloup štitové vazby vyhoví

11.3.2 Krajní sloup

- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, příčný vítr, užité zatížení stropů



Obr. 11.5: Průběh vnitřních sil na krajním sloupu – N [kN], My [kNm], Vz [kN], Mz [kNm], Vy [kN]

- omezení průhybu: $L/250 = 7800/250 = 31,2$ mm

- maximální charakteristické momenty: $M_{y,k} = 29,69$ kNm (odpovídá $g_k = 3,904$ kN/m)

$M_{z,k} = 18,22$ kNm (odpovídá $g_k = 2,396$ kN/m)

- průhyb: $l_y \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot \delta_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,904 \cdot 7800^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 31,2} = 28,718 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4$

- průhyb: $l_z \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot l^4}{E \cdot \delta_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,396 \cdot 7800^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 31,2} = 17,625 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4$

NÁVRH: HEA 220, S355

$$A = 6434 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 515,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 568,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 54,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 91,7 \text{ mm}$$

$$W_z = 177,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 270,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 19,55 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 55,1 \text{ mm}$$

- zatřídění průřezu: $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,814$

- pásnice:

$$c_f = \frac{b - 2 \cdot r - t_w}{2} = \frac{220 - 2 \cdot 18 - 7}{2} = 88,5 \text{ mm}$$

$$c_f/t_f = 88,5/11 = 8,045 > 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,323 \text{ (není třída 1)}$$

$$c_f/t_f = 8,045 \leq 9 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,814 = 8,14 \text{ (třída 2)}$$

- stojina:

$$c_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 210 - 2 \cdot 11 - 2 \cdot 18 = 152 \text{ mm}$$

$$z = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_y} = \frac{27,26}{0,007 \cdot 355} = 10,97 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c = \frac{c_w + z}{2} = \frac{152 + 10,97}{2} = 81,48 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c}{c_w} = \frac{81,48}{152} = 0,536 > 0,5$$

$$c_w/t_w = 152/7 = 21,714 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,814}{13 \cdot 0,536 - 1} = 54,002 \text{ (třída 1)}$$

→ průřez třídy 2

- dílčí únosnosti průřezu:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 355 \cdot 6434 \cdot 10^{-3} = 2284,07 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl,y} = 355 \cdot 568,5 \cdot 10^{-3} = 201,82 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{pl,z} = 355 \cdot 270,6 \cdot 10^{-3} = 96,06 \text{ kNm}$$

Spodní část sloupu (rozhodující – stejné vzpěrné délky, větší zatížení)

- součinitele vzpěrnosti:

$$L_{cr,y} = 7,8 \text{ m (délka sloupu)}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 54,1}{7,8^2} = 1843,01 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6434 \cdot 355}{1843,01 \cdot 10^3}} = 1,113$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,113 - 0,2) + 1,113^2] = 1,275$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,275 + \sqrt{1,275^2 - 1,113^2}} = 0,527 \leq 1$$

$$L_{cr,z} = 3,9 \text{ m (vzdálenost k trubce)}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 19,55}{3,9^2} = 2664,01 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6434 \cdot 355}{2664,01 \cdot 10^3}} = 0,926$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,926 - 0,2) + 0,926^2] = 1,107$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,107 + \sqrt{1,107^2 - 0,926^2}} = 0,584 \leq 1$$

- součinitel klopení:

No.	Type	x (m)	Designation	Reversed	i0 (cm)	lz (cm4)	lt (cm4)	lw (cm6)	βz (cm)	zG (cm)	zS (cm)	K8 (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	K8' (kN.m3/rd)	Kv' (daN.cm)
1	CAT	0	HEA 220	<input type="checkbox"/>	10,7	1954,6	27,96	193506	0	10,5	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
2	CAT	7,8	HEA 220	<input checked="" type="checkbox"/>	10,7	1954,6	27,96	193506	0	10,5	0	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

Lateral restraints

No.	Type	x1 (m)/O	x2 (m)/O	z1 (m)/S	z2 (m)/S	Kv (kN/m)	K8 (kN.m/rd)	Kv' (kN.m)	K8' (kN.m3/rd)
1	Punctual	0	0	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free
2	Continuous	0	3,9	-0,105	-0,105	Fixed	Free	Free	Free
3	Punctual	3,9	3,9	0	0	Fixed	Free	Free	Free
4	Continuous	3,9	7,8	-0,105	-0,105	Fixed	Free	Free	Free
5	Punctual	7,8	7,8	0	0	Fixed	Fixed	Free	Free

No.	x (m)/O	Ku (kN/m)	Kw (kN/m)	Kw' (kN.m/rd)	Symbol
1	0	Fixed	Fixed	Free	
2	7,8	Free	Fixed	Free	

USER :
 COMPANY :
 PROJECT :
 PROJECT ID :

MATERIAL : Steel
 YOUNG'S MODULUS : E = 210000 MPa
 SHEAR MODULUS : G = 80769 MPa
 NUMBER OF ELEMENTS : Nel = 100

$M_{max} = 48,32 \text{ kN.m (x = 3,9 m)}$; $N_{max} = 0 \text{ kN (x = 0 m)}$; $V_{max} = -228,08 \text{ kN (x = 0 m)}$

External loading Internal loading

x (m)	N (kN)
0	0
7,8	0

x (m)	M (kN.m)
0	0
0,78	17,79
1,56	31,61
2,34	41,31

x (m)	M (kN.m)
3,12	46,82
3,9	48,32
4,68	45,43
5,46	38,9

x (m)	M (kN.m)
5,46	38,9
6,24	29
7,02	15,99
7,8	0

Eccentric distributed loads

x1 (m)	z1 (m)	qz1 (kN/m)	x2 (m)	z2 (m)	qz2 (kN/m)	Active

Obr. 11.6: Zadání do programu LTBeamN

$$M_{cr} = 508,73 \text{ kNm (LTBeamN)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{568,5 \cdot 355}{508,73 \cdot 10^3}} = 0,63$$

- součinitel imperfekce: $\alpha_{LT} = 0,34$ (pro křivku klopení b; $h/b \leq 2$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,63 - 0,2) + 0,63^2] = 0,772$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,772 + \sqrt{0,772^2 - 0,75 \cdot 0,63^2}} = 0,759 \leq 1,0$$

- součinitele interakce:

$$\alpha_h = 36,46/48,31 = 0,755$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 - 0,05 \cdot 0,755 = 0,912 \geq 0,4$$

$$\alpha_h = 7,91/11,69 = 0,677$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 - 0,05 \cdot 0,677 = 0,916 \geq 0,4$$

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

$$k_{yy} = \min \left[0,912 \cdot \left(1 + (1,113 - 0,2) \cdot \frac{27,26}{0,527 \cdot 2284,07/1} \right); 0,912 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{27,26}{0,527 \cdot 2284,07/1} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \min [0,931; 0,929] = 0,929$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,929 = 0,557$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \max \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,926}{0,912 - 0,25} \cdot \frac{27,26}{0,584 \cdot 2284,07/1}; 1 - \frac{0,1}{0,912 - 0,25} \cdot \frac{27,26}{0,584 \cdot 2284,07/1} \right] = \max [0,997; 0,997]$$

$$k_{zy} = 0,997$$

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

$$k_{zz} = \min \left[0,916 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,926 - 0,6) \cdot \frac{27,26}{0,584 \cdot 2284,07/1} \right); 0,916 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{27,26}{0,584 \cdot 2284,07/1} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \min [0,939; 0,942] = 0,939$$

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

$$\frac{27,26}{0,527 \cdot 2284,07/1} + 0,929 \cdot \frac{48,31}{0,772 \cdot 201,82/1} + 0,557 \cdot \frac{12,48}{96,06/1} = 0,411 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

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

$$\frac{27,26}{0,584 \cdot 2284,07/1} + 0,997 \cdot \frac{48,31}{0,772 \cdot 201,82/1} + 0,939 \cdot \frac{12,48}{96,06/1} = 0,499 \leq 1,0 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

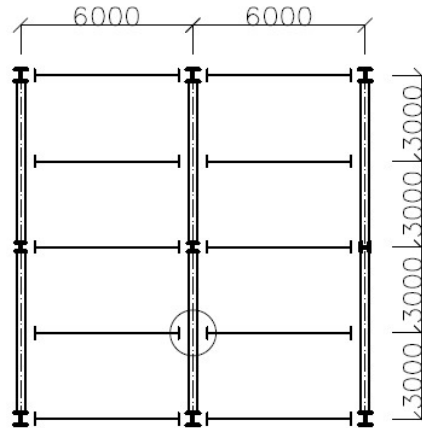
→ průřez HEA 220 pro krajní sloup štitové vazby vyhoví

12 Přípoje

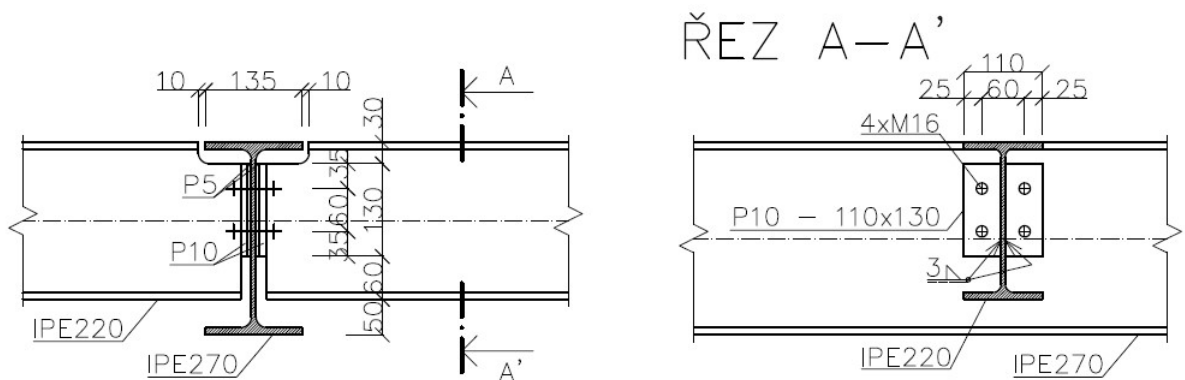
12.1 Přípoj stropnice k průvlaku

12.1.1 Přípoj ke středovému průvlaku (detail D1)

- reakce z navržené stropnice: $R_{Ed1} = 101,3 \text{ kN}$ (podle kap. 4.2.1.2)
- celková reakce od stropnic: $R_{Ed} = 2 \cdot R_{Ed1} = 2 \cdot 101,3 = 202,6 \text{ kN}$



Obr. 12.1: Umístění přípoje v objektu



Obr. 12.2: Geometrie přípoje

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 60,29 \text{ kN}$$

A_s ... plocha jádra šroubu

f_{ub} ... mez pevnosti materiálu šroubu

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,189 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 6,6 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 58,72 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min (2,189; 2,5) = 2,189$$

$$a_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) = \min \left(\frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0 \right) = \min (0,648; 1,633; 1,0) = 0,648$$

d ... průměr šroubu

t ... nejmenší tloušťka spojovaných prvků

f_u ... mez pevnosti materiálu spojovaných prvků

- stříh: $n_v = \frac{R_{Ed1}}{F_{v,Rd}} = \frac{101,3}{60,29} = 1,68$

- otláčení: $n_b = \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{202,6}{58,72} = 3,45$

→ návrh: 4 šrouby M16 8.8

Návrh svaru: koutový svar 2 x a = 3 mm, $L_{we} = 130$ mm

- návrhová pevnost: $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47$ MPa

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 2 \cdot 3 \cdot 130 \cdot 251,47 \cdot 10^{-3}$
 $F_{w,Rd} = 196,15$ kN > $R_{Ed1} = 101,3$ kN → vyhovuje

- smyková únosnost oslabeného průřezu stropnice:

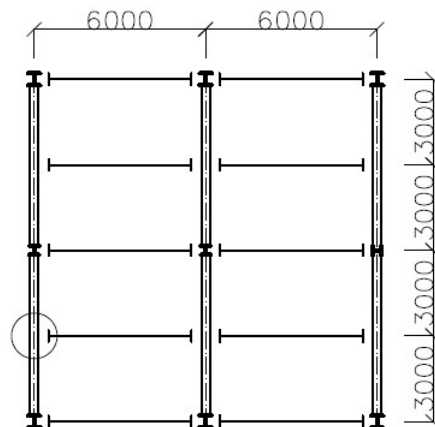
$$A_{vz} = t_w \cdot L_{we} = 5,9 \cdot 130 = 767 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{767 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 157,2 \text{ kN} > R_{Ed1} = 101,3 \text{ kN}$$

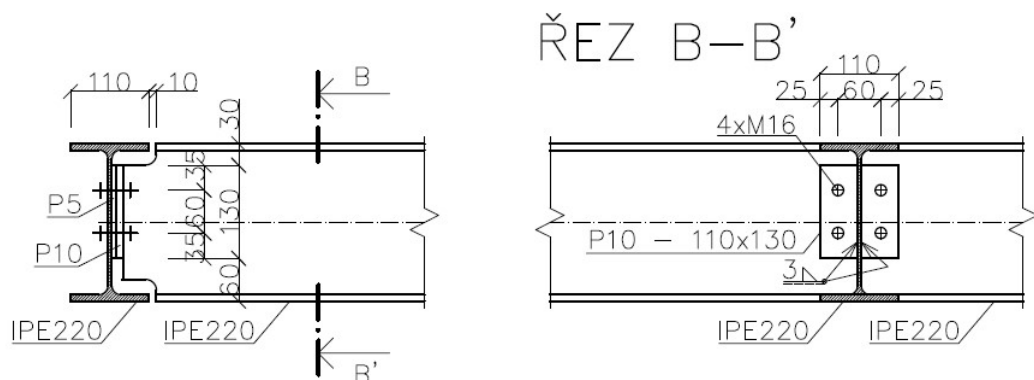
→ navržený přípoj vyhoví

12.1.2 Přípoj ke krajnímu průvlaku (detail D2)

- reakce z navržené stropnice: $R_{Ed} = 101,3$ kN (podle kap. 4.2.1.2)



Obr. 12.3: Umístění přípoje v objektu



Obr. 12.4: Geometrie přípoje

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 12.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,189 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 5,9 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 52,49 \text{ kN}$$

$$k_1 = 2,189 \text{ (podle kap. 12.1.1)}$$

$$a_b = 0,648 \text{ (podle kap. 12.1.1)}$$

- stříh: $n_v = \frac{R_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{101,3}{60,29} = 1,68$

- otláčení: $n_b = \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{201,3}{52,49} = 1,93$

→ návrh: 4 šrouby M16 8.8

Návrh svaru: koutový svar 2 x a = 3 mm, $L_{we} = 130 \text{ mm}$

- shodný jako v kap. 12.1.1

→ navržený přípoj vyhoví

12.2 Přípoj stropnice a průvlaku ke sloupu (detail D3)

- reakce z navržené stropnice: $R_{s,Ed} = 48,24 \text{ kN}$ (podle kap. 4.2.2.2)

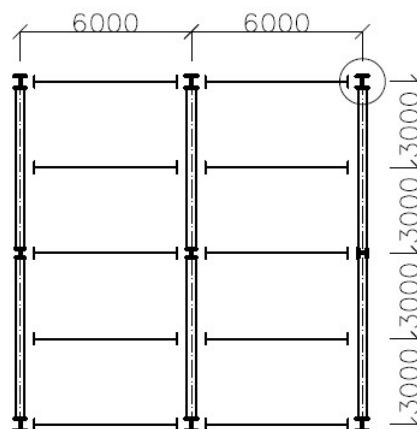
- reakce z navrženého průvlaku: $R_{p,Ed} = 51,71 \text{ kN}$ (podle kap. 4.3.2)

- maximální osová síla v horním podélném ztužidlu: 11,37 kN (podle kap. 10.2)

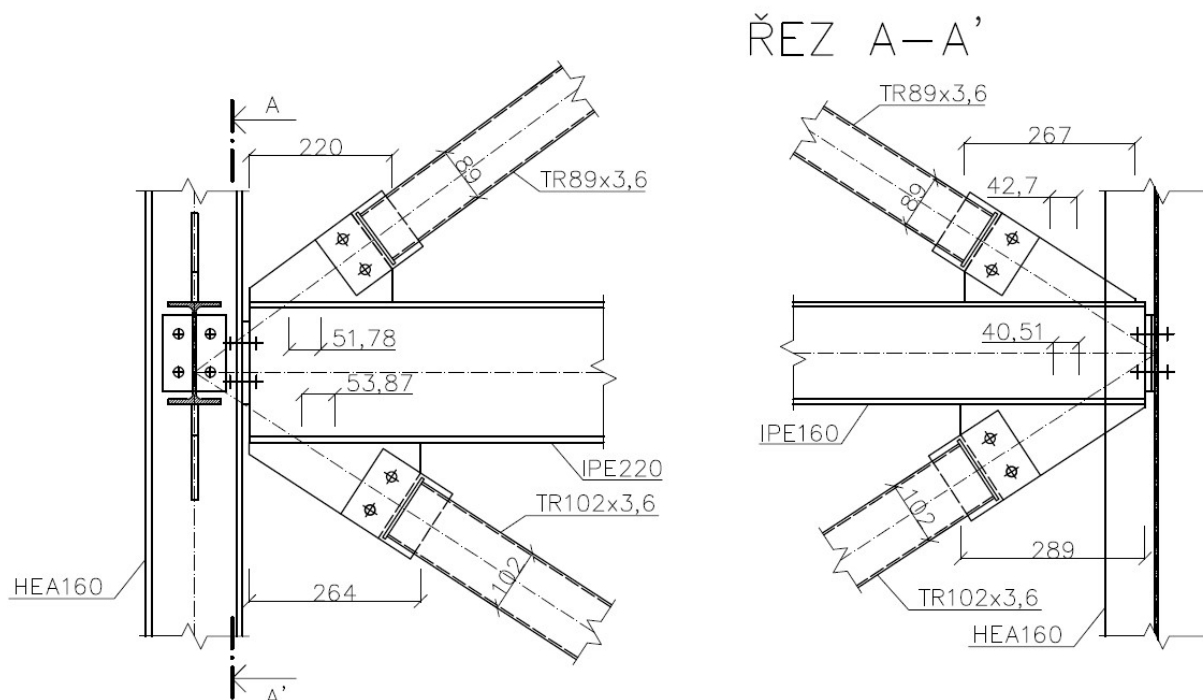
- maximální osová síla v horním příčném ztužidlu: 8,79 kN (podle kap. 10.2)

- maximální osová síla v dolním podélném ztužidlu: 43,98 kN (podle kap. 10.2)

- maximální osová síla v dolním příčném ztužidlu: 46,19 kN (podle kap. 10.2)



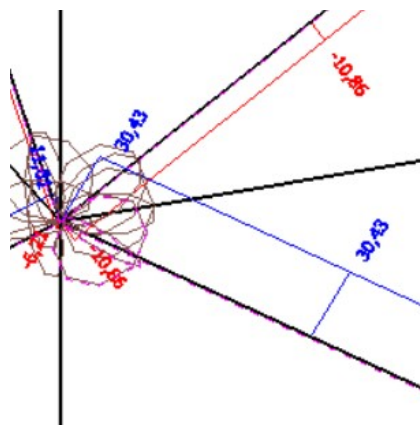
Obr. 12.5: Umístění přípoje v objektu



Obr. 12.6: Geometrie přípoje

12.2.1 Přípoj stropnice ke sloupu

- maximální reakce v kombinaci s nepříznivým stálým zatížením, příčným větrem zleva (s vnitřním tlakem) a užitným zatížením stropů: $R_{Ed} = 48,24 + 10,86 \cdot \sin 32,82^\circ + 30,43 \cdot \sin 33,22^\circ = 70,8 \text{ kN}$



Obr. 12.7: Vnitřní síly v podélném ztužidlu v rozhodující kombinaci

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 12.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,189 \cdot 0,556 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 45,76 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min (2,189; 2,5) = 2,189$$

$$a_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) = \min \left(\frac{30}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0 \right) = \min (0,556; 1,633; 1,0) = 0,556$$

- stříh: $n_v = \frac{R_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{70,8}{60,29} = 1,17$

- otláčení: $n_b = \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{70,8}{45,76} = 1,55$

→ návrh: 4 šrouby M16 8.8

Návrh svaru: koutový svar 2 x a = 3 mm, $L_{we} = 120$ mm

- návrhová pevnost: $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 2 \cdot 3 \cdot 120 \cdot 251,47 \cdot 10^{-3}$
 $F_{w,Rd} = 181,06 \text{ kN} > R_{Ed} = 70,74 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje

- smyková únosnost oslabeného průřezu stropnice:

