



Fakulta stavební  
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Budova finanční správy  
Building of financial authority  
Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Bc. Albert Zaruba  
Praha 2021

## Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci pětipatrové administrativní budovy uložené na železobetonovou suterénní konstrukci. Půdorys má oválný tvar a jeho rozměry jsou 41,88 x 15,32 m, konstrukční výška patra je 3,6 m; lokalita stavby Praha. Konstrukce je navržena jako ocelový skelet s celkovou výškou 21,72 m. Stropní konstrukce je stropnicová, se spřaženou ŽB deskou. Prostorovou tuhost zajišťují příčná a podélná svislá příhradová ztužení na výšku budovy s tuhými stropními deskami a dále ŽB jádro schodiště. Fasáda je tvořena lehkým obvodovým pláštěm. Podrobný návrh všech konstrukčních částí je řešen ve statickém výpočtu. Pro daný návrh je též zpracována výkresová dokumentace a technická zpráva.

## Klíčová slova

Ocelová konstrukce, skelet, příhradové ztužení, oválný půdorys, ŽB jádro, lehký obvodový plášť.

## Abstract

The aim of this master thesis is to design and assess the steel structure of the five-storey administrative building, which is supported by reinforced concrete basement. The building has an oval plan with dimensions of 41,88 x 15,32 m, the story height of 3,6 m; the structure is located in Prague. The structure is designed as a skeleton steel framing system with the total frame height of 21,72 m. The floor structure is a composite steel and concrete system of primary and secondary beams with reinforced concrete slab. Spatial rigidity of the structure is provided by transverse and longitudinal vertical truss bracing along the whole building height with rigid floor slab and reinforced concrete shear core encasing the staircase. The facade is created by a curtain wall. Design of the structural elements is solved in the detail calculations. The project is accompanied by drawing documentation and technical report.

## Keywords

Steel structure, skeleton frame, truss bracing, oval plan, reinforced concrete shear core, curtain wall.

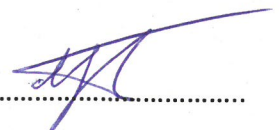
## Poděkování

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Josefu Macháčkovi, DrSc., vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly zpracovat tuto závěrečnou práci.

## Prohlášení

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

V Praze dne 12.5.2021




Bc. Albert Zaruba

## Prohlášení

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

V Praze dne 12.5.2021



.....

Bc. Albert Zaruba



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Zaruba Jméno: Albert Osobní číslo: 426361  
Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Budova finanční správy  
Název diplomové práce anglicky: Building of financial authority

Pokyny pro vypracování:

Pro daný oválný půdorys pětipatrové administrativní budovy vypracujte:

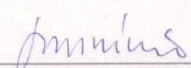
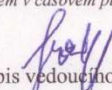
- dispoziční řešení nosné konstrukce,
- podrobný statický výpočet hlavních nosných částí,
- podrobnou (dílenskou) dokumentaci vybraných hlavních částí,
- technickou zprávu.

Seznam doporučené literatury:

- časopisy Stahl in der Architektur, Stahlbau, Bautechnik, Acier-Stahl-Steel, Costruzioni Metalliche
- Dowling, Knowles, Owens: Structural Steel Design. Butterworths London, 1988, 399 s. (ISBN: 0-408-03717-2)
- Macháček, Studnička: Ocelové konstrukce 20. Skriptum ČVUT, 2002, 309 s.

Jméno vedoucího diplomové práce: Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.Datum zadání diplomové práce: 20.2.2021Termín odevzdání diplomové práce: 16.5.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

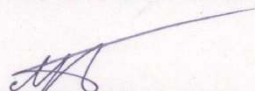
  
Podpis vedoucího práce  
Podpis vedoucího katedry

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat 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“.*

20.2.2021

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)



Fakulta stavební  
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Budova finanční správy