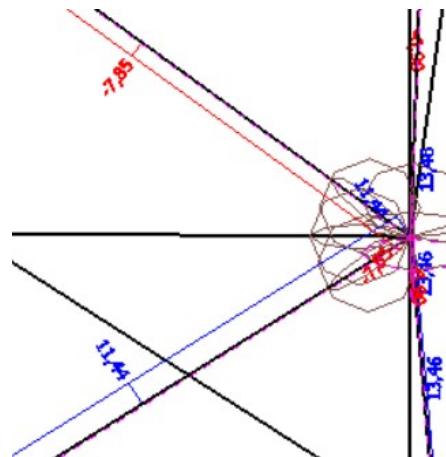
$$A_{vz} = t_w \cdot L_{we} = 5 \cdot 120 = 600 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{600 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 122,98 \text{ kN} > R_{Ed} = 70,8 \text{ kN}$$

→ navržený přípoj vyhoví

12.2.2 Přípoj průvlaku ke sloupu

- maximální reakce v kombinaci s nepříznivým stálým zatížením, příčným větrem zleva (bez vnitřního tlaku) a užitným zatížením stropů: $R_{Ed} = 51,71 + 11,44 \cdot \sin 33,02^\circ + 7,85 \cdot \sin 36,41^\circ = 62,6 \text{ kN}$



Obr. 12.8: Vnitřní síly v příčném ztužidlu v rozhodující kombinaci

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 12.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,189 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 9,5 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 84,54 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min (2,189; 2,5) = 2,189$$

$$a_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) = \min \left(\frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0 \right) = \min (0,648; 1,633; 1,0) = 0,648$$

- stříh: $n_v = \frac{R_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{62,6}{60,29} = 1,04$

- otláčení: $n_b = \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{62,6}{84,54} = 0,74$

→ návrh: 4 šrouby M16 8.8

Návrh svaru: koutový svar 2 x a = 3 mm, L_{we} = 130 mm

- návrhová pevnost: $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 2 \cdot 3 \cdot 130 \cdot 251,47 \cdot 10^{-3}$
 $F_{w,Rd} = 196,15 \text{ kN} > R_{Ed} = 62,6 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

- smyková únosnost oslabeného průřezu průvlastku:

$$A_{vz} = t_w \cdot L_{we} = 5,9 \cdot 130 = 767 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{767 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 157,2 \text{ kN} > R_{Ed} = 62,6 \text{ kN}$$

→ navržený přípoj vyhoví

12.2.3 Přípoj podélných ztužidel

12.2.3.1 Spodní ztužidlo

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 11.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 101,63 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min (2,967; 2,5) = 2,5$$

$$a_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u} \right) = \min \left(\frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{500}{490} \right) = \min (0,648; 1,02) = 0,648$$

- stříh: $n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{43,98}{60,29} = 0,73$

- otláčení: $n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{43,98}{101,63} = 0,43$

→ návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – stropnice

- svislá složka síly: $F_{Hd} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 43,98 \cdot \cos 33,22^\circ = 36,79 \text{ kN}$

- vodorovná složka síly: $F_{Vd} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 43,98 \cdot \sin 33,22^\circ = 24,09 \text{ kN}$

- napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{36,79 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 289} = 21,22 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} + \frac{F_{Vd} \cdot e}{W_{we}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{24,09 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 289} + \frac{24,09 \cdot 10^3 \cdot 40,51}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 289^2} \right) = 18,09 \text{ MPa}$$

W_{we} ... průřezový modul svaru

e... vzdálenost středu svaru a průřezu svaru s osou připojené diagonály

- posouzení:

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

$$\sqrt{18,09^2 + 3 \cdot (18,09^2 + 21,22^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

51,57 MPa \leq 435,56 MPa \rightarrow vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 18,09 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svarový přípoj styčnickový plech – trubka

- $4 \times a = 3 \text{ mm}$, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

- návrhová pevnost: $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 4 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 4 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 251,47 \cdot 10^{-3}$
 $F_{w,Rd} = 150,88 \text{ kN} > N_{Ed} = 43,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

\rightarrow navržený přípoj vyhoví

12.2.3.2 Horní ztužidlo

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 12.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,189 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 88,97 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min (2,189; 2,5) = 2,189$$

$$a_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u} \right) = \min \left(\frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{500}{490} \right) = \min (0,648; 1,02) = 0,648$$

- stříh: $n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{11,37}{60,29} = 0,19$

- otláčení: $n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{11,37}{88,97} = 0,13$

\rightarrow návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – stropnice

- svislá složka síly: $F_{Hd} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 11,37 \cdot \cos 32,82^\circ = 9,56 \text{ kN}$

- vodorovná složka síly: $F_{Vd} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 11,37 \cdot \sin 32,82^\circ = 6,16 \text{ kN}$

- napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{9,56 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 268} = 5,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} + \frac{F_{Vd} \cdot e}{W_{we}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{6,16 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 268} + \frac{6,16 \cdot 10^3 \cdot 42,7}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 268^2} \right) = 5,3 \text{ MPa}$$

- posouzení:

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

$$\sqrt{5,3^2 + 3 \cdot (5,3^2 + 5,95^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

14,78 MPa \leq 435,56 MPa \rightarrow vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 5,3 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svarový přípoj styčnickový plech – trubka

- $4 \times a = 3 \text{ mm}$, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 150,88 \text{ kN}$ (podle kap. 12.2.3.1) $> N_{Ed} = 11,37 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje

\rightarrow navržený přípoj vyhoví

12.2.4 Přípoj příčných ztužidel

12.2.4.1 Spodní ztužidlo

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN} \text{ (podle kap. 12.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 101,63 \text{ kN} \text{ (podle kap. 12.2.3.1)}$$

- stříh: $n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{46,19}{60,29} = 0,77$

- otláčení: $n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{46,19}{101,63} = 0,45$

\rightarrow návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – průvlak

- svislá složka síly: $F_{Hd} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 46,19 \cdot \cos 33,02^\circ = 38,73 \text{ kN}$

- vodorovná složka síly: $F_{Vd} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 46,19 \cdot \sin 33,02^\circ = 25,17 \text{ kN}$

- napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{38,73 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 264} = 24,45 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} + \frac{F_{Vd} \cdot e}{W_{we}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{25,17 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 264} + \frac{25,17 \cdot 10^3 \cdot 53,87}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 264^2} \right) = 24,99 \text{ MPa}$$

- posouzení:

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

$$\sqrt{24,99^2 + 3 \cdot (24,99^2 + 24,45^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$65,51 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 24,99 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svarový přípoj styčnickový plech – trubka

- $4 \times a = 3 \text{ mm}$, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 150,88 \text{ kN}$ (podle kap. 12.2.3.1) $> N_{Ed} = 46,19 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

→ navržený přípoj vyhoví

12.2.4.2 Horní ztužidlo

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN} \text{ (podle kap. 11.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,189 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 88,97 \text{ kN} \text{ (podle kap. 11.2.3.2)}$$

$$\text{- stříh: } n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{8,79}{60,29} = 0,15$$

$$\text{- otláčení: } n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{8,79}{88,97} = 0,1$$

→ návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – průvlak

- svislá složka síly: $F_{Hd} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 8,79 \cdot \cos 36,41^\circ = 7,07 \text{ kN}$

- vodorovná složka síly: $F_{Vd} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 8,79 \cdot \sin 36,41^\circ = 5,22 \text{ kN}$

- napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{7,07 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 220} = 5,36 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} + \frac{F_{Vd} \cdot e}{W_{we}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{5,22 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 220} + \frac{5,22 \cdot 10^3 \cdot 51,78}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 220^2} \right) = 6,75 \text{ MPa}$$

- posouzení:

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

$$\sqrt{6,75^2 + 3 \cdot (6,75^2 + 5,36^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

16,38 MPa ≤ 435,56 MPa → vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 6,75 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svarový přípoj styčníkový plech – trubka

- 4 x a = 3 mm, L_{we} = 50 mm

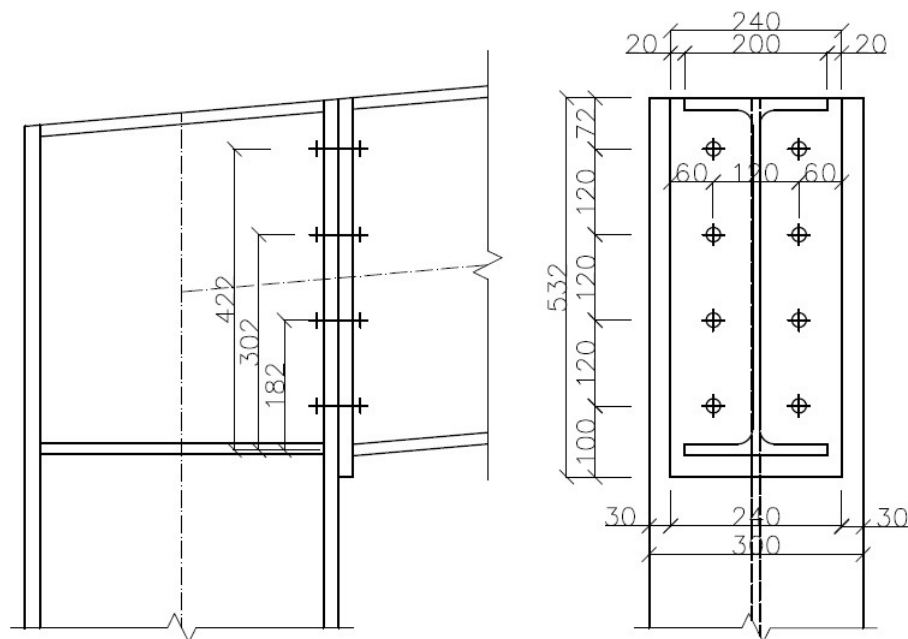
- únosnost svaru: F_{w,Rd} = 150,88 kN (podle kap. 11.2.3.1) > N_{Ed} = 11,37 kN → vyhovuje

→ navržený přípoj vyhoví

12.3 Rámový roh (detail D4)

- přípoj rámového rohu z kap. 6

- obálky vnitřních sil podle kap. 6.1 (M_{Ed} = 143,71 kNm, V_{Ed} = 65,09 kN)



Obr. 12.9 : Geometrie přípoje

12.3.1 Návrh svarů

- a_{min} = 4 mm (pro t_{max} = 11 – 20 mm)

- a_{min} = 5 mm (pro t_{max} = 21 – 30 mm)

- a_{max} = 1,1 · t_{min}

Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

- tupý svar s plným provařením

Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

- tupý svar s plným provařením

Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_w \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u/\sqrt{2}} = \frac{10,2}{2} \cdot \frac{355}{1,0} \cdot \frac{0,9 \cdot 1,25}{490/\sqrt{2}} = 5,89 \text{ mm} \rightarrow a_w = 6 \text{ mm}$$

12.3.2 Určení rozměrů dílčích komponent

- výztuha stojiny sloupu: $t_v = 16 \text{ mm}$

- čelní deska: $t_d = 22 \text{ mm}$

- šrouby M20, 8.8

12.3.3 Únosnost řad šroubů v tahu

- náhradní T-průřez

- 3 způsoby porušení:

1. plastický mechanismus (4 plastické klouby):

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot I_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

t_{fc} ... tloušťka pásnice sloupu ($< t_d = 22 \text{ mm}$)

$I_{eff,1}$... efektivní šířka T-průřezu pro kruhové porušení

2. plastický mechanismus – páčení (2 plastické klouby + porušení šroubů v tahu):

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot I_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$I_{eff,2}$... efektivní šířka T-průřezu pro neokružové porušení

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 245 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 141,12 \text{ (únosnost jednoho šroubu v tahu)}$$

3. porušení šroubů v tahu: $F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

Únosnost 1. řady šroubů

$$c_1 = 0 \text{ mm}$$

$$m_2 = 56 - c_1 = 54 - 0 = 56 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$m = 54,9 - c_2 = 54,9 - 6,79 = 48,11 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{48,11}{48,11+60} = 0,445$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{56}{48,11+60} = 0,518$$

$$\alpha = 5,72$$

$$n = \min(e, 1,25 \cdot m) = \min(60; 1,25 \cdot 48,11) = 60 \text{ mm}$$

- efektivní šířka náhradního T-průřezu:

- řada šroubů působí samostatně:

$$l_{\text{eff, cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 48,11 = 302,28 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = \alpha \cdot m = 5,72 \cdot 48,11 = 275,19 \text{ mm}$$

- řada šroubů působí jako součást skupiny:

$$l_{\text{eff, cp}} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 48,11 + 120 = 270,8 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e)$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 0,5 \cdot 120 + 5,72 \cdot 48,11 - (2 \cdot 48,11 + 0,625 \cdot 60)$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 201,47 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \min(l_{\text{eff, cp}}, l_{\text{eff, nc}}) = 201,47 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff, nc}} = 201,47 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 201,47 \cdot 21^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 7,885 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 201,47 \cdot 21^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 7,885 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot 7,885 \cdot 10^3}{48,11} = 655,6 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot 7,885 \cdot 10^6 + 60 \cdot 2 \cdot 141,12 \cdot 10^3}{48,11 + 60} \cdot 10^{-3} = 302,51 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,c,Rd}} = 2 \cdot 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost koncové řady šroubů:

$$F_{\text{t,1,Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}, F_{\text{t,b,Rd}}, F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(655,6; 302,51; 282,24) = 282,24 \text{ kN}$$

Únosnost 2. a 3. řady šroubů

$$m_2 = p = 120 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$m = 54,9 - c_2 = 54,9 - 6,79 = 48,11 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{48,11}{48,11+60} = 0,445$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{120}{48,11+60} = 1,11$$

$$\alpha = 5,7$$

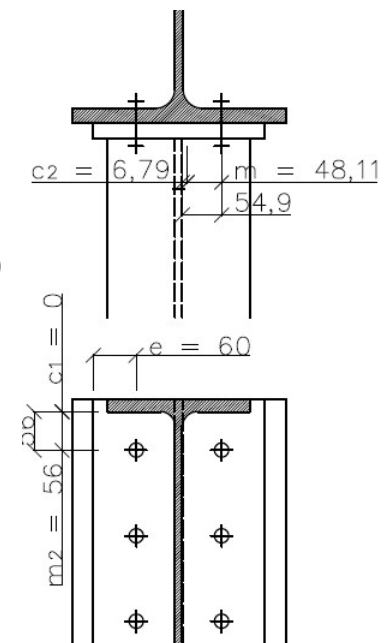
$$n = \min(e, 1,25 \cdot m) = \min(60; 1,25 \cdot 48,11) = 60 \text{ mm}$$

- efektivní šířka náhradního T-průřezu:

- řada šroubů působí samostatně:

$$l_{\text{eff, cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 48,11 = 302,28 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 48,11 + 1,25 \cdot 60 = 267,44 \text{ mm}$$



Obr. 12.10: Rozměry T-průřezu

- řada šroubů působí jako součást skupiny:

$$l_{\text{eff, cp}} = 2 \cdot p = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = p = 120 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \min(l_{\text{eff, cp}}, l_{\text{eff, nc}}) = 120 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff, nc}} = 120 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 120 \cdot 21^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 4,7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 120 \cdot 21^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 4,7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot 4,7 \cdot 10^3}{48,11} = 390,77 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot 4,7 \cdot 10^6 + 60 \cdot 2 \cdot 141,12 \cdot 10^3}{48,11 + 60} \cdot 10^{-3} = 243,59 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,c,Rd}} = 2 \cdot 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost koncové řady šroubů:

$$F_{\text{t,2,Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}, F_{\text{t,b,Rd}}, F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(390,77; 243,59; 282,24) = 243,59 \text{ kN}$$

Únosnost 4. řady šroubů – smyková únosnost

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

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

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{\text{b,Rd}} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{\text{M2}}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 21 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 411,6 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{60}{22} - 1,7; 2,5\right) = \min(5,936; 2,5) = 2,5$$

$$a_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{\text{ub}}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{100}{3 \cdot 22}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = \min(1,515; 1,633; 1,0) = 1,0$$

- únosnost šroubů ve smyku:

$$V_{\text{Rd}} = 2 \cdot \min(F_{\text{v,Rd}}; F_{\text{b,Rd}}) = 2 \cdot \min(94,08; 411,6) = 188,16 \text{ kN} > V_{\text{Ed}} = 65,09 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

12.3.4 Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{\text{c,fb,Rd}} = \frac{W_{\text{pl,y}} \cdot f_{\text{yk}}}{(h - t_f) \cdot \gamma_{\text{M0}}} = \frac{2194 \cdot 355}{(500 - 16) \cdot 1,0} = 1609,24 \text{ kN}$$

- ověření podmínky tažených šroubů a tlačené pásnice:

$$F_{\text{c,fb,Rd}} \geq \sum F_{\text{t,i,Rd}}$$

$$F_{\text{c,fb,Rd}} = 1609,24 > \sum F_{\text{t,i,Rd}} = 282,24 + 2 \cdot 243,59 = 769,42 \text{ kN}$$

→ podmínka je splněna, není nutné redukovat spodní řadu šroubů započítanou do momentové únosnosti

Únosnost stěny sloupu ve smyku

- třída průřezu stěny sloupu: $\frac{d}{t_w} = \frac{344}{11,5} = 29,913 \leq 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 0,814 = 58,608$ (třída 1)

- příspěvek příčných výztuh a pásnic sloupu: $V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right)$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} \cdot b \cdot t_f^2 \cdot f_{yd} = \frac{1}{4} \cdot 300 \cdot 21^2 \cdot 355 = 11,74 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} \cdot b_{st} \cdot t_{st}^2 \cdot f_{yd} = \frac{1}{4} \cdot 300 \cdot 21^2 \cdot 355$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} \cdot 240 \cdot 16^2 \cdot 355 = 5,45 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4 \cdot 11,74 \cdot 10^3}{484}; \frac{2 \cdot 11,74 \cdot 10^3 + 2 \cdot 5,45 \cdot 10^3}{484}\right)$$

$$V_{wp,add,Rd} = \min(97,02; 71,03) = 71,03 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_v^{HEA}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} = \frac{0,9 \cdot 355 \cdot 6578}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} + 71,03$$

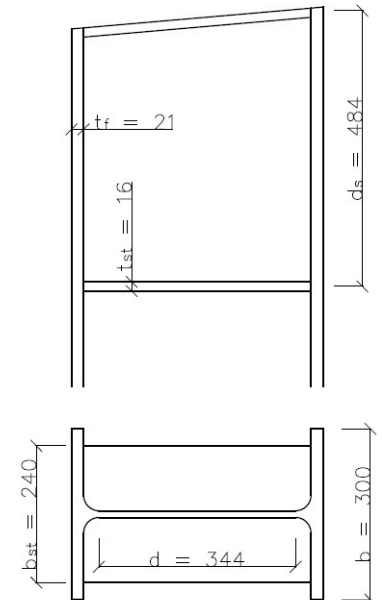
$$V_{wp,Rd} = 1213,4 + 71,03 = 1284,43 \text{ kN}$$

- podmínka únosnosti stěny sloupu ve smyku:

$$V_{wp,Rd} \geq \sum F_{t,i,Rd}$$

$$V_{wp,Rd} = 1284,43 \text{ kN} > \sum F_{t,i,Rd} = 769,42 \text{ kN}$$

→ podmínka je splněna, není třeba navrhovat žádná další opatření



Obr. 12.11: Rozměry sloupu

Rozdělení sil a momentová únosnost

- plastické rozdělení sil: splnění podmínek výše v této kapitole a splnění podmínky $F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd}$

- stačí prokázat u horní řady šroubů (další řady mají nižší únosnost):

$$F_{t,1,Rd} = 225,87 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot 203,33 = 386,33 \text{ kN} \text{ (splněno, je možné použít plastické rozdělení)}$$

- momentová únosnost:

$$M_{Rd} = \sum F_{t,i,Rd} \cdot h_i = 282,24 \cdot 0,422 + 243,59 \cdot (0,302 + 0,182)$$

$$M_{Rd} = 237 \text{ kNm} > M_{Ed} = 143,71 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- osová síla ve styčnicku: $N_{Ed} = 17,82 \text{ kN}$

- osovou sílu lze zanedbat, pokud nepřekročí 10% únosnosti připojovaného nosníku:

$$0,1 \cdot N_{pl,Rd} = 0,1 \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,1 \cdot \frac{11550 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 410,03 \text{ kN} > N_{Ed} = 17,82 \text{ kN} \text{ (lze zanedbat)}$$

→ navržený styčník vyhoví

12.3.5 Připojení trubky

- maximální osová síla (maximální reakce v posuvném kloubu z kap. 11): $N_{Ed} = 43,88 \text{ kN}$

- trubka přicházející z administrativní části svírá s vodorovnou i svislou rovinou malý úhel (1,43° od svislé roviny a 1,41° od vodorovné roviny) způsobený posunutím osy nosníků, který je ve výpočtu zanedbán