Building of financial authority

Statický výpočet

Bc. Albert Zaruba  
Praha 2021

## Obsah

1	Popis a parametry navrhované konstrukce .....	4
2	Zatížení.....	5
2.1	Provozní zatížení.....	5
2.1.1	Kanceláře, chodby, zasedací místnosti, phone box, chill out zóna, úklidová místnost, zóna open space .....	5
2.1.2	Sklad .....	7
2.1.3	Kuchyň .....	8
2.1.4	WC muži a ženy .....	9
2.1.5	Střecha nepochůzná .....	10
3	Trapézový plech jako ztracené bednění .....	13
3.1	Montážní zatížení.....	13
3.2	Návrh a posouzení .....	14
3.2.1	MSÚ .....	14
3.2.2	MSP, rybníkový efekt.....	15
3.2.3	Nové zatížení .....	16
4	Stropnice .....	18
4.1	Stropnice S1 .....	18
4.1.1	Návrh stropnice .....	19
4.1.2	Montážní stav .....	19
4.1.3	Montážní stav – zvýšená tloušťka ŽB desky .....	21
4.1.4	Provozní stav .....	23
4.1.5	Reakce na průvlak .....	29
4.2	Stropnice S2 .....	29
4.2.1	Návrh stropnice .....	29
4.2.2	Montážní stav .....	30
4.2.3	Provozní stav .....	32
4.2.4	Reakce na průvlak .....	38
4.3	Stropnice S3 .....	38
4.3.1	Zatížení obvodovým pláštěm .....	38
4.3.2	Návrh stropnice .....	39
4.3.3	Montážní stav .....	40



---

4.3.4	Montážní stav – zvýšená tloušťka ŽB desky .....	42
4.3.5	Provozní stav .....	44
4.3.6	Reakce na průvlak .....	50
4.4	Stropnice – závěr .....	50
5	Průvlak.....	50
5.1	Průvlak P1 .....	51
5.1.1	Návrh průvlaku .....	51
5.1.2	Provozní stav .....	51
5.2	Průvlak P2 .....	58
5.2.1	Návrh průvlaku .....	58
5.2.2	Provozní stav .....	58
5.3	Průvlak P3 .....	66
5.3.1	Návrh průvlaku .....	66
5.3.2	Provozní stav .....	66
5.4	Průvlak – závěr.....	73
6	Svislá konstrukce.....	73
6.1	Sloupy C1 a C2 .....	73
6.1.1	Sloup C1.....	74
6.1.1.1	Provozní zatížení sloupu .....	74
6.1.1.2	Návrh a posouzení horní části sloupu .....	76
6.1.1.3	Návrh a posouzení spodní části sloupu.....	78
6.1.2	Sloup C2.....	82
6.1.2.1	Provozní zatížení sloupu .....	83
6.1.2.2	Návrh a posouzení horní části sloupu .....	85
6.1.2.3	Návrh a posouzení spodní části sloupu.....	87
6.2	Ztužení .....	91
6.2.1	Zatížení příčným větrem.....	91
6.2.2	Vnitřní síly ztužení .....	98
6.2.3	Sloup C3.....	104
6.2.3.1	Návrh a posouzení horní části sloupu .....	104
6.2.3.2	Návrh a posouzení spodní části sloupu.....	106
6.2.4	Sloup C4.....	107
6.2.4.1	Návrh a posouzení horní části sloupu .....	107

---

6.2.4.2	Návrh a posouzení spodní části sloupu.....	108
6.2.5	Diagonály D1 a D2 .....	110
6.2.6	Vodorovný průhyb.....	112
7	Přípoje konstrukce .....	112
7.1	Přípoj stropnic S1 a S2 na průvlak P1 .....	112
7.2	Přípoj průvlaku P1 a krajního průvlaku IPE 240 na sloup C3.....	114
7.3	Přípoj krajního průvlaku IPE 240 na sloup C4.....	117
7.4	Kotvení sloupu C4.....	118
7.5	Kotvení sloupu C3.....	120
7.6	Přípoj diagonály D1 na krajní průvlak IPE 240.....	121
8	Použitá literatura .....	125

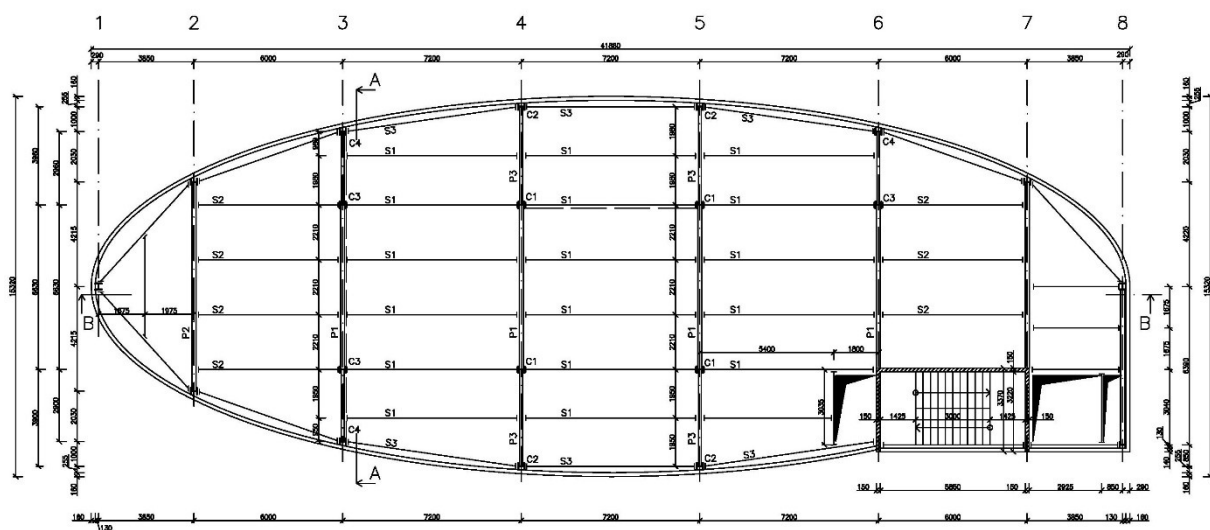
# 1 Popis a parametry navrhované konstrukce