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 12.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 101,63 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{48}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min (5,767; 2,5) = 2,5$$

$$a_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u} \right) = \min \left(\frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{500}{490} \right) = \min (0,648; 1,02) = 0,648$$

- stříh: $n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{43,88}{60,29} = 0,77$

- otláčení: $n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{43,88}{101,63} = 0,45$

→ návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – sloup

- 2 x a = 4 mm, $L_{we} = 96 \text{ mm}$

- návrhová pevnost: $f_{vw,d} = 251,47 \text{ MPa}$ (podle kap. 12.2.3.1)

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 2 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 2 \cdot 4 \cdot 96 \cdot 251,47 \cdot 10^{-3}$
 $F_{w,Rd} = 193,13 \text{ kN} > N_{Ed} = 43,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Svarový přípoj styčnickový plech – trubka

- 4 x a = 3 mm, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

- návrhová pevnost: $f_{vw,d} = 251,47 \text{ MPa}$ (podle kap. 12.2.3.1)

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 4 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 4 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 251,47 \cdot 10^{-3}$
 $F_{w,Rd} = 150,88 \text{ kN} > N_{Ed} = 43,98 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

→ navržený přípoj vyhoví

12.3.6 Ověření únosnosti oslabené stěny sloupu ve smyku

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_v^{HEA}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} = \frac{0,9 \cdot 355 \cdot (6578 - 22 \cdot 11,5)}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} + 71,03$$

$$V_{wp,Rd} = 1166,73 + 71,03 = 1237,76 \text{ kN}$$

- podmínka únosnosti stěny sloupu ve smyku:

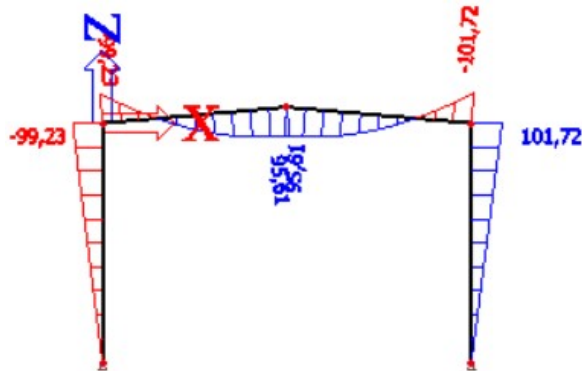
$$V_{wp,Rd} \geq \sum F_{t,i,Rd}$$

$$V_{wp,Rd} = 1237,76 \text{ kN} > \sum F_{t,i,Rd} = 769,42 \text{ kN}$$

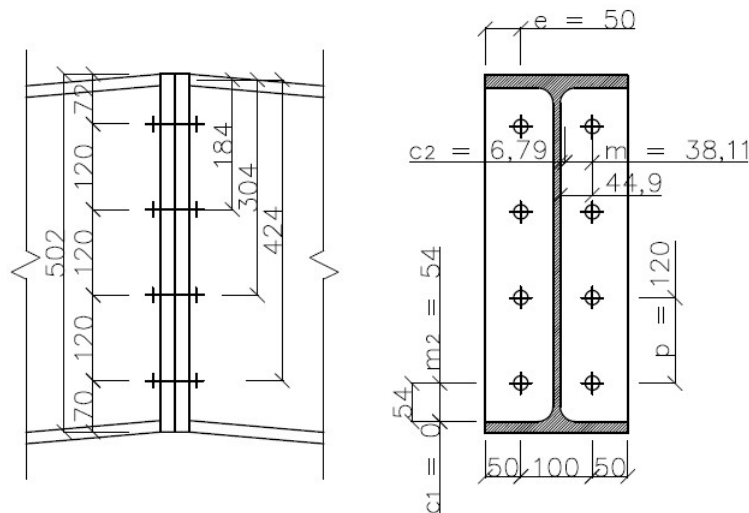
→ podmínka je splněna, není třeba navrhovat žádná další opatření

12.4 Přípoj ve vrcholu rámu (detail D5)

- přípoj rámu z kap. 6
- rozhodující kombinace: nepříznivé stálé zatížení, zatížení sněhem i
 - návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = 95,61 \text{ kNm}$
 - odpovídající posouvající síla: $V_{Ed} = 1,34 \text{ kN}$
 - maximální posouvající síla: $V_{Ed,max} = 18,52 \text{ kN}$



Obr. 12.12: Průběh ohybového momentu v rozhodující kombinaci [kNm]



Obr. 12.13: Geometrie přípoje

12.4.1 Návrh svarů

Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

- tupý svar s plným provařením

Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

- tupý svar s plným provařením

Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_w \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} = \frac{10,2}{2} \cdot \frac{355}{1,0} \cdot \frac{0,9 \cdot 1,25}{490 / \sqrt{2}} = 5,89 \text{ mm} \rightarrow a_w = 6 \text{ mm}$$

12.4.2 Únosnost řad šroubů v tahu

- šrouby M20, 8.8 (v případě M16, 8.8 jsou šrouby rozhodující komponentou přípoje)
- únosnost jednoho šroubu v tahu: $F_{t,Rd} = 141,12 \text{ kN}$ (podle kap. 12.3.3)

Únosnost 1. řady šroubů

$$c_1 = 0 \text{ mm}$$

$$m_2 = 54 - c_1 = 54 - 0 = 54 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$m = 54,9 - c_2 = 44,9 - 6,79 = 38,11 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{38,11}{38,11+50} = 0,433$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{54}{38,11+50} = 0,613$$

$$\alpha = 5,92$$

$$n = \min(e, 1,25 \cdot m) = \min(50; 1,25 \cdot 38,11) = 47,64 \text{ mm}$$

- efektivní šířka náhradního T-průřezu:

- řada šroubů působí samostatně:

$$l_{\text{eff, cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 38,11 = 239,45 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = \alpha \cdot m = 5,92 \cdot 38,11 = 225,61 \text{ mm}$$

- řada šroubů působí jako součást skupiny:

$$l_{\text{eff, cp}} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 38,11 + 120 = 239,73 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e)$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 0,5 \cdot 120 + 5,92 \cdot 38,11 - (2 \cdot 38,11 + 0,625 \cdot 50)$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 178,14 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \min(l_{\text{eff, cp}}, l_{\text{eff, nc}}) = 178,14 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff, nc}} = 178,14 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 178,14 \cdot 16^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 4,047 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 178,14 \cdot 16^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 4,047 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot 4,047 \cdot 10^3}{38,11} = 424,81 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot 4,047 \cdot 10^6 + 50 \cdot 2 \cdot 141,12 \cdot 10^3}{38,11 + 50} \cdot 10^{-3} = 252,03 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,c,Rd}} = 2 \cdot 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost koncové řady šroubů:

$$F_{\text{t,1,Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}, F_{\text{t,b,Rd}}, F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(424,81; 252,03; 282,24) = 252,03 \text{ kN}$$

Únosnost 2. a 3. řady šroubů

$$m_2 = p = 120 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 6,79 \text{ mm}$$

$$m = 44,9 - c_2 = 44,9 - 6,79 = 38,11 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{38,11}{38,11+50} = 0,433$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{120}{38,11+50} = 1,362$$

$$\alpha = 5,78$$

$$n = \min(e, 1,25 \cdot m) = \min(50; 1,25 \cdot 38,11) = 47,64 \text{ mm}$$

- efektivní šířka náhradního T-průřezu:

- řada šroubů působí samostatně:

$$l_{\text{eff, cp}} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 38,11 = 239,45 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 38,11 + 1,25 \cdot 50 = 214,94 \text{ mm}$$

- řada šroubů působí jako součást skupiny:

$$l_{\text{eff, cp}} = 2 \cdot p = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff, nc}} = p = 120 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,1}} = \min(l_{\text{eff, cp}}, l_{\text{eff, nc}}) = 120 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff, nc}} = 120 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl,1,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 120 \cdot 16^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 2,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{pl,2,Rd}} = \frac{1}{4} \cdot 120 \cdot 16^2 \cdot \frac{355}{1,0} = 2,73 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{\text{t,a,Rd}} = \frac{4 \cdot 2,73 \cdot 10^3}{38,11} = 286,16 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,b,Rd}} = \frac{2 \cdot 2,73 \cdot 10^6 + 50 \cdot 2 \cdot 141,12 \cdot 10^3}{38,11 + 50} \cdot 10^{-3} = 222,13 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t,c,Rd}} = 2 \cdot 141,12 = 282,24 \text{ kN}$$

- únosnost koncové řady šroubů:

$$F_{\text{t,2,Rd}} = \min(F_{\text{t,a,Rd}}, F_{\text{t,b,Rd}}, F_{\text{t,c,Rd}}) = \min(286,16; 222,13; 282,24) = 222,13 \text{ kN}$$

Únosnost 4. řady šroubů – smyková únosnost

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

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

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 16 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 313,6 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{50}{18} - 1,7; 2,5 \right) = \min (6,078; 2,5) = 2,5$$

$$a_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) = \min \left(\frac{70}{3 \cdot 18}; \frac{800}{490}; 1,0 \right) = \min (1,296; 1,633; 1,0) = 1,0$$

- únosnost šroubů ve smyku:

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min (F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min (94,08; 313,6) = 188,16 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 18,52 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

12.3.4 Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{(h - t_f) \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2194 \cdot 355}{(500 - 16) \cdot 1,0} = 1609,24 \text{ kN}$$

- ověření podmínky tažených šroubů a tlačené pásnice:

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum F_{t,i,Rd}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1609,24 > \sum F_{t,i,Rd} = 252,03 + 2 \cdot 222,13 = 696,29 \text{ kN}$$

→ podmínka je splněna, není nutné redukovat spodní řadu šroubů započítanou do momentové únosnosti

Rozdělení sil a momentová únosnost

- plastické rozdělení sil: splnění podmínky výše a splnění podmínky $F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd}$

- všechny řady šroubů mají stejnou únosnost:

$$F_{t,1,Rd} = 252,03 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot 141,12 = 268,13 \text{ kN} \text{ (splněno, je možné použít plastické rozdělení)}$$

- momentová únosnost:

$$M_{Rd} = \sum F_{t,i,Rd} \cdot h_i = 252,03 \cdot 0,424 + 222,13 \cdot (0,304 + 0,184)$$

$$M_{Rd} = 215,26 \text{ kNm} > M_{Ed} = 95,61 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- osová síla ve styčnicku: $N_{Ed} = 22,13 \text{ kN}$

- osovou sílu lze zanedbat, pokud nepřekročí 10% únosnosti připojovaného nosníku:

$$0,1 \cdot N_{pl,Rd} = 0,1 \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,1 \cdot \frac{11550 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 410,03 \text{ kN} > N_{Ed} = 22,13 \text{ kN} \text{ (lze zanedbat)}$$

→ navržený styčnick vyhoví

12.4.5 Připojení trubky

- šrouby M16, 8.8

- maximální osová síla (maximální reakce v posuvném kloubu z kap. 11): $N_{Ed} = 49,29 \text{ kN}$

- trubka přicházející z administrativní části svírá s vodorovnou rovinou malý úhel ($1,53^\circ$) způsobený posunutím osy nosníků, který je ve výpočtu zanedbán

Návrh šroubů: M16 8.8

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 12.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 101,63 \text{ kN (podle kap. 12.3.5)}$$

- stříh: $n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{49,29}{60,29} = 0,82$

- otláčení: $n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{43,88}{101,63} = 0,48$

→ návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – sloup

- 2 x a = 4 mm, $L_{we} = 96 \text{ mm}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 193,13 \text{ kN (podle kap. 12.3.5)} > N_{Ed} = 49,29 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje

Svarový přípoj styčnickový plech – trubka

- 4 x a = 3 mm, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 150,88 \text{ kN (podle kap. 12.3.5)} > N_{Ed} = 49,29 \text{ kN} \rightarrow$ vyhovuje

→ navržený přípoj vyhoví

12.6 Kloubová patka bez ztužidla (detail D6)

- patka rámu z kap. 6

- založení na zemině G4

únosnost při šířce základu 1 m: $R_d = 300 \text{ kPa}$

únosnost při šířce základu 0,5 m: $R_d = 250 \text{ kPa}$

předpokládaná šířka základu: 0,6 m $\rightarrow R_d = 260 \text{ kPa}$

- beton C20/25: $f_{ctd} = \phi_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{1,5}{1,5} = 0,8 \text{ MPa}$

- $N_{Ed} = 98,38 \text{ kN (podle kap. 6)}$

- výstřednost zatížení patky: $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed} + G_0} = 0 \text{ m}$

- sloup HEA 450 (půdorysné rozměry 440x300 mm)

- potřebná efektivní plocha patky: $\sigma = \frac{N_{Ed} + G_0}{A_{eff}} \leq R_d$

$$A_{eff} \geq \frac{N_{Ed} + G_0}{R_d} = \frac{1,1 \cdot 98,38}{260} = 0,4162 \text{ m}^2$$

- šířka patky b: $A_{eff} = b \cdot (b - 2 \cdot e) = b^2$

$$b \geq \sqrt{A_{eff}} = \sqrt{0,4162} = 0,645 \rightarrow b = 0,65 \text{ m (> 0,6 m – předpoklad)}$$

- skutečná efektivní plocha: $A_{eff} = b^2 = 0,65^2 = 0,4225 \text{ m}^2$

- napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základové patky: $\sigma_{Gd} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{98,38}{0,4225} = 232,85 \text{ kN}$

- napětí v krajních vláknech: $\sigma_{ct} = \frac{M_c}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sigma_{Gd} \cdot l \cdot a^2}{\frac{1}{6} \cdot l \cdot h_f^2}$; $a = (b - a_{si})/2 = (0,65 - 0,3)/2 = 0,175$ m

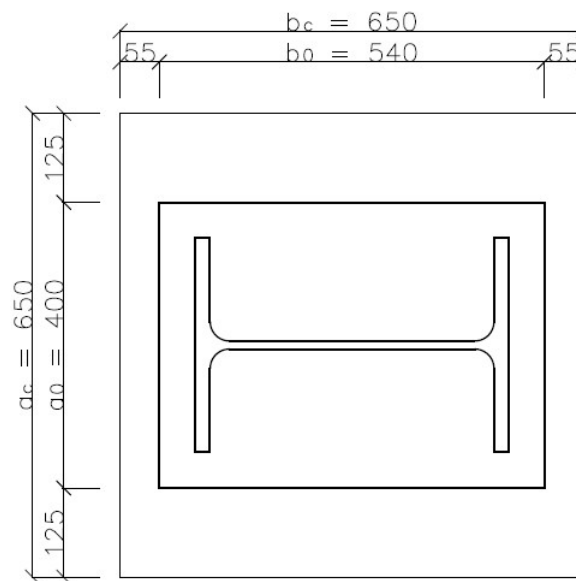
→ výška patky: $h_f \geq \frac{a}{0,85} \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{Gd}}{f_{ctd}}} = \frac{0,175}{0,85} \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{232,85}{800}} = 0,192$ m → $h_f = 0,2$ m

- skutečná vlastní tíha patky: $G_{od} = \gamma_G \cdot b^2 \cdot h_f \cdot \gamma_{bet} = 1,35 \cdot 0,65^2 \cdot 0,2 \cdot 24 = 2,74$ kN

- posouzení základové spáry: $\sigma_d = \frac{N_{Ed} + G_o}{A_{eff}} = \frac{98,38 + 2,74}{0,4225} = 239,33$ kPa ≤ $R_d = 260$ kPa → vyhovuje

- posouzení únosnosti patky na ohyb:

$$\sigma_{ct} = \frac{M_c}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sigma_{Gd} \cdot l \cdot a^2}{\frac{1}{6} \cdot l \cdot h_f^2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 232,85 \cdot 0,175^2}{\frac{1}{6} \cdot 0,2^2} = 534,83 \text{ kPa} < f_{ctd} = 800 \text{ kPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 12.14: Rozměry patky

- započitatelné rozměry betonové patky:

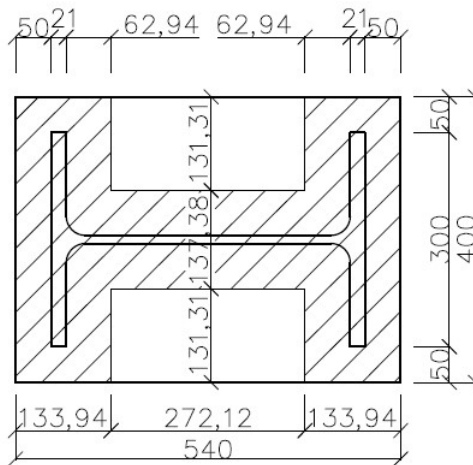
$$a_1 = \min(3 \cdot a_0; a_0 + h_f; a_c) = \min(3 \cdot 0,4; 0,4 + 0,2; 0,65) = 0,6 \text{ m}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b_0; b_0 + h_f; b_c) = \min(3 \cdot 0,54; 0,54 + 0,2; 0,65) = 0,65 \text{ m}$$

- součinitel koncentrace napětí: $k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_0 \cdot b_0}} = \sqrt{\frac{0,6 \cdot 0,65}{0,4 \cdot 0,54}} = 1,344$

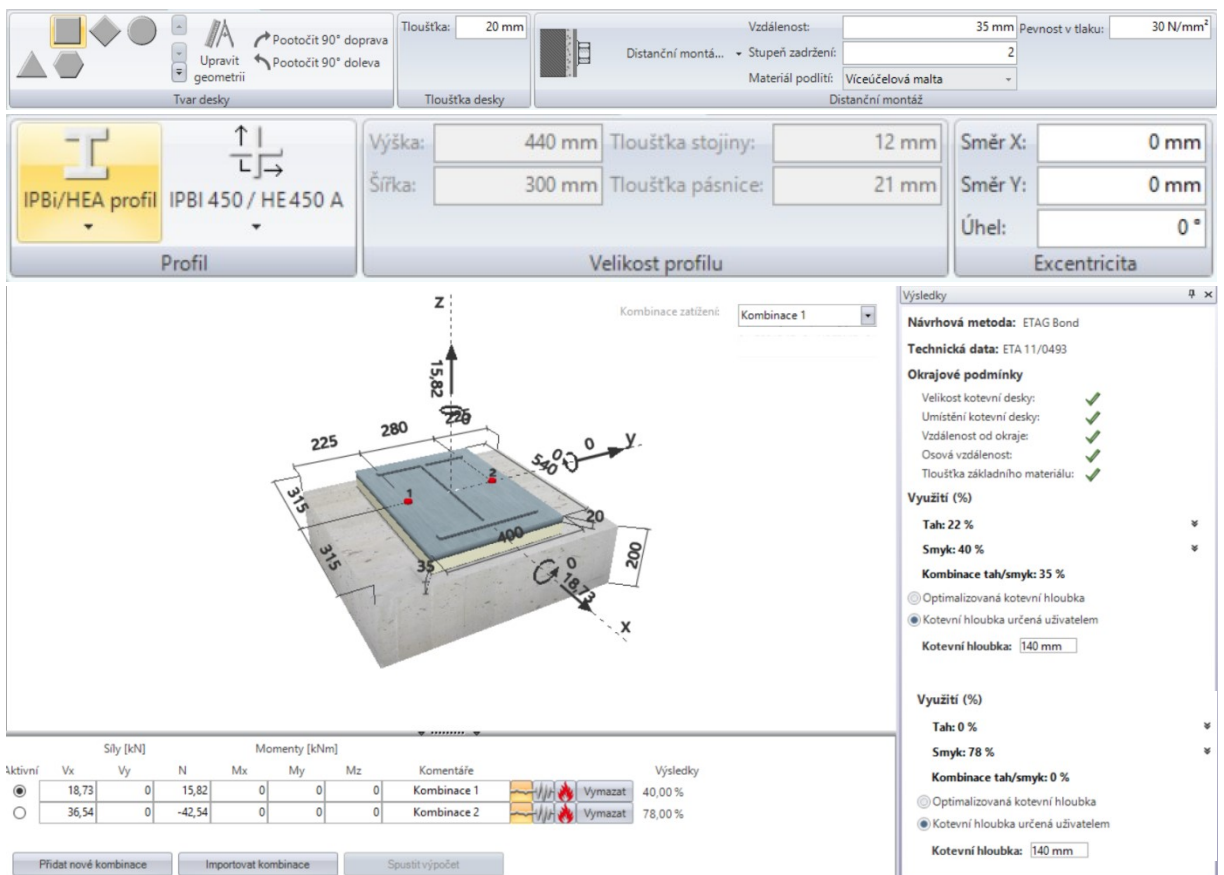
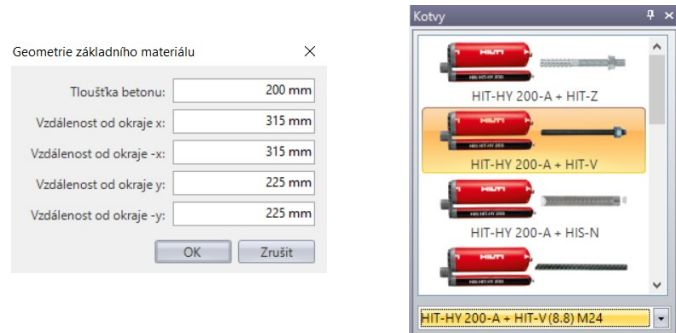
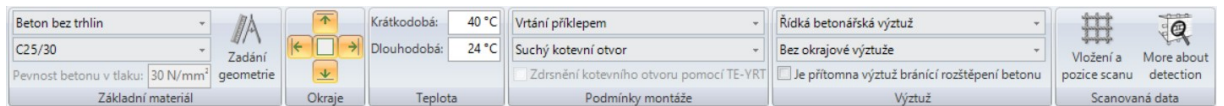
- návrhová pevnost betonu: $f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2 \cdot 1,344 \cdot 20}{3 \cdot 1,5} = 11,95$ MPa