V této části bude proveden návrh a podrobný statický výpočet hlavních nosných prvků ocelového skeletu administrativní budovy. Pětipatrová konstrukce má oválný půdorys. Zavětrování a zajištění prostorové tuhosti budovy (zejména pro přenos vodorovného zatížení) je řešeno podélným ztužidlem, příčným ztužidlem a ŽB jádrem. Uvnitř ŽB jádra se nachází schodiště. Podélná a příčná ztužení jsou příhradová (zavětrovací kříže), příčné je tvořeno dvěma samostatnými příhradovými věžemi propojenými v každém patře průvlakem jako kyvným prutem. Navíc v horním patře věže jsou propojeny příhradou tvaru „A“ pro zvýšení tuhosti ztužení a vytvářející příhradový rám. Konstrukce také disponuje otvorem pro výtahovou šachtu a otvorem pro vedení TZB. Stropní konstrukce je stropnicová, složená z průvlaků a stropnic z válcovaných profilů a ŽB desky uložené na trapézovém plechu, působícím jako ztracené bednění. Fasádu objektu tvoří lehký obvodový plášť (konkrétně rastrová fasáda zakřiveného tvaru z důvodu oválného tvaru půdorysu). Rastr fasády je tvořen systémem hliníkových profilů a sklem na světlost výšku kanceláře. V místě místnosti WC tvoří výplň mezi profily neprůhledné tepelně izolační panely – viz schéma typického podlaží.

Parametry konstrukce:

- Půdorysné rozměry: 41,88 x 15,32 m
- Počet podlaží: 6
- Konstrukční výška patra: 3600 mm
- Minimální světlost: 2700 mm
- Celková výška ocelového skeletu: 21,72 m
- Lokalita stavby: Praha

## PŮDORYS TYPICKÉHO PODLAŽÍ (ŘEZ C-C)



Obr. 1 – Půdorys typického podlaží

## 2 Zatížení

### 2.1 Provozní zatížení

#### 2.1.1 Kanceláře, chodby, zasedací místnosti, phone box, chill out zóna, úklidová místnost, zóna open space

- Stálé zatížení
  - Podlaha

Vrstva	Tloušťka [mm]	$g_{p,k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_{p,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Instalační – Liapor mix	80	6	0,48
Akustická – kročejová izolace RIGIFLOOR 4000	30	0,12	0,0036
Separáční – DEKSEPAR	0,2	-	0,00185
Rozněšecí – betonová mazanina	50	25	1,25
Separáční, parotěsnicí – DEKSEPAR	0,2	-	0,00185
Nášlapná – zátěžový koberec čtverce	5,1	-	0,0367
CELKEM	165,5	-	1,774

Tab. 1 – vlastní tíha podlahy (kancelář)

- ŽB stropní deska

Jako ztracené bednění pro stropní desku bude použit TR 50/250/1,00 (odhad). Celková výška desky zvolena 130 mm (> 120 mm vyžadované obvykle z hlediska požární odolnosti).

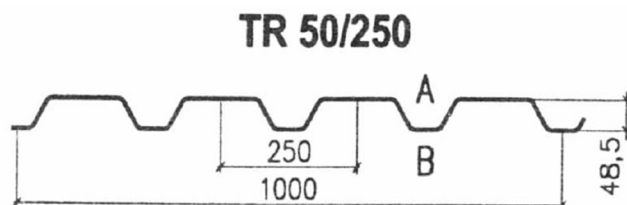
Srovnávací výška desky:

$$h_{sr} = 81,5 + 48,5 \cdot \frac{54+30,5}{250} = 97,893 \text{ mm}$$

$$g_{žb,k} = 25 \text{ kN/m}^3 ; g_{žb,k} = 25 \cdot \left(\frac{97,893}{1000}\right) = 2,447 \text{ kN/m}^2$$

- Trapézový plech

Uvažujeme odhadem TR 50/250/1,00, bude posouzen později.