- účinná šířka patní desky: $c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 11,95}} = 62,94$ mm



Obr. 12.15: Účinná plocha patní desky

- účinná plocha patní desky: $A_{\text{eff}} = 144\,535,85 \text{ mm}^2$
- únosnost patky: $N_{\text{Rd}} = A_{\text{eff}} \cdot f_{\text{jd}} = 144\,535,85 \cdot 11,95 \cdot 10^{-3} = 1727,2 \text{ kN} > N_{\text{Ed}} = 98,38 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$
- ověření tahu: $N_{\text{Ed,t}} = 15,82 \text{ kN}$, odpovídající posouvající síla: $V_{\text{Ed}} = 18,73 \text{ kN}$
- maximální posouvající síla: $V_{\text{Ed,2}} = 36,54 \text{ kN}$ (odpovídající normálová síla: $N_{\text{Ed,2}} = 42,54 \text{ kN}$ – tlak)
- tah i smyk přenáší 2 kotvy M24, 8.8 lepené ve vrtaných kanálech



Obr 12.16: Zadání do programu Hilti PROFIS Anchor

- využití při kombinaci 1: 22% tah a 40% smyk
- využití při kombinaci 2: 0% tah a 78% smyk

→ 2x M24, 8.8 vyhoví

12.7 Kloubová patka se ztužidlem (detail D7)

12.7.1 Návrh a posouzení patky

- patka sloupu C1 (zatížení podle kap. 10.3.3)

- návrhová normálová síla: $N_{Ed} = 223,6$ kN (tlak)

- odpovídající návrhové posouvající síly (a zároveň maximální): $V_{y,Ed} = 61,93$ kN
 $V_{z,Ed} = 43,99$ kN

- tah v patě sloupu nevzniká v žádné kombinaci

- založení na zemině G4

únosnost při šířce základu 1 m: $R_d = 300$ kPa

odhad rozměrů patky: 1 x 1 x 0,25 m

- beton C20/25: $f_{ctd} = \phi_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{1,5}{1,5} = 0,8$ MPa

- výstřednost zatížení patky: $e_y = \frac{M_{Ed} + V_{y,Ed} \cdot h}{N_{Ed} + G_0} = \frac{0 + 61,93 \cdot 0,25}{223,6 + 8,1} = 0,0668$ m

- výstřednost zatížení patky: $e_z = \frac{M_{Ed} + V_{z,Ed} \cdot h}{N_{Ed} + G_0} = \frac{0 + 43,99 \cdot 0,25}{223,6 + 8,1} = 0,0475$ m

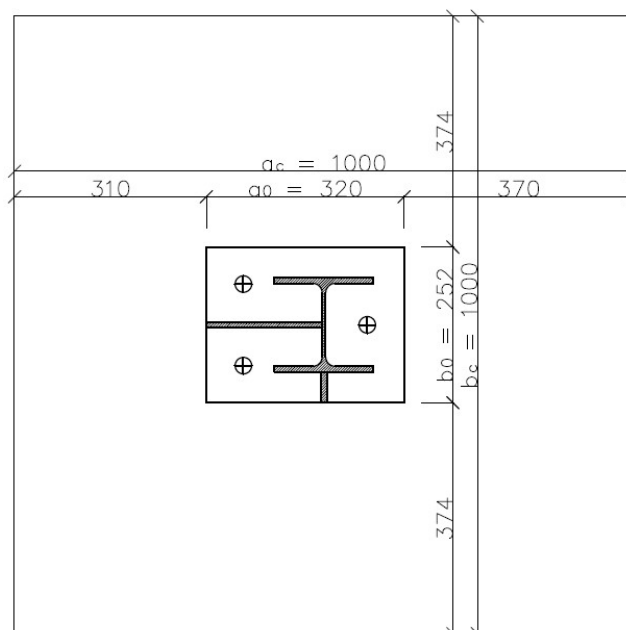
- sloup HEA 160 (půdorysné rozměry 152x160 mm)

- efektivní plocha: $A_{eff} = (b - 2 \cdot e_y) \cdot (b - 2 \cdot e_z) = (1 - 2 \cdot 0,0668) \cdot (1 - 2 \cdot 0,0475)$
 $A_{eff} = 0,784$ m²

- posouzení základové spáry: $\sigma_d = \frac{N_{Ed} + G_0}{A_{eff}} = \frac{223,6 + 8,1}{0,784} = 295,54$ kPa $\leq R_d = 300$ kPa \rightarrow vyhovuje

- posouzení únosnosti patky na ohyb:

$$\sigma_{ct} = \frac{M_c}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sigma_{Gd} \cdot l \cdot a^2}{\frac{1}{6} \cdot A_{eff}^2 \cdot h_f} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 223,6 \cdot 0,424^2}{\frac{1}{6} \cdot 0,784^2 \cdot 0,25} = 615,27$$
 kPa $< f_{ctd} = 800$ kPa \rightarrow vyhovuje



Obr. 12.17: Rozměry patky

- započitatelné rozměry betonové patky:

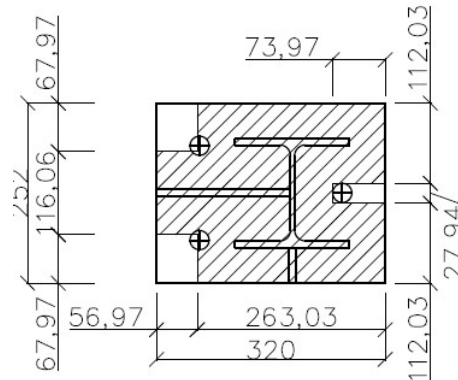
$$a_1 = \min(3 \cdot a_0; a_0 + h_f; a_c) = \min(3 \cdot 0,32; 0,32 + 0,25; 1) = 0,57 \text{ m}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b_0; b_0 + h_f; b_c) = \min(3 \cdot 0,252; 0,252 + 0,25; 1) = 0,502 \text{ m}$$

- součinitel koncentrace napětí: $k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_0 \cdot b_0}} = \sqrt{\frac{0,576 \cdot 0,502}{0,32 \cdot 0,252}} = 1,894$

- návrhová pevnost betonu: $f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2 \cdot 1,894 \cdot 20}{3 \cdot 1,5} = 16,83 \text{ MPa}$

- účinná šířka patní desky: $c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16,83}} = 53,03 \text{ mm}$



Obr. 12.18: Účinná plocha patní desky

- účinná plocha patní desky: $A_{eff} = 70\,828,78 \text{ mm}^2$

- únosnost patky: $N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 70\,828,78 \cdot 16,83 \cdot 10^{-3} = 1192,05 \text{ kN} > N_{Ed} = 223,6 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

- ověření tahu: nevzniká

- maximální síla přenášená smykovou zarážkou/kotvami:

$$F_{y,Ed} = 56,95 - 0,2 \cdot 179,65 = 21,02 \text{ kN (příznivé stálé zatížení, příčný vítr zleva s vnitřním tlakem)}$$

$$\text{odpovídající reakce ve směru z: } 39,25 \text{ kN (přenos zarážkou: } 3,32 \text{ kN)}$$

$$F_{z,Ed} = 37,11 - 0,2 \cdot 165,14 = 4,08 \text{ kN (příznivé stálé zatížení, příčný vítr zleva bez vnitřního tlaku)}$$

$$\text{odpovídající reakce ve směru y: } 40,17 \text{ kN (přenos zarážkou: } 7,14 \text{ kN)}$$

- smyk bude přenášen 3 kotvami M27, 8.8 lepenými ve vrtaných kanálech

Beton bez trhlín	Zadání geometrie	Krátkodobá: 40 °C	Vrtání příklepem	Řídká betonářská výztuž	Vložení a pozice scanu
C25/30	Okraje	Dlouhodobá: 24 °C	Suchý kotevní otvor	Bez okrajové výztuže	
Pevnost betonu v tlaku: 30 N/mm ²	Základní materiál	Teplota	Zdrsnění kotevního otvoru pomocí TE-YRT	Je přítomna výztuž bránící rozštěpení betonu	More about detection
			Podmínky montáže	Výztuž	Scanovaná data

Geometrie základního materiálu

Tloušťka betonu: 250 mm

Vzdálenost od okraje x: 434 mm

Vzdálenost od okraje -x: 434 mm

Vzdálenost od okraje y: 430 mm

Vzdálenost od okraje -y: 370 mm

OK Zrušit

HIT-HY 200-A + HIT-Z

HIT-HY 200-A + HIT-V

HIT-HY 200-A + HIS-N

HIT-HY 200-A + HIT-V(8.8) M27

Č.	X	Y
1	-66	-100
2	66	-100
3	0	100

Excentricita profilu

Směr X: 0 mm Úhel: 0°

Směr Y: 30 mm

Tvar desky

Upravit geometrii

Pootočit 90° doprava

Pootočit 90° doleva

Tloušťka: 20 mm

Tloušťka desky

Distanční montáž

Vzdálenost: 30 mm

Stupeň zadržení: 2

Materiál podlití: Víceúčelová malta

Distanční montáž

Pevnost v tlaku: 30 N/mm²

IPBi/HEA profil IPBI 160 / HE 160 A

Profil

Výška: 152 mm

Šířka: 160 mm

Tloušťka stojiny: 6 mm

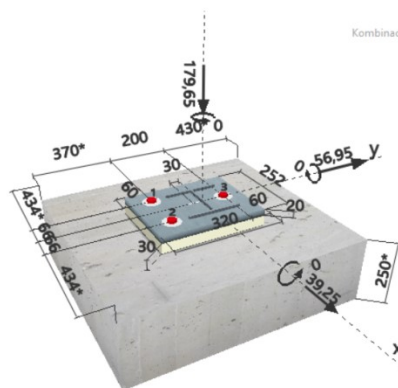
Tloušťka pásnice: 9 mm

Směr X: 0 mm

Směr Y: 30 mm

Úhel: 0°

Excentricita



Aktivní	Sily [kN]			Momenty [kNm]			Komentáře	Výsledky
	Vx	Vy	N	Mx	My	Mz		
●	39,25	56,95	-179,65	0	0	0	Kombinace 1	93,00 %
○	40,17	37,11	-165,14	0	0	0	Kombinace 2	77,00 %

Výsledky

Návrhová metoda: SOFA Bond

Technická data: ETA 11/0493

Okrajové podmínky

- Velikost kotevní desky: ✓
- Umístění kotevní desky: ✓
- Vzdálenost od okraje: ✓
- Osová vzdálenost: ✓
- Tloušťka základního materiálu: ✓

Využití (%)

Tah: 0 %

Smyk: 92 %

Kombinace tah/smyk: 0 %

Optimalizovaná kotevní hloubka

Kotevní hloubka určená uživatelem

Kotevní hloubka: 140 mm

Využití (%)

Tah: 0 %

Smyk: 76 %

Kombinace tah/smyk: 0 %

Optimalizovaná kotevní hloubka

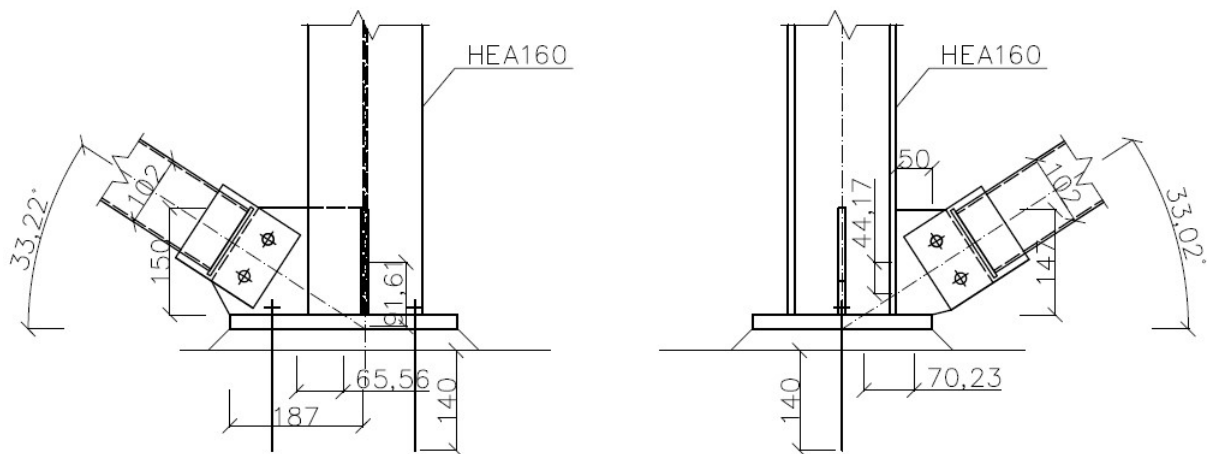
Kotevní hloubka určená uživatelem

Kotevní hloubka: 140 mm

Obr. 12.19: Zadání do programu Hilti PROFIS Anchor

- využití při kombinaci 1: 0% tah a 92% smyk
- využití při kombinaci 2: 0% tah a 76% smyk

→ 3x M27, 8.8 vyhoví



Obr. 12.20: Geometrie přípoje

12.7.1 Návrh a posouzení přípoje příčného ztužidla

Návrh šroubů: M16 8.8

- $N_{Ed} = 47,43$ kN

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 11.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,648 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 101,63 \text{ kN (podle kap. 11.2.3)}$$

- stříh: $n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{47,43}{60,29} = 0,79$

- otláčení: $n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{47,43}{101,63} = 0,47$

→ návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – patní deska

- svislá složka síly: $F_{Hd} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 47,43 \cdot \sin 33,02^\circ = 25,85$ kN

- vodorovná složka síly: $F_{Vd} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 47,43 \cdot \cos 33,02^\circ = 39,77$ kN

- napětí ve svaru - svislý:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{39,77 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 147} = 33,82 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} + \frac{F_{Hd} \cdot e}{W_{we}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{25,85 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 147} + \frac{25,85 \cdot 10^3 \cdot 44,17}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 147^2} \right) = 61,61 \text{ MPa}$$

- posouzení:

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

$$\sqrt{61,61^2 + 3 \cdot (61,61^2 + 33,82^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$136,44 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 61,61 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ svislý svar přenese celé zatížení, není nutné další posouzení, svar vyhoví

Svarový přípoj styčnickový plech – trubka

- 4 x a = 3 mm, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

- návrhová pevnost: $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ MPa}$

- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 4 \cdot a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 4 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 251,47 \cdot 10^{-3}$
 $F_{w,Rd} = 150,88 \text{ kN} > N_{Ed} = 47,43 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

→ navržený přípoj vyhoví

12.7.2 Návrh a posouzení přípoje podélného ztužidla

Návrh šroubů: M16 8.8

- $N_{Ed} = 64,05 \text{ kN}$

- únosnost šroubu ve stříhu (jednostřížný šroub, smyková rovina prochází závitem):

$$F_{v,Rd} = 60,29 \text{ kN (podle kap. 11.1.1)}$$

- únosnost šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = 101,63 \text{ kN}$$

- stříh: $n_v = \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{64,05}{60,29} = 1,06$

- otláčení: $n_b = \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{64,05}{101,63} = 0,63$

→ návrh: 2 šrouby M16 8.8

Svarový přípoj styčnickový plech – patní deska

- svislá složka síly: $F_{Hd} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 64,05 \cdot \sin 33,02^\circ = 34,9 \text{ kN}$

- vodorovná složka síly: $F_{Vd} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 64,05 \cdot \cos 33,02^\circ = 53,7 \text{ kN}$

- napětí ve svaru - svislý:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{53,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 150} = 44,75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} + \frac{F_{Hd} \cdot e}{W_{we}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{34,9 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 150} + \frac{34,9 \cdot 10^3 \cdot 91,61}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 150^2} \right) = 135,66 \text{ MPa}$$

- posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{135,66^2 + 3 \cdot (135,66^2 + 44,75^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$282,17 \text{ MPa} \leq 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 135,66 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

→ svislý svar přenese celé zatížení, není nutné další posouzení, svar vyhoví

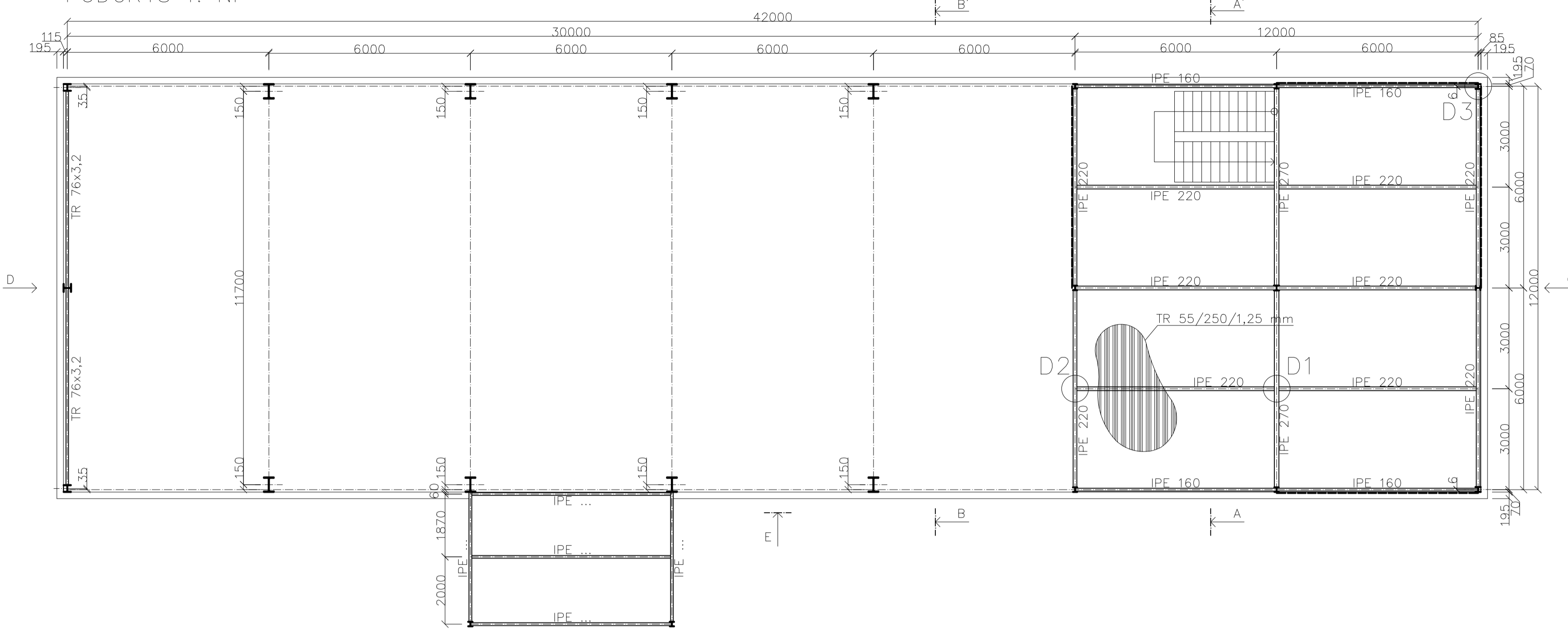
Svarový přípoj styčnickový plech – trubka

- 4 x a = 3 mm, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

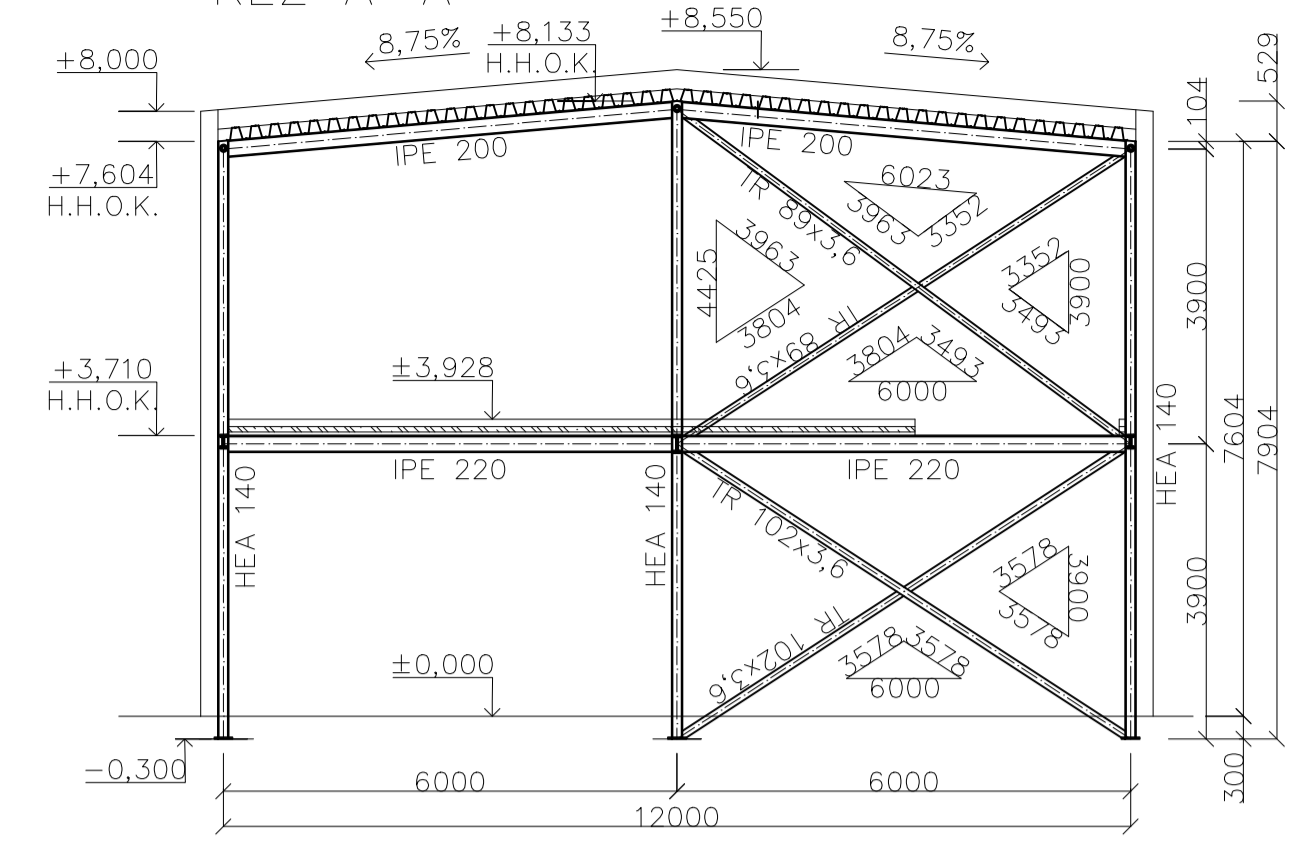
- únosnost svaru: $F_{w,Rd} = 150,88 \text{ kN} > N_{Ed} = 47,43 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

→ navržený přípoj vyhoví

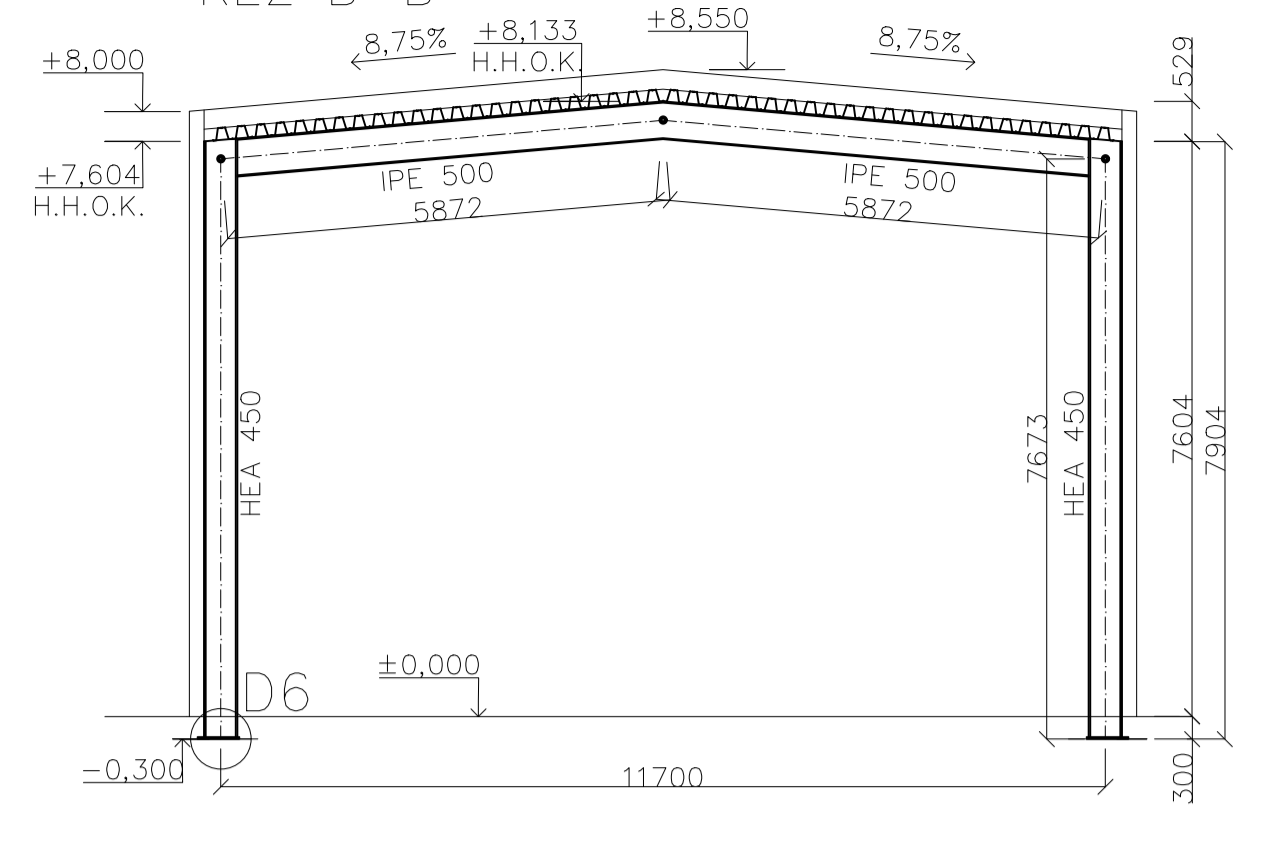
PŮDORYS 1. NP



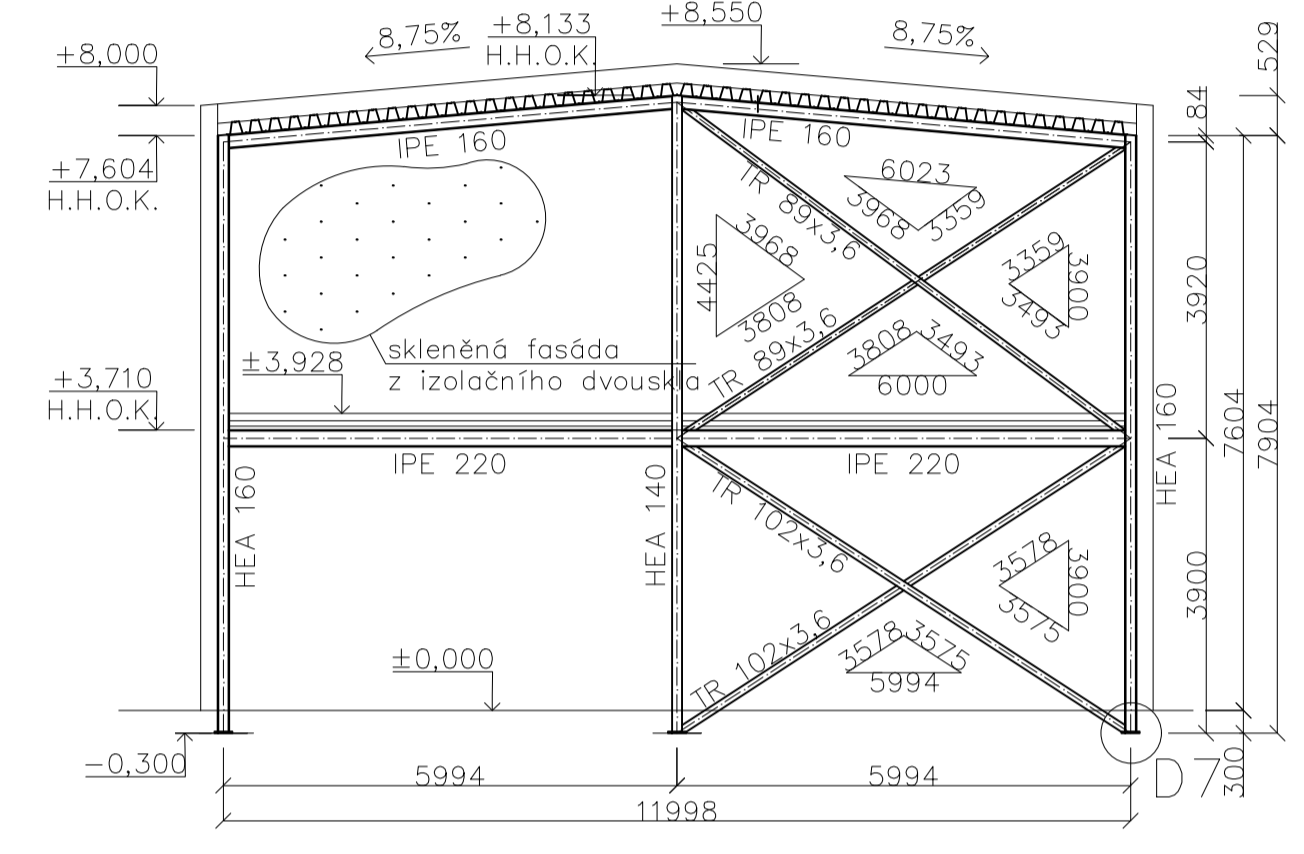
ŘEZ A-A'



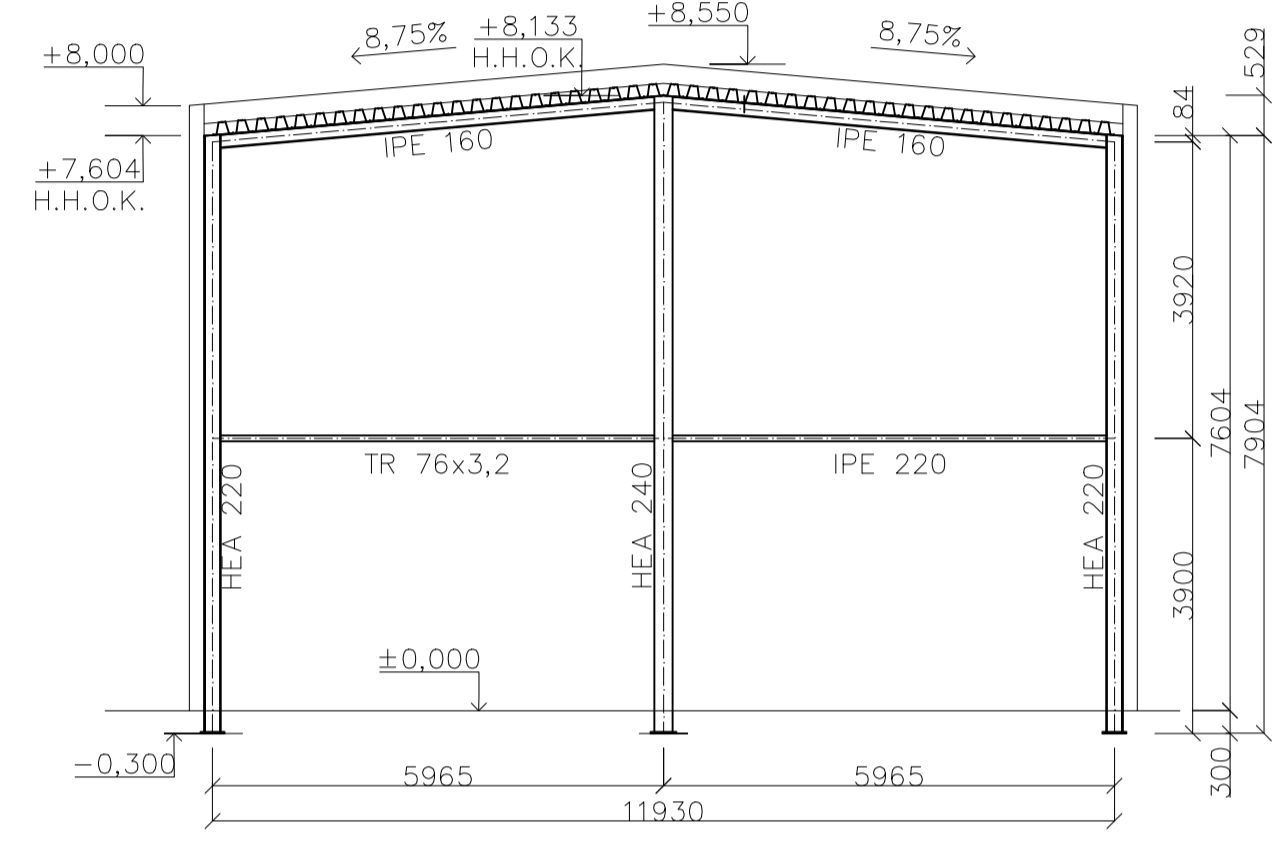
ŘEZ B-B'



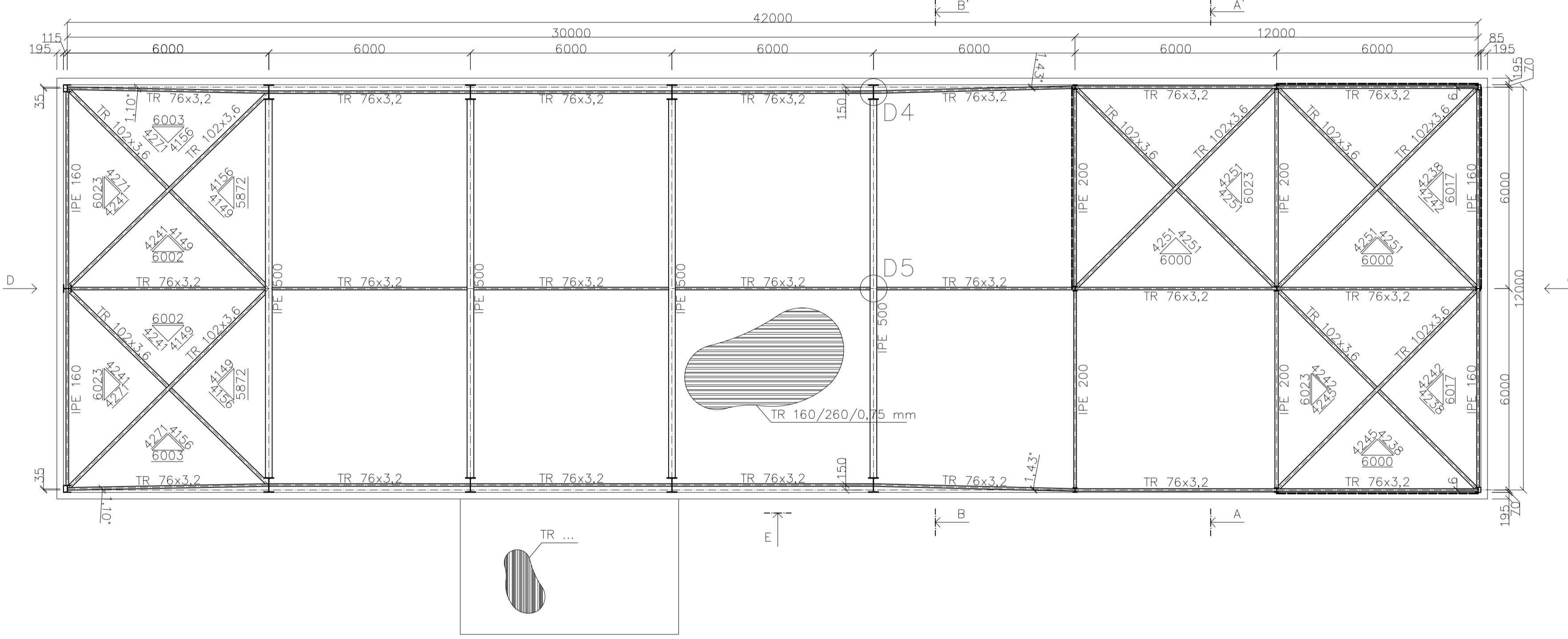
POHLED C



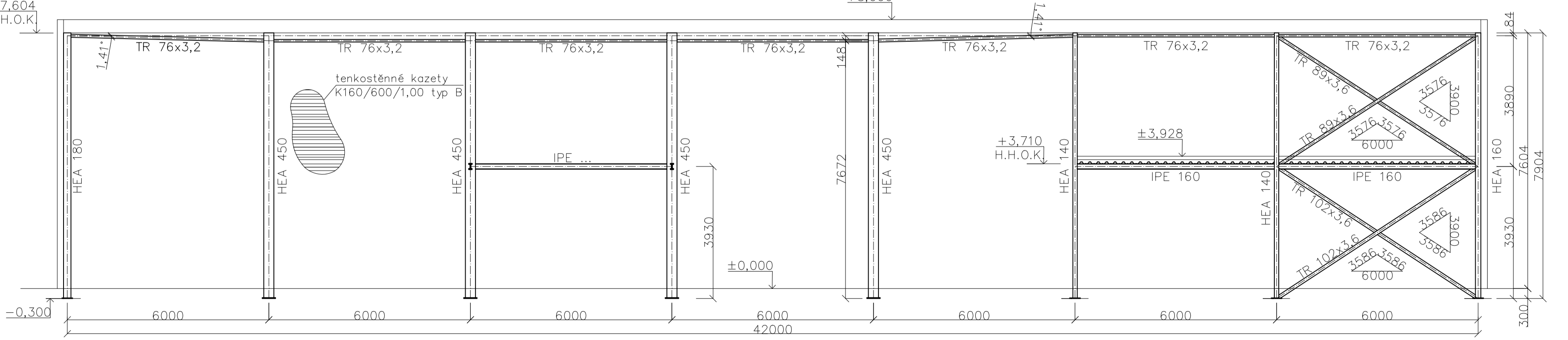
POHLED D



PŮDORYS STŘECHY



POHLED E

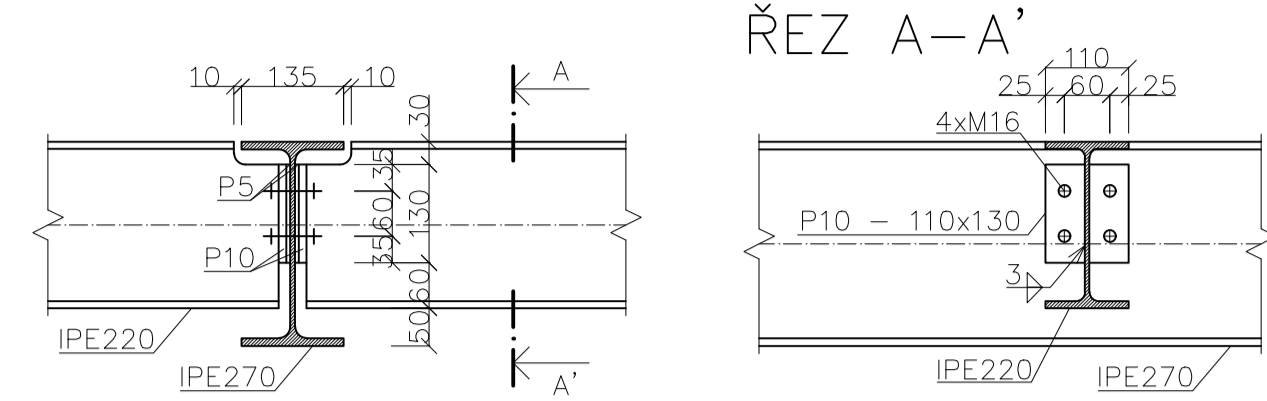


- OCEL: S355JR
S320GD (trapezové plechy)
- BETON: C30/37 (stropy)
C20/25 (základy)