Obr. 2 – TR 50/250

Vlastní tíha trapézového plechu  $g_{tr,k} = 0,101 \text{ kN/m}^2$ .

- Zařízení TZB

Uvažovaná vlastní tíha zařízení TZB (uchycené k trapézovému plechu v prostoru mezi plechem a podhledem)  $g_{tzb,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

- Podhled

Bude použit konstrukční systém Knauf – ocelová spodní konstrukce UA/CD, který umožňuje použití větších roztečí zavěšovacích prvků a dostatečný prostor pro vedení instalace v prostoru nad podhledem.

Uvažovaná vlastní tíha  $g_{knauf,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

- Stálé zatížení celkem

$g_{strop,k} [\text{kN/m}^2]$	$\gamma_G [-]$	$g_{strop,d} [\text{kN/m}^2]$
5,322	1,35	7,185

Tab. 2 – stálé zatížení stropu (kancelář)

- Proměnné zatížení
  - Příčky

Příčky výše uvedených prostorů budou dvou typů: sádkartonové a skleněné – viz schéma typického podlaží. Příčky jsou přemístitelné.

Sádkartonové příčky mají tloušťku 120 mm (v místech ztužení 200 až 260 mm, vlastní tíha se předpokládá ekvivalentní jako u 120 mm) a skládají se z 2x SDK deska tl. 12,5 mm a 1x izolace DEKWOOL tl. 80 mm.

Vrstva	Tloušťka [mm]	Výška [mm]	$q_{sdk,k} [\text{kN/m}^3]$	$q_{sdk,k} [\text{kN/m}]$
SDK deska	25	2750	7,5	0,516
Izolace DEKWOOL	80	2750	0,145	0,032
CELKEM	-	-	-	0,548

Tab. 3 – vlastní tíha SDK příčky

Skleněné příčky jsou jednoduché (jednovrstvé), drženy hliníkovým nosným rámem. Sklo má tloušťku 12 mm.

$$q_{sklo,k} = 25 \text{ kN/m}^3 ; h_{sklo} = 2750 \text{ mm} ; t = 12 \text{ mm}$$

$$q_{sklo,k} = 25 \times (2750/1000) \times (12/1000) = 0,825 \text{ kN/m}$$

Stropní konstrukce umožňuje příčné roznášení zatížení. Podle ČSN EN 1991-1-1 lze uvažovat vlastní tíhu přemístitelných příček jako ekvivalentní rovnoměrné plošné zatížení přidané k užitému zatížení. Vlastní tíha obou typů použitých příček je menší než 1 kN/m. Náhradní rovnoměrné zatížení od přemístitelných příček se bude uvažovat  $q_{příčka,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

- Užité zatížení

Uvažujeme užitnou kategorii B – kancelářské plochy (doporučena hodnota).

$$q_{užitné,k} = 3,0 \text{ kN/m}^2.$$

- Proměnné zatížení celkem

$q_{\text{strop,k}} [\text{kN/m}^2]$	$\gamma_Q [-]$	$q_{\text{strop,d}} [\text{kN/m}^2]$
3,5	1,50	5,25

Tab. 4 – proměnné zatížení stropu (kancelář)

- Zatížení celkem

$g_{\text{strop,k}}$	5,322
$q_{\text{strop,k}}$	3,5
$(g + q)_{\text{strop,k}}$	<b>8,822</b>
$g_{\text{strop,d}}$	7,185
$q_{\text{strop,d}}$	5,25
$(g + q)_{\text{strop,d}}$	<b>12,435</b>

Tab. 5 – zatížení stropu celkem (kancelář) [ $\text{kN/m}^2$ ]

## 2.1.2 Sklad

Jedná se o místnost č. 2.17 – sklad. Tento prostor bude používán jako archiv pro dokumenty a zároveň pro zásoby kancelářských potřeb, papíru, rolí pro plotr atd.

- Stálé zatížení

Skladba podlahy, stropní konstrukce, podhled a zařízení TZB jsou totožné jako u kanceláří. Tím pádem stálé zatížení stropu se uvažuje stejné jako v kapitole 2.1.1, oddíl „stálé zatížení“.