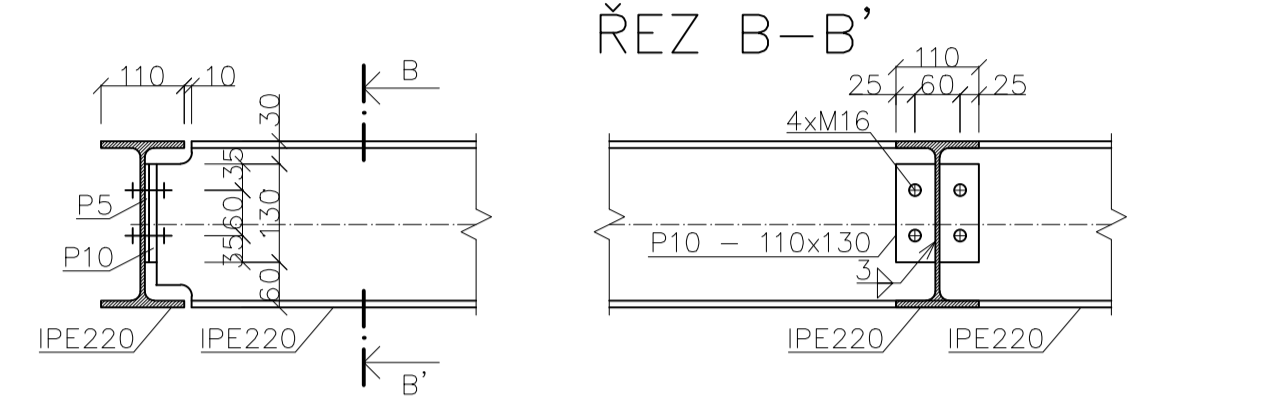
pozn.: přístřešek nebyl v práci řešen, proto je pouze naznačen

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE		
FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ		
VYPRACOVAL: Bc. KRISTÝNA MATĚJOVÁ	VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE: Ing. MICHAL JANDERA, Ph.D.	
TEMA DIPLOMOVÉ PRÁCE: NÁVRH OCELOVÉ SKLADOVACÍ HALY S VYUŽITÍM PLÁŠŤOVÉHO CHOVÁNÍ	školař: 1:100	
NÁZEV PŘEDMĚTU: PŮDORYSY, ŘEZY, POHLEDY	datum: leden 2017	číslo výkresu: 1

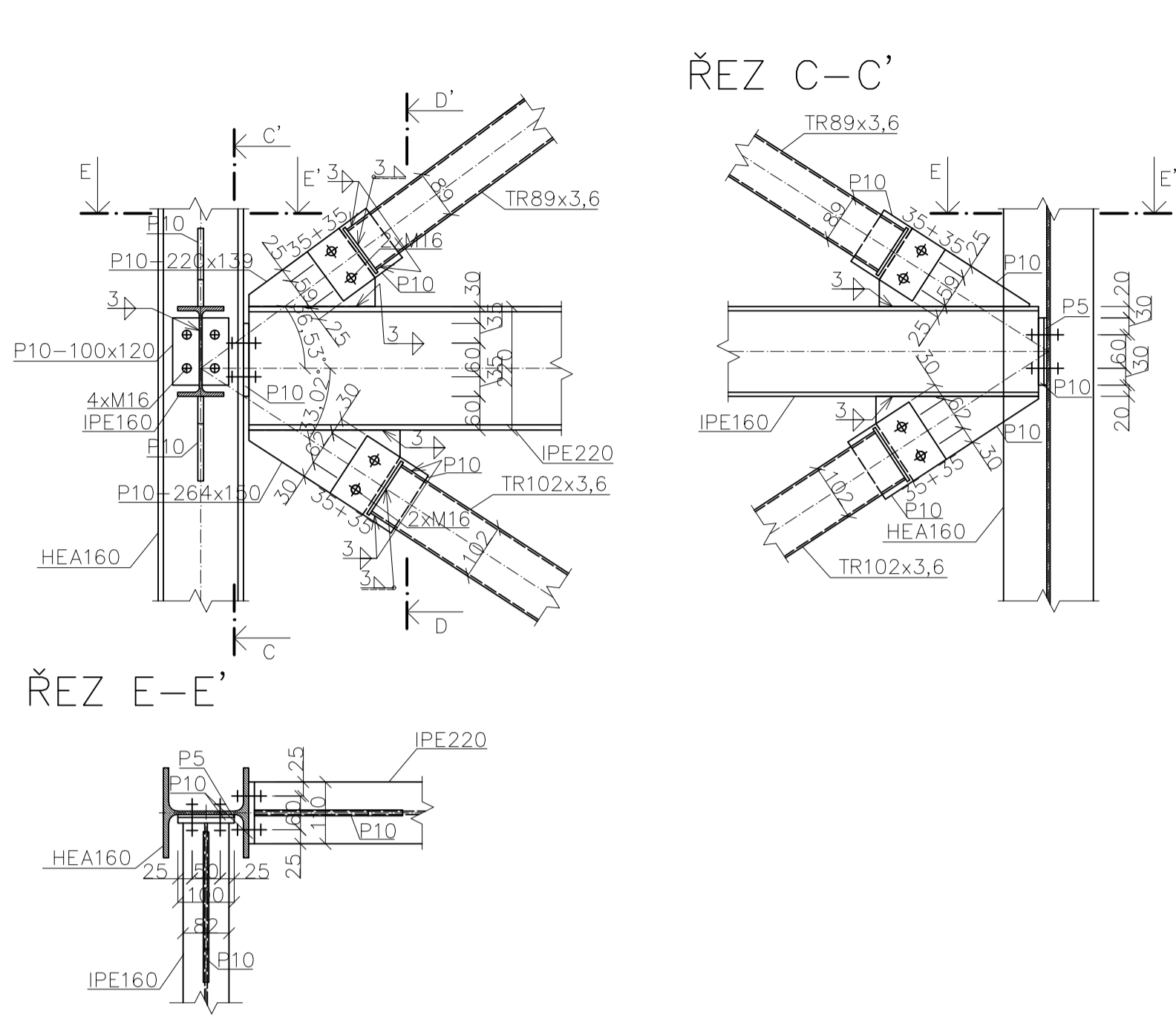
DETAIL D1 PŘÍPOJ STROPNICE NA STŘEDNÍ PRŮVLAK



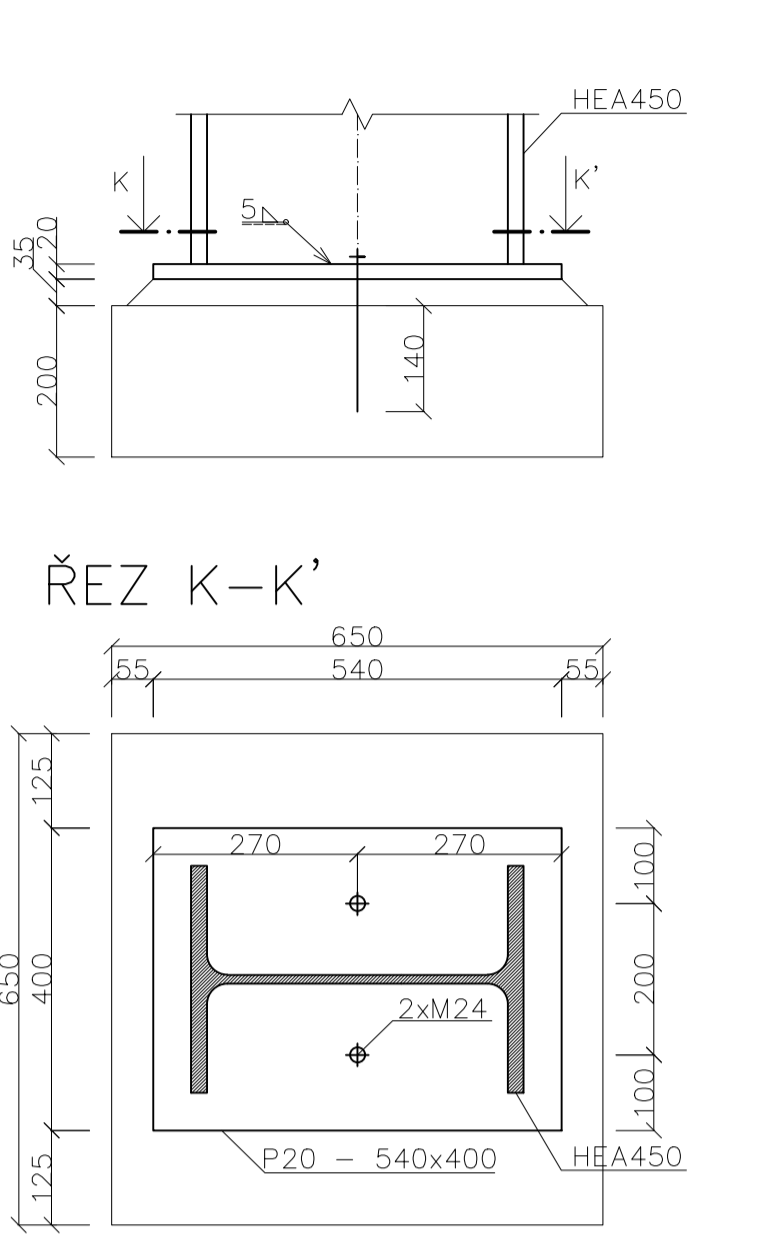
DETAIL D2 PŘÍPOJ STROPNICE NA KRAJNÍ PRŮVLAK



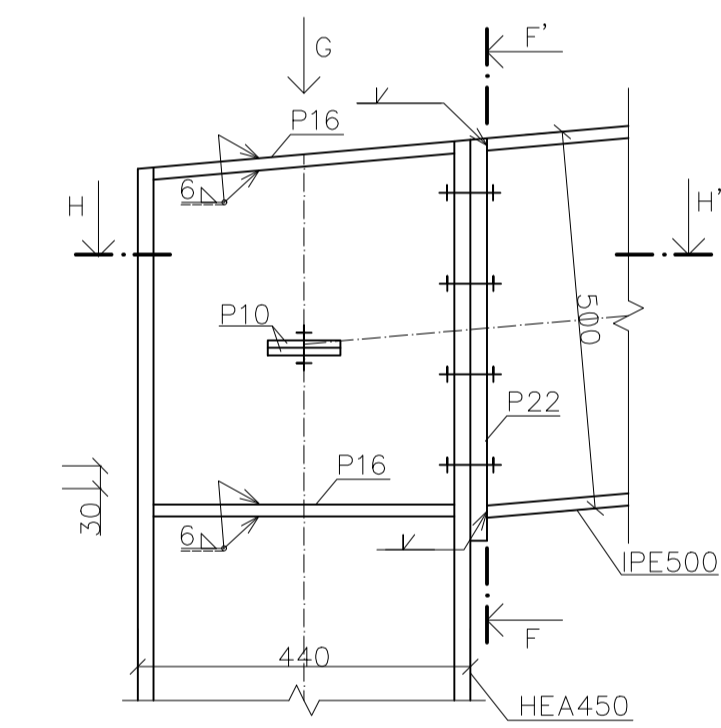
DETAIL D3 PŘÍPOJ STROPNICE A PRŮVLAKU KE SLOUPU



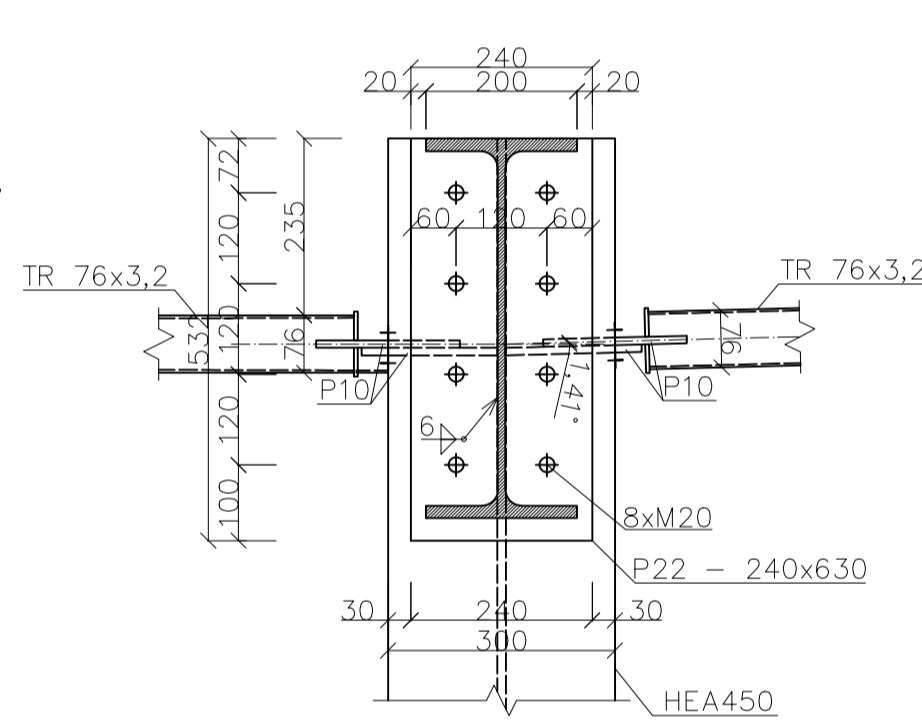
DETAIL D6 PATKA RÁMU



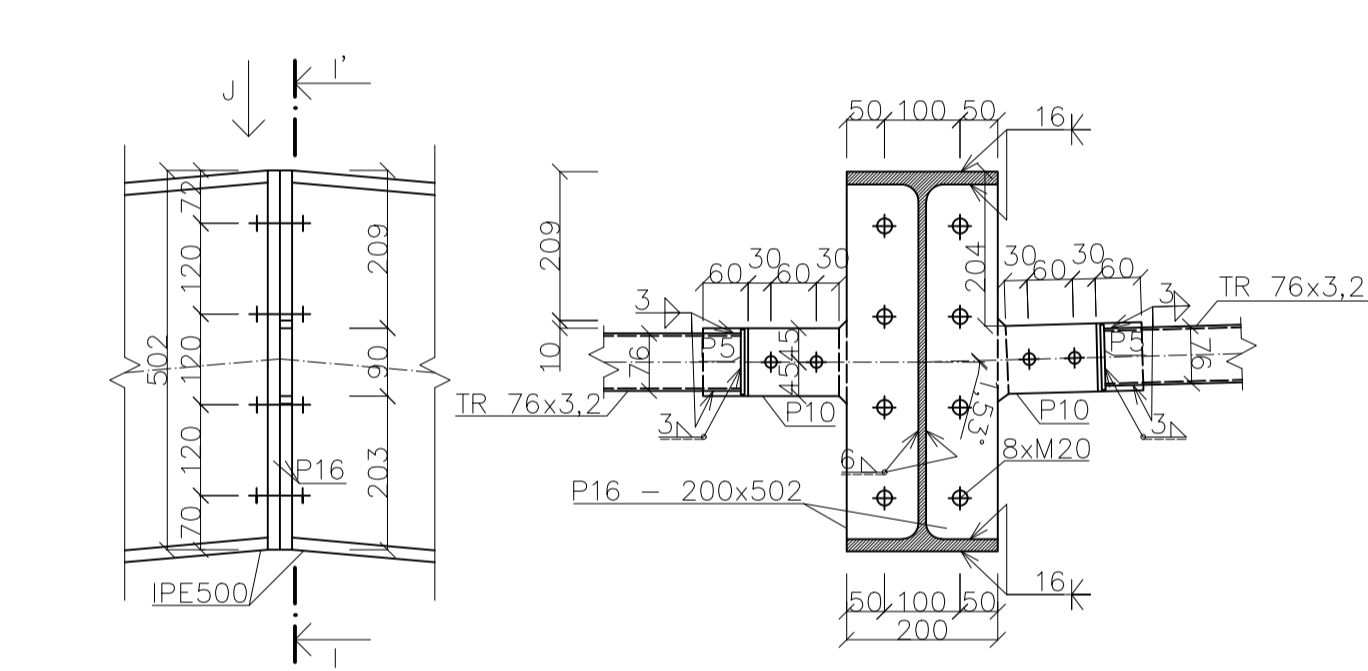
DETAIL D4 RÁMOVÝ ROH



ŘEZ F-F'

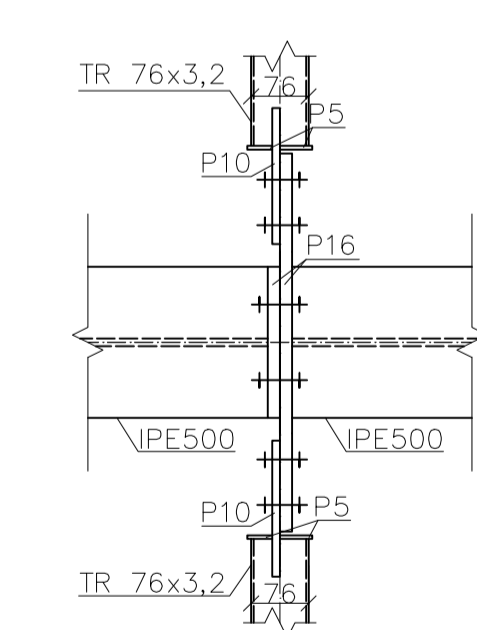


DETAIL D5 VRCHOL RÁMU

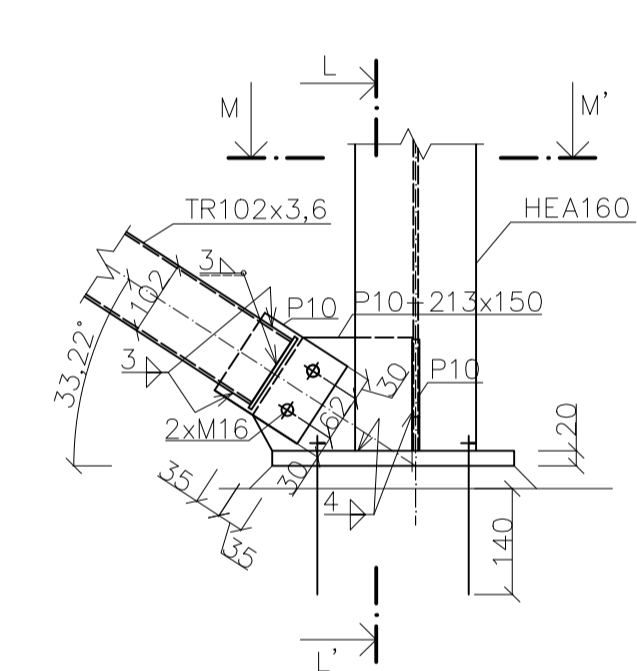


ŘEZ I-I'

POHLED J

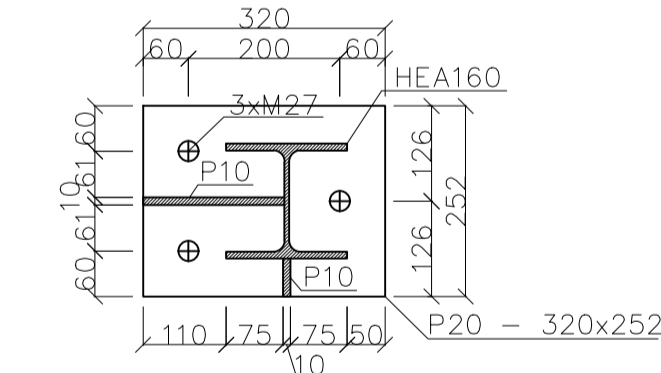


DETAIL D7 PATKA SLOUPU SE ZTUŽIDLEM

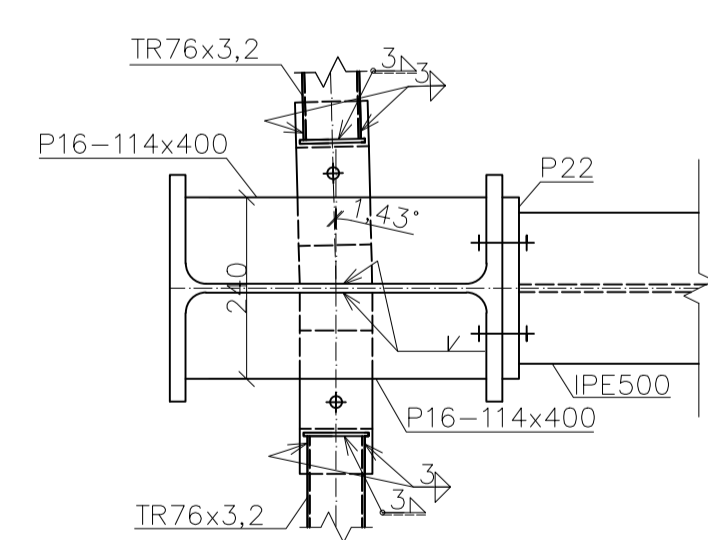


ŘEZ L-L'

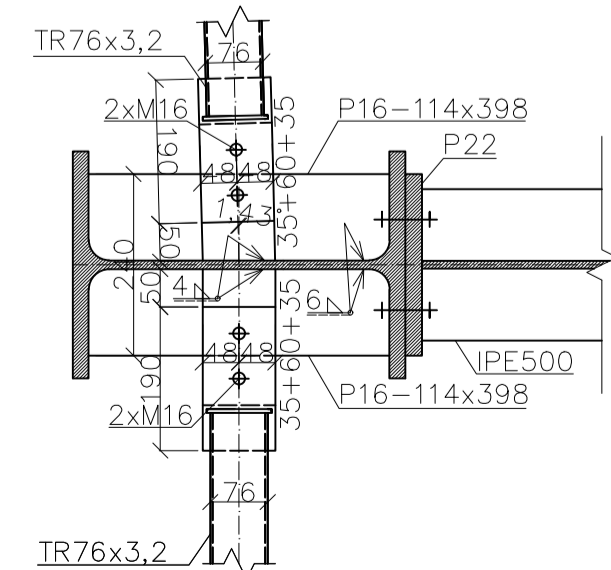
ŘEZ M-M'



POHLED G



ŘEZ H-H'



OCEL: S355JR
 S320GD (trapézové plechy)
 BETON: C30/37 (stropy)
 C20/25 (zoklady)
 ŠROUBY: 8.8

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE		
FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ		
VYPRACOVAL: Bc. KRISTÝNA MATĚJOVÁ	VEDOUČÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE: Ing. MICHAL JANDERA, Ph.D.	
Téma diplomové práce: NÁVRH OCELOVÉ SKLADOVACÍ HALY S VYUŽITÍM PLÁŠTĚVÉHO CHOVÁNÍ		MĚŘÍTKO: 1:10
NÁZEV PŘEDMĚTU: DETAILY		datum: leden 2017
		Číslo výkresu: 2

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
NÁVRH OCELOVÉ SKLADOVACÍ HALY
S VYUŽITÍM PLÁŠŤOVÉHO CHOVÁNÍ
- část KPS**

Bc. Kristýna Matějová

2017

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

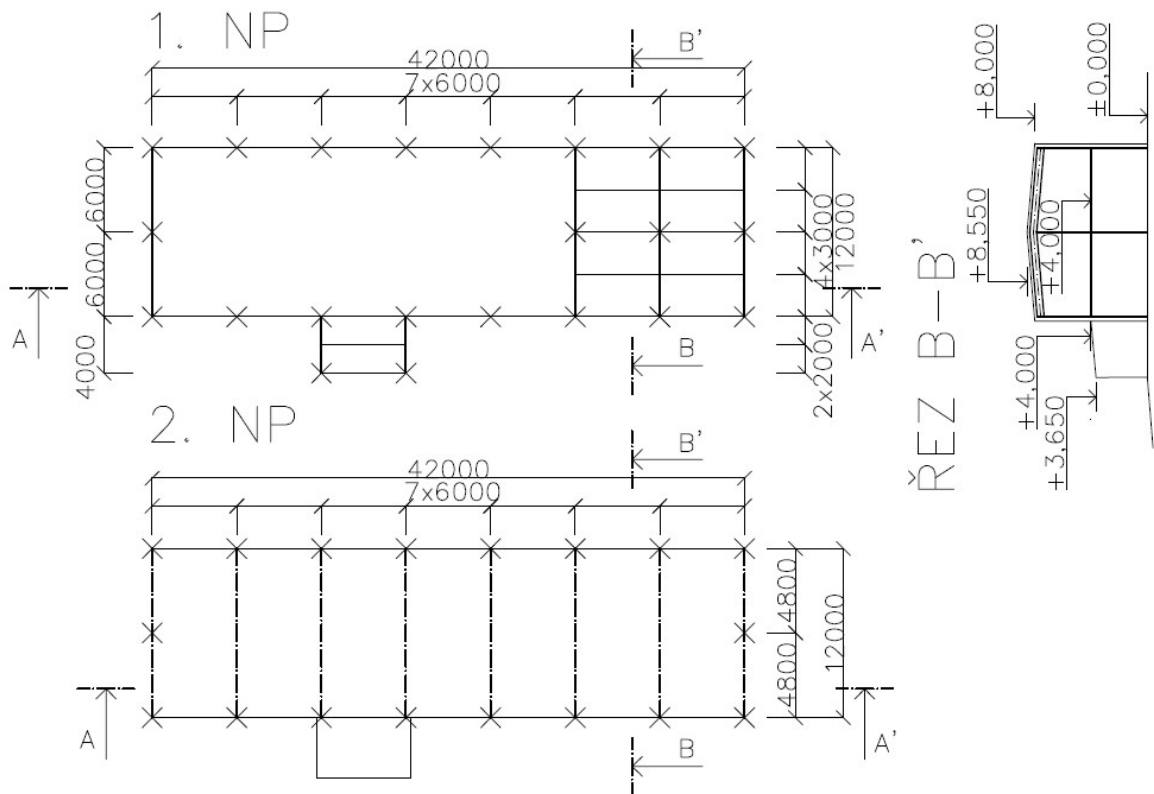
Konzultant části KPS: doc.Ing. Šárka Šilarová, CSc.

Obsah

1 Konstrukční systém	1
2 Skladby	1
3 Posouzení skladeb v programu teplo	3
3.1 Střešní plášť	3
3.1.1 Nad administrativní částí	3
3.1.2 Nad skladovací částí	6
3.2 Obvodový plášť	8
3.2.1 Vně administrativní části	8
3.2.2 Vně skladovací části	10
3.3 Dělicí příčka mezi administrativní a skladovací částí	12
4 Kotvení střešního pláště	15
5 Odvodnění střechy	16

1 Konstrukční systém

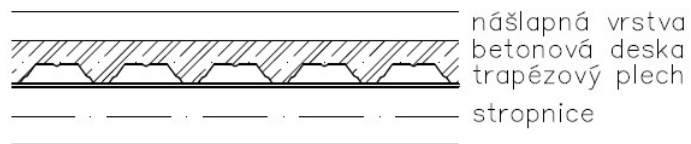
- požadavky: administrativní část se dvěma nadzemními podlažími, skladovací hala, přístřešek pro zásobování
- konstrukce: ocelová
- bezvaznicový systém, trapézový plech na rozpětí 6 m
- nad administrativní částí stropy se stropnicovým systémem



Obr. 1: Schéma bezvaznicového systému

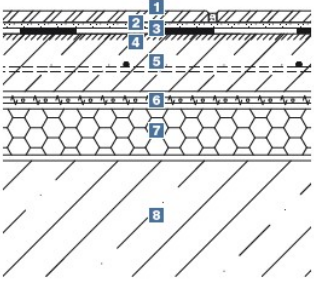
2 Skladby

- skladba stropní konstrukce (administrativní část)



Obr. 2.1: Řez konstrukcí stropu

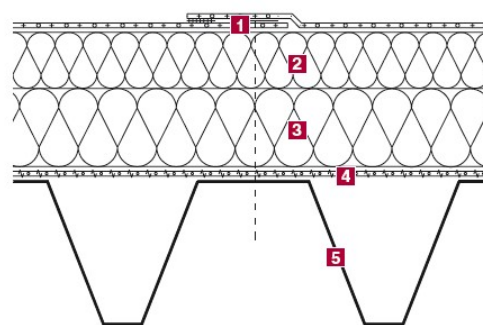
- nášlapná vrstva: DEKFLOOR 35

SPECIFIKACE SKLADBY				
	POZ.	VRSTVA	TLOUŠŤKA (mm)	POPIS
	1.	dlažba RAKO	10	98/118 keramická dlažba (podrobnosti viz POZNÁMKY 1) jednosložkový lepicí tmel na bázi cementu pro lepení keramických obkladů a dlažeb (třída C2T) jednosložková silikátové disperzní hydroizolační hmota disperzní penetrační nátěr na bázi akrylátové disperze a modifikujících přísad roznášecí vrstva z betonu vyztužená ocelovou svařovanou KARI sítí 150/150/4 v ose desky, dilatovaná separační polyethylenová fólie slepovaná ve spojích tepelněizolační desky z elastifikovaného pěnového polystyrenu s kročejovým útlumem (tloušťka pro splnění požadované/doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2)
	2.	lepicí tmel	6	
	3.	ochranná hydroizolační hmota	2	
	4.	penetrace	-	
	5.	roznášecí betonová mazanina	50	
	6.	DEKSEPAR	0,2	
	7.	RIGIFLOOR 4000	30/50	
	8.	I. železobetonová deska	min. 200	

Obr. 2.2: Řez skladbou stropu

- skladba střešního pláště

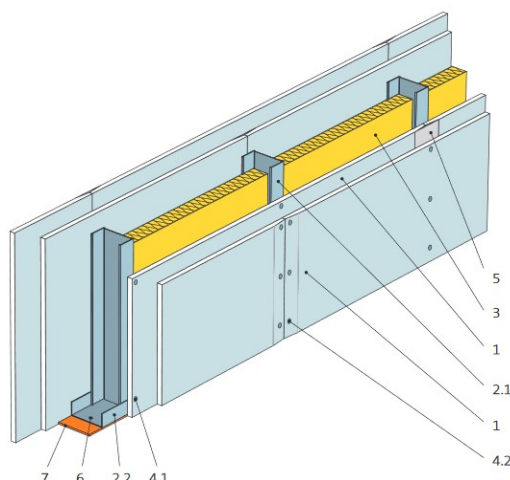
č. v.	vrstva	tloušťka [mm]	popis
1	DEKPLAN 76	1,5	hydroizolační fólie z PVC-P určená k mechanickému kotvení
2	DDP	50	tepelně izolační desky z minerální vlny
3	DDP	100	tepelně izolační desky z minerální vlny
4	DDP	120	tepelně izolační desky z minerální vlny
5	GLASTEK 30 Sticker Plus	3	parotěsná zábrana
6	trapézový plech 160/260	0,88	nosný trapézový plech



Obr. 2.3: Řez střešním pláštěm

- pozn.: skladba střechy byla změněna v závěru práce, statický výpočet je uvažován s původní skladbou, která je v něm uvedena

- příčky: sádrokartonové RIGIPS



Opláštění	1. Modré akustické sádrokartonové desky Rigips MA (DF)*
Konstrukce	2.1 Svislý profil R-CW 100 2.2 Vodorovný profil R-UW 100
Izolace	3. Minerální izolace dle specifikace
Přípevnění	4.1 Rychlošrouby Rigips 212/25 TN 4.2 Rychlošrouby Rigips 212/35 TN 6. Kotvení do obvodových konstrukcí 7. Napojovací těsnění
Tmelení	5. Spáry zatmeleny dle technologie Rigips

Obr. 2.4: Sádrokartonové příčky

3 Posouzení skladeb v programu teplo

3.1 Střešní plášť

3.1.1 Nad administrativní částí

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2014 EDU

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Střecha jednoplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

- byla provedena redukce Mi koeficientem 0,1 z důvodu mechanického kotvení

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	Trapézové plec	0,0009	50,0000	870,0	7850,0	172,0	0.0000
2	Glastek 30 Sti	0,0030	0,2100	1470,0	1200,0	2900,0	0.0000
3	DDP	0,1200	0,0440	840,0	200,0	0,2	0.0000
4	DDP	0,1000	0,0440	840,0	200,0	0,2	0.0000
5	DDP	0,0500	0,0440	840,0	200,0	0,2	0.0000
6	DEKPLAN 76	0,0015	0,2000	960,0	1400,0	1500,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Trapézové plechy	---
2	Glastek 30 Sticker Plus	---
3	DDP	---
4	DDP	---
5	DDP	---
6	DEKPLAN 76	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.10 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m2K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m2K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	43.3	1076.3	-4.2	81.2	348.8
2	28	21.0	45.3	1126.0	-2.8	80.8	390.7
3	31	21.0	48.1	1195.6	0.8	79.4	513.7
4	30	21.0	52.1	1295.0	5.2	77.7	687.0
5	31	21.0	58.9	1464.0	10.3	74.8	936.6
6	30	21.0	64.6	1605.7	13.7	72.2	1131.3
7	31	21.0	67.5	1677.8	15.3	70.6	1226.7
8	31	21.0	65.8	1635.5	14.4	71.5	1172.4
9	30	21.0	59.5	1478.9	10.7	74.5	958.1
10	31	21.0	52.7	1309.9	5.7	77.5	709.4
11	30	21.0	48.2	1198.1	0.9	79.5	518.1
12	31	21.0	45.6	1133.4	-2.6	80.7	396.8

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Průměrná měsíční venkovní teplota Te byla v souladu s EN ISO 13788 snížena o 2 C (orientační zohlednění výměny tepla sáláním mezi střechem a oblohou).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 6.158 m2K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.159 W/m2K < U_{rec,20} = 0,16 W/m2K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{k,c} : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m2K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumuláční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce ZpT : 5.9E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 179.7
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 9.8 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 19.60 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p : **0.961**

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	80%		100%		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m			
1	11.4	0.618	8.1	0.486	20.0	0.961	46.0
2	12.1	0.624	8.7	0.484	20.1	0.961	48.0
3	13.0	0.603	9.6	0.436	20.2	0.961	50.5
4	14.2	0.570	10.8	0.355	20.4	0.961	54.1

5	16.1	0.543	12.7	0.221	20.6	0.961	60.4
6	17.6	0.529	14.1	0.052	20.7	0.961	65.7
7	18.3	0.520	14.8	-----	20.8	0.961	68.4
8	17.9	0.524	14.4	-----	20.7	0.961	66.8
9	16.3	0.541	12.8	0.205	20.6	0.961	61.0
10	14.4	0.567	11.0	0.345	20.4	0.961	54.7
11	13.0	0.602	9.6	0.435	20.2	0.961	50.6
12	12.2	0.625	8.8	0.484	20.1	0.961	48.2

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
theta [C]:	20.4	20.4	20.3	4.8	-8.2	-14.7	-14.8
p [Pa]:	1367	1350	391	389	387	386	138
p,sat [Pa]:	2400	2400	2388	857	303	169	168

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny		Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
	levá	pravá	
1	0.2739	0.2739	2.422E-0008

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.0979 kg/(m2.rok) < $M_{c,a,N} = 0,1$ kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **0.8390 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kondenzační zóna č. 1

Měsíc	Hranice kondenzační zóny		Akt.kond./vypař. Mc [kg/m2s]	Akumul.vlhkost Ma [kg/m2]
	levá	pravá		
12	0.2739	0.2739	5.16E-0009	0.0138
1	0.2739	0.2739	6.58E-0009	0.0315
2	0.2739	0.2739	5.37E-0009	0.0444
3	0.2739	0.2739	-3.12E-0010	0.0436
4	0.2739	0.2739	-9.11E-0009	0.0200
5	---	---	-2.40E-0008	0.0000
6	---	---	---	---
7	---	---	---	---
8	---	---	---	---
9	---	---	---	---
10	---	---	---	---
11	---	---	---	---

Max. množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.0444 kg/m2**

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$ je minimálně: **0.0444 kg/m2**

Na konci modelového roku je zóna suchá (tj. $M_{c,a} < M_{ev,a}$).

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplo 2014 EDU

3.1.2 Nad skladovací částí

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplota 2014 EDU

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Střecha jednoplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

- byla provedena redukce Mi koeficientem 0,1 z důvodu mechanického kotvení

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	Trapézové plec	0,0009	50,0000	870,0	7850,0	172,0	0.0000
2	Glastek 30 Sti	0,0030	0,2100	1470,0	1200,0	2900,0	0.0000
3	DDP	0,1200	0,0440	840,0	200,0	0,2	0.0000
4	DDP	0,1000	0,0440	840,0	200,0	0,2	0.0000
5	DDP	0,0500	0,0440	840,0	200,0	0,2	0.0000
6	DEKPLAN 76	0,0015	0,2000	960,0	1400,0	1500,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Trapézové plechy	---
2	Glastek 30 Sticker Plus	---
3	DDP	---
4	DDP	---
5	DDP	---
6	DEKPLAN 76	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.10 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m²K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m²K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 15.0 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : 45.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	15.0	45.1	768.7	-4.2	81.2	348.8
2	28	15.0	47.9	816.4	-2.8	80.8	390.7
3	31	15.0	54.2	923.8	0.8	79.4	513.7
4	30	15.0	63.5	1082.3	5.2	77.7	687.0
5	31	15.0	77.5	1320.9	10.3	74.8	936.6
6	30	15.0	88.5	1508.4	13.7	72.2	1131.3
7	31	15.0	94.0	1602.1	15.3	70.6	1226.7
8	31	15.0	90.9	1549.3	14.4	71.5	1172.4
9	30	15.0	78.7	1341.4	10.7	74.5	958.1
10	31	15.0	64.8	1104.5	5.7	77.5	709.4
11	30	15.0	54.5	928.9	0.9	79.5	518.1
12	31	15.0	48.3	823.2	-2.6	80.7	396.8

Poznámka: Tai, RH_i a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí

na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).
Průměrná měsíční venkovní teplota T_e byla v souladu s EN ISO 13788 snížena o 2 C (orientační zohlednění výměny tepla sáláním mezi střechou a oblohou).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Teplný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplný odpor konstrukce R : 6.158 m²K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.159 W/m²K < U_{rec,20} = 0,16 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_{k,c} : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m²K
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 5.9E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce N_y* podle EN ISO 13786 : 179.7

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 9.8 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 13.84 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : **0.961**

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T _{si} [C]	f _{Rsi}	RH _{si} [%]
T _{si,m} [C]	f _{Rsi,m}	T _{si,m} [C]	f _{Rsi,m}				
1	6.4	0.552	3.2	0.386	14.3	0.961	47.3
2	7.3	0.566	4.1	0.386	14.3	0.961	50.1
3	9.1	0.584	5.8	0.354	14.4	0.961	56.2
4	11.5	0.639	8.1	0.300	14.6	0.961	65.1
5	14.5	0.895	11.1	0.171	14.8	0.961	78.4
6	16.6	2.214	13.1	-----	14.9	0.961	88.8
7	17.5	-----	14.0	-----	15.0	0.961	93.9
8	17.0	-----	13.5	-----	15.0	0.961	91.0
9	14.7	0.941	11.3	0.147	14.8	0.961	79.5
10	11.8	0.653	8.4	0.294	14.6	0.961	66.3
11	9.2	0.587	5.9	0.355	14.5	0.961	56.5
12	7.4	0.568	4.2	0.385	14.3	0.961	50.5

Poznámka: RH_{si} je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T_{si} je vnitřní povrchová teplota a f_{Rsi} je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
theta [C]:	14.5	14.5	14.5	1.5	-9.4	-14.8	-14.8
p [Pa]:	767	758	268	267	266	265	138
p,sat [Pa]:	1653	1653	1646	679	274	168	168

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny		Kondenzující množství vodní páry [kg/(m ² s)]
	levá [m]	pravá	
1	0.2739	0.2739	1.080E-0008

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.0156 kg/(m².rok) < $M_{c,a,N} = 0,1$ kg/(m².rok)**
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **1.1452 kg/(m².rok)**
Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplo 2014 EDU

3.2 Obvodový plášť

3.2.1 Vně administrativní části

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2014 EDU

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m ³]	Mi [-]	Ma [kg/m ²]
1	Email polyuret	0,0001	0,2100	1400,0	1400,0	67230,0	0.0000
2	Tenkostěnné ka	0,0010	50,0000	870,0	7850,0	1720,0	0.0000
3	Rockwool Airro	0,1950	0,0390	840,0	50,0	3,5	0.0000
4	Trapézové plec	0,0009	50,0000	870,0	7850,0	1720,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Email polyuretanový 1x	---
2	Tenkostěnné kazety	---
3	Rockwool Airrock ND	---
4	Trapézové plechy	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.13 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{si} : 0.25 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.04 m²K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty R_{se} : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : -15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 21.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	43.3	1076.3	-2.2	81.2	412.9
2	28	21.0	45.3	1126.0	-0.8	80.8	461.7
3	31	21.0	48.1	1195.6	2.8	79.4	592.9
4	30	21.0	52.1	1295.0	7.2	77.7	788.8
5	31	21.0	58.9	1464.0	12.3	74.8	1069.5
6	30	21.0	64.6	1605.7	15.7	72.2	1287.1
7	31	21.0	67.5	1677.8	17.3	70.6	1393.5
8	31	21.0	65.8	1635.5	16.4	71.5	1332.9
9	30	21.0	59.5	1478.9	12.7	74.5	1093.5
10	31	21.0	52.7	1309.9	7.7	77.5	814.1
11	30	21.0	48.2	1198.1	2.9	79.5	597.9
12	31	21.0	45.6	1133.4	-0.6	80.7	468.9