- Stálé zatížení celkem

$g_{\text{strop,k}} [\text{kN/m}^2]$	$\gamma_G [-]$	$g_{\text{strop,d}} [\text{kN/m}^2]$
5,322	1,35	7,185

Tab. 6 – stálé zatížení stropu (sklad)

- Proměnné zatížení

- Příčky

Pro sklad použijeme SDK přemístitelné příčky, zatížení od příček je uvažováno jako ekvivalentní rovnoměrné plošné – viz výpočet kapitola 2.1.1, oddíl „proměnné zatížení“.

$$q_{\text{příčka,k}} = 0,5 \text{ kN/m}^2.$$

- Užité zatížení

Podle ČSN EN 1991-1-1 uvažujeme kategorii užitého zatížení D2 – plochy v obchodních domech, např. sklady papírnictví a kancelářských potřeb  $q_{\text{užité,k}} = 5,0 \text{ kN/m}^2$ .

- Proměnné zatížení celkem

$q_{\text{strop,k}} [\text{kN/m}^2]$	$\gamma_Q [-]$	$q_{\text{strop,d}} [\text{kN/m}^2]$
--------------------------------------	----------------	--------------------------------------

5,5	1,50	8,25
-----	------	------

Tab. 7 – proměnné zatížení stropu (sklad)

- Zatížení celkem

$g_{\text{strop,k}}$	5,322
$q_{\text{strop,k}}$	5,5
$(g + q)_{\text{strop,k}}$	<b>10,822</b>
$g_{\text{strop,d}}$	7,185
$q_{\text{strop,d}}$	8,25
$(g + q)_{\text{strop,d}}$	<b>15,435</b>

Tab. 8 – zatížení stropu celkem (sklad) [kN/m<sup>2</sup>]

### 2.1.3 Kuchyň

- Stálé zatížení

Stálé zatížení se uvažuje stejné jako u kanceláří (kapitola 2.1.1.) s výjimkou podlah.

- Podlaha

Vrstva	Tloušťka [mm]	$g_{p,k}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_{p,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Instalační – Liapor mix	80	6	0,48
Akustická – kročejová izolace RIGIFLOOR 4000	30	0,12	0,0036
Separáční – DEKSEPAR	0,2	-	0,00185
Roznášecí – betonová mazanina	50	25	1,25
Penetrační – weberpodklad A	3	-	0,0003
Lepicí – weberfor profiflex	3	-	0,04
Nášlapná – keramická dlažba do interiéru + spárovací hmota	10	20	0,2
<b>CELKEM</b>	<b>176,2</b>	<b>-</b>	<b>1,976</b>

Tab. 9 – vlastní tíha podlahy (kuchyň)

- Stálé zatížení celkem

$g_{\text{strop,k}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$ [-]	$g_{\text{strop,d}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
5,524	1,35	7,457

Tab. 10 – stálé zatížení stropu (kuchyň)

- Proměnné zatížení

- Příčky

Zatížení vlastní tíhou příček – viz kapitola 2.1.1, oddíl „proměnné zatížení“.

$$q_{\text{příčka,k}} = 0,5 \text{ kN/m}^2.$$

- Užité zatížení

Podle ČSN EN 1991-1-1 uvažujeme kategorii užitého zatížení C1 – plochy se stoly.

$$q_{\text{užitné},k} = 3,0 \text{ kN/m}^2.$$

- Proměnné zatížení celkem

$q_{\text{strop},k} [\text{kN/m}^2]$	$\gamma_Q [-]$	$q_{\text{strop},d} [\text{kN/m}^2]$
3,5	1,50	5,25

Tab. 11 – proměnné zatížení stropu (kuchyň)

- Zatížení celkem

$g_{\text{strop},k}$	5,524
$q_{\text{strop},k}$	3,5
$(g + q)_{\text{strop},k}$	<b>9,024</b>
$g_{\text{strop},d}$	7,457
$q_{\text{strop},d}$	5,25
$(g + q)_{\text{strop},d}$	<b>12,707</b>

Tab. 12 – zatížení stropu celkem (kuchyň) [kN/m<sup>2</sup>]

#### 2.1.4 WC muži a ženy

- Stálé zatížení

Stálé zatížení se uvažuje stejné jako u kuchyně, skladba podlahy je totožná, viz kapitola 2.1.3.

- Stálé zatížení celkem

$g_{\text{strop},k} [\text{kN/m}^2]$	$\gamma_G [-]$	$g_{\text{strop},d} [\text{kN/m}^2]$
5,524	1,35	7,457

Tab. 13 – stálé zatížení stropu (WC)

- Proměnné zatížení

- Příčky

Zatížení vlastní tíhou příček se uvažuje stejně jako u ostatních prostorů, tzn.

$$q_{\text{příčka},k} = 0,5 \text{ kN/m}^2.$$

- Užité