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 5.001 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.193 W/m²K < U_{rec,20} = 0,2 W/m²K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_k : 0.21 / 0.24 / 0.29 / 0.39 W/m²K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumuláční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 5.7E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 42.1

Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 2.3 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 19.30 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : **0.953**

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m			
1	11.4	0.585	8.1	0.442	19.9	0.953	46.3
2	12.1	0.590	8.7	0.437	20.0	0.953	48.3
3	13.0	0.559	9.6	0.374	20.1	0.953	50.7
4	14.2	0.507	10.8	0.261	20.3	0.953	54.2
5	16.1	0.438	12.7	0.041	20.6	0.953	60.4
6	17.6	0.352	14.1	-----	20.7	0.953	65.6
7	18.3	0.260	14.8	-----	20.8	0.953	68.2
8	17.9	0.317	14.4	-----	20.8	0.953	66.7
9	16.3	0.430	12.8	0.014	20.6	0.953	61.0
10	14.4	0.502	11.0	0.246	20.4	0.953	54.8
11	13.0	0.558	9.6	0.372	20.1	0.953	50.8
12	12.2	0.591	8.8	0.436	20.0	0.953	48.6

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
theta [C]:	20.1	20.1	20.1	-14.7	-14.7
p [Pa]:	1367	591	393	313	138
p,sat [Pa]:	2351	2350	2350	169	169

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny [m]		Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
	levá	pravá	
1	0.1961	0.1961	2.218E-0008

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.0547 kg/(m2.rok) < $M_{c,a,N} = 0,1$ kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **1.2145 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplo 2014 EDU

3.2.2 Vně skladovací části

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2014 EDU

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m2K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	Email polyuret	0,0001	0,2100	1400,0	1400,0	67230,0	0.0000
2	Tenkostěnné ka	0,0010	50,0000	870,0	7850,0	1720,0	0.0000
3	Rockwool Airro	0,1950	0,0390	840,0	50,0	3,5	0.0000
4	Trapézové plec	0,0009	50,0000	870,0	7850,0	1720,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Email polyuretanový 1x	---
2	Tenkostěnné kazety	---
3	Rockwool Airrock ND	---
4	Trapézové plechy	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m2K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m2K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 15.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 45.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	15.0	45.1	768.7	-2.2	81.2	412.9
2	28	15.0	47.9	816.4	-0.8	80.8	461.7
3	31	15.0	54.2	923.8	2.8	79.4	592.9
4	30	15.0	63.5	1082.3	7.2	77.7	788.8
5	31	15.0	77.5	1320.9	12.3	74.8	1069.5
6	30	15.0	88.5	1508.4	15.7	72.2	1287.1
7	31	15.0	94.0	1602.1	17.3	70.6	1393.5
8	31	15.0	90.9	1549.3	16.4	71.5	1332.9
9	30	15.0	78.7	1341.4	12.7	74.5	1093.5
10	31	15.0	64.8	1104.5	7.7	77.5	814.1
11	30	15.0	54.5	928.9	2.9	79.5	597.9
12	31	15.0	48.3	823.2	-0.6	80.7	468.9

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 5.001 m2K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.193 W/m2K < U_{rec,20} = 0,2 W/m2K**

Součinitel prostupu zabudované kce U_k : 0.21 / 0.24 / 0.29 / 0.39 W/m2K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumuláční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce ZpT : 5.7E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 42.1
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 2.3 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 13.58 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p : **0.953**

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m				
1	6.4	0.500	3.2	0.314	14.2	0.953	47.5
2	7.3	0.511	4.1	0.308	14.3	0.953	50.3
3	9.1	0.516	5.8	0.248	14.4	0.953	56.3
4	11.5	0.546	8.1	0.120	14.6	0.953	65.0
5	14.5	0.818	11.1	-----	14.9	0.953	78.1

6	16.6	-----	13.1	-----	15.0	0.953	88.3
7	17.5	-----	14.0	-----	15.1	0.953	93.3
8	17.0	-----	13.5	-----	15.1	0.953	90.5
9	14.7	0.889	11.3	-----	14.9	0.953	79.3
10	11.8	0.557	8.4	0.101	14.7	0.953	66.3
11	9.2	0.519	5.9	0.249	14.4	0.953	56.5
12	7.4	0.513	4.2	0.306	14.3	0.953	50.7

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
theta [C]:	14.2	14.2	14.2	-14.8	-14.8
p [Pa]:	767	370	269	228	138
p,sat [Pa]:	1623	1623	1623	168	168

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
1	0.1961	0.1961	9.151E-0009

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.0095 kg/(m2.rok) < $M_{c,a,N} = 0,1$ kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **1.5424 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplo 2014 EDU

3.3 Dělicí příčka mezi administrativní a skladovací částí

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2014 EDU

Název úlohy :

Zpracovatel : Kristýna Matějová

Zakázka :

Datum : 19. 12. 20

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnitřní
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m2K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	Rifino Top	0,0030	0,5700	1000,0	1300,0	10,0	0.0000
2	Rigips MA (DF)	0,0125	0,2100	1060,0	750,0	6,0	0.0000
3	Rigips MA (DF)	0,0125	0,2100	1060,0	750,0	6,0	0.0000
4	Isover Aku	0,0400	0,0380	800,0	40,0	1,0	0.0000
5	Rigips MA (DF)	0,0125	0,2100	1060,0	750,0	6,0	0.0000
6	Rigips MA (DF)	0,0125	0,2100	1060,0	750,0	6,0	0.0000
7	Rifino Top	0,0030	0,5700	1000,0	1300,0	10,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Rifino Top	---
2	Rigips MA (DF)	---
3	Rigips MA (DF)	---
4	Isover Aku	---
5	Rigips MA (DF)	---
6	Rigips MA (DF)	---
7	Rifino Top	---

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m2K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.13 m2K/W
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.13 m2K/W

Návrhová venkovní teplota Te : 15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 40.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	43.3	1076.3	15.0	40.1	683.5
2	28	21.0	45.3	1126.0	15.0	42.9	731.2
3	31	21.0	48.1	1195.6	15.0	49.2	838.6
4	30	21.0	52.1	1295.0	15.0	58.5	997.1
5	31	21.0	58.9	1464.0	15.0	72.5	1235.7
6	30	21.0	64.6	1605.7	15.0	83.5	1423.2
7	31	21.0	67.5	1677.8	15.0	89.0	1516.9
8	31	21.0	65.8	1635.5	15.0	85.9	1464.1
9	30	21.0	59.5	1478.9	15.0	73.7	1256.1
10	31	21.0	52.7	1309.9	15.0	59.8	1019.2
11	30	21.0	48.2	1198.1	15.0	49.5	843.7
12	31	21.0	45.6	1133.4	15.0	43.3	738.0

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 1.301 m2K/W
Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.641 W/m2K < U_{rec,20} = 0,9 W/m2K**
Součinitel prostupu zabudované kce U,kc : 0.66 / 0.69 / 0.74 / 0.84 W/m2K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumuláční vlastnosti:

Difuzní odpor konstrukce ZpT :	2.1E+0009 m/s
Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 :	12.8
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 :	2.2 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p :	20.11 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f,Rsi,p :	0.851

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m			
1	11.4	-----	8.1	-----	20.1	0.851	45.7
2	12.1	-----	8.7	-----	20.1	0.851	47.9
3	13.0	-----	9.6	-----	20.1	0.851	50.8
4	14.2	-----	10.8	-----	20.1	0.851	55.0
5	16.1	0.185	12.7	-----	20.1	0.851	62.2
6	17.6	0.428	14.1	-----	20.1	0.851	68.3
7	18.3	0.544	14.8	-----	20.1	0.851	71.3
8	17.9	0.476	14.4	-----	20.1	0.851	69.5
9	16.3	0.211	12.8	-----	20.1	0.851	62.9
10	14.4	-----	11.0	-----	20.1	0.851	55.7
11	13.0	-----	9.6	-----	20.1	0.851	50.9
12	12.2	-----	8.8	-----	20.1	0.851	48.2

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	e
theta [C]:	20.5	20.5	20.3	20.0	16.0	15.7	15.5	15.5
p [Pa]:	1367	1316	1187	1059	990	862	733	682
p,sat [Pa]:	2410	2407	2374	2340	1815	1788	1762	1760

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry Gd : 3.427E-0007 kg/(m2.s)

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

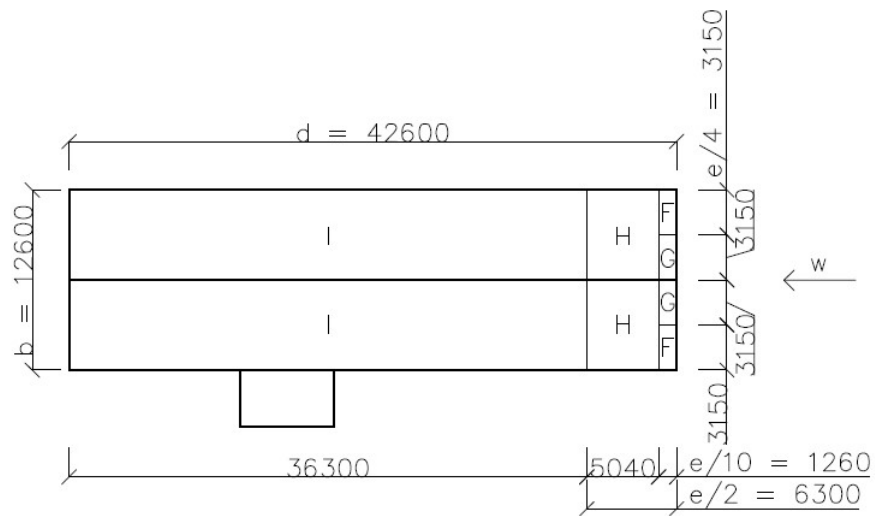
Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplo 2014 EDU

4 Kotvení střešního pláště



Obr. 4.1: Oblasti zatížení podélným větrem

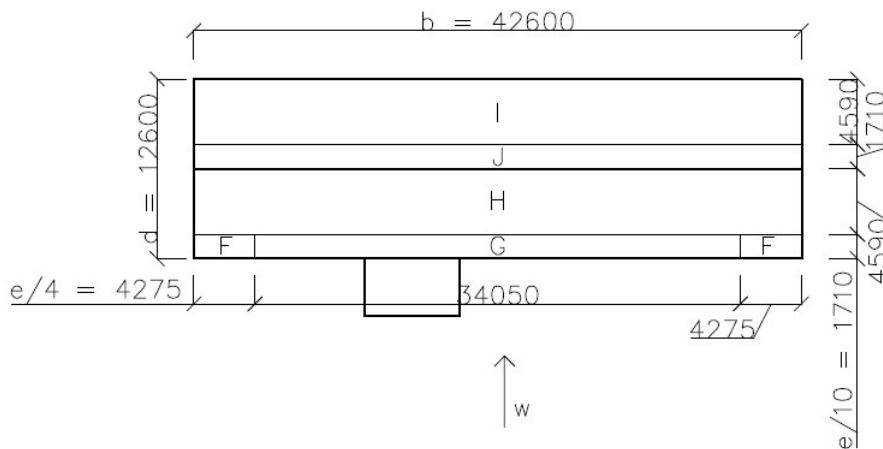
- tlak větru na střechu:

$$w_{e,F} = 0,656 \cdot (-1,6) = -1,050 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = 0,656 \cdot (-1,3) = -0,853 \text{ kPa}$$

$$w_{e,H} = 0,656 \cdot (-0,7) = -0,459 \text{ kPa}$$

$$w_{e,I} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$



Obr. 4.2: Oblasti zatížení příčným větrem

- tlak větru na střechu:

$$w_{e,F} = 0,656 \cdot (-1,7) = -1,115 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = 0,656 \cdot (-1,2) = -0,787 \text{ kPa}$$

$$w_{e,H} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$

$$w_{e,I} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$

$$w_{e,J} = 0,656 \cdot (-0,6) = -0,394 \text{ kPa}$$

- přetlak uvnitř budovy při otevřených vratech: $w_{i,D} = 0,656 \cdot 0,7 = 0,459 \text{ kPa}$

- celkový tlak větru na střechu:

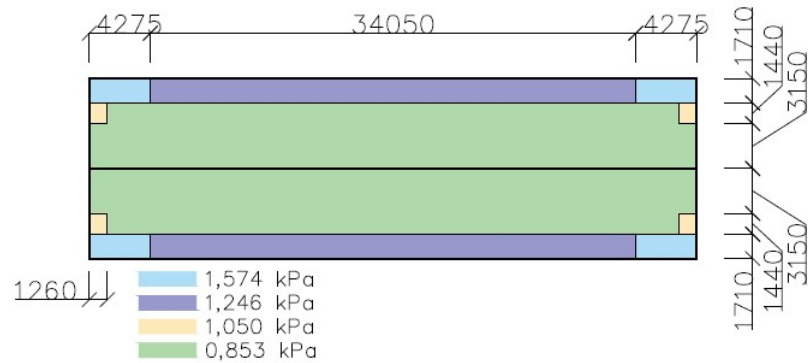
$$w_{e,F} = -1,115 - 0,459 = -1,574 \text{ kPa}$$

$$w_{e,G} = -0,787 - 0,459 = -1,246 \text{ kPa}$$

$$w_{e,H} = -0,394 - 0,459 = -0,853 \text{ kPa}$$

$$w_{e,I} = -0,394 - 0,459 = -0,853 \text{ kPa}$$

$$w_{e,J} = -0,394 - 0,459 = -0,853 \text{ kPa}$$



Obr. 4.3: Sání na střeše

- použité kotvy: talíř – HTK 2G 50/230
šroub – DABO TK-R 4,8 x 50
- plech tloušťky $t \geq 0,75 \text{ mm}$ → doporučené zatížení: $w_{adm} = 0,5 \text{ kN}$
- velikost desky tepelné izolace: 1200 x 2000 mm ($2,4 \text{ m}^2$)

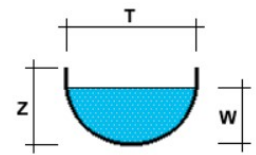
Tab. 4.1: Potřebný počet kotev

w_k [kN/m ²]	γ_Q	w_d [kN/m ²]	w_d [kN/deska]	w_{adm} [kN]	teoretický počet kotev [ks/desku]	skutečný počet kotev [ks/desku]
1,574	1,5	2,361	5,666	0,5	11,33	13
1,246	1,5	1,869	4,486	0,5	8,97	10
1,05	1,5	1,575	3,780	0,5	7,56	9
0,853	1,5	1,2795	3,071	0,5	6,14	7

5 Odvodnění střechy

- intenzita deště: $i = 0,03 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$
- žlab je napojen na tři odpadní potrubí (na krajích a v polovině délky střechy)
- půdorysný průmět pro krajní výtok: $A_1 = 6,3 \cdot 10,65 = 67,1 \text{ m}^2$
- půdorysný průmět pro střední výtok: $A_2 = 6,3 \cdot 21,3 = 134,19 \text{ m}^2$
- součinitel odtoku: $C = 1,0$ (střecha s nepropustnou povrchovou vrstvou)
- odtokové množství pro krajní výtok: $Q_1 = i \cdot A_1 \cdot C = 0,03 \cdot 67,1 \cdot 1,0 = 2,01 \text{ l/s}$
- odtokové množství pro střední výtok: $Q_2 = i \cdot A_2 \cdot C = 0,03 \cdot 134,19 \cdot 1,0 = 4,03 \text{ l/s}$
- svislé odtokové potrubí – střední (tab. 8 v ČSN 75 6760): DN100 ($Q_{RWP} = 4,6 \text{ l/s}$)
- svislé odtokové potrubí – krajní (tab. 8 v ČSN 75 6760): DN100 ($Q_{RWP} = 4,6 \text{ l/s}$)

- průměr žlabu: 200 mm
- rozvinutá šířka žlabu: 400 mm



→ $w = 93$ mm (podle tab. II 6 – Základní pravidla pro klempířské práce, 2003)

- přibližný výpočet plochy půlkruhového žlabu: $A_E = \frac{\pi \cdot w^2}{2}$

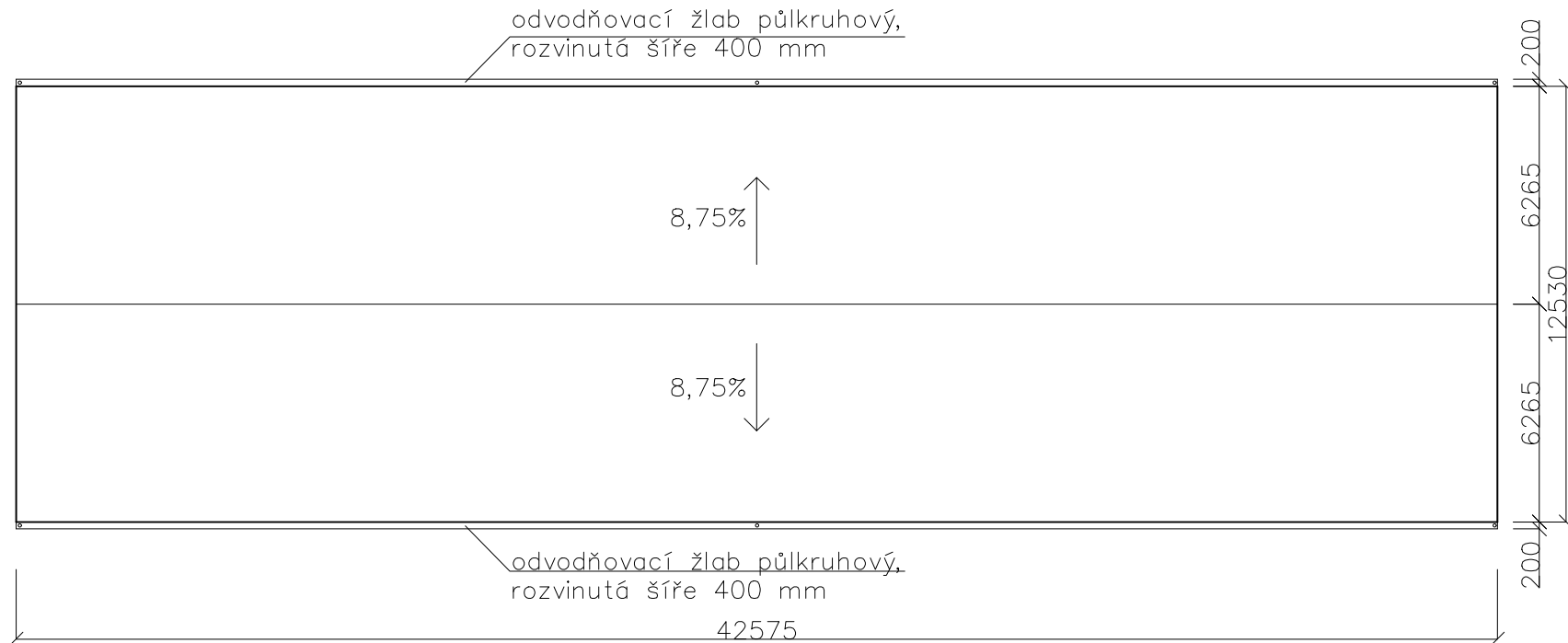
$$A_E = \frac{\pi \cdot 93^2}{2} = 13\,585,82 \text{ mm}^2$$


- návrhový odtok dešťových vod ze střechy v rozhodující části žlabu:

$$Q_N = 2,78 \cdot 10^{-5} \cdot A_E^{1,25} = 2,78 \cdot 10^{-5} \cdot 13\,585,82^{1,25}$$

$$Q_N = 4,08 \text{ l/s}$$

- odtokové množství půlkruhových střešních žlabů: $Q_L = 0,9 \cdot Q_N = 0,9 \cdot 4,08 = 3,67 \text{ l/s}$
- žlab je uložen ve sklonu 0,5% (5mm/m)
- $L/w = 21\,300/93 = 229,03$
- součinitel odtoku (tab. 6 v ČSN 75 6760): $F_L = 1,175$
- odtok dešťových vod žlabem ze střechy: $Q_N = 3,67 \cdot 1,175 = 4,31 \text{ l/s} > Q_2 = 4,03 \text{ l/s}$
- pozn.: žlab nemá dno opatřeno sítkem pro zachytávání nečistot a je pravidelně čištěn



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE			
FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ			
VYPRACOVAL: Bc. KRISTÝNA MATĚJOVÁ		VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE: Ing. MICHAL JANDERA, Ph.D.	
TEMA DIPLOMOVÉ PRÁCE NÁVRH OCELOVÉ SKLADOVACÍ HALY S VYUŽITÍM PLÁŠŤOVÉHO CHOVÁNÍ		MĚŘÍTKO: 1:200	DATUM: leden 2017
NÁZEV PŘÍLOHY: SCHÉMA ODVODNĚNÍ STŘECHY		ČÍSLO VÝKRESU: —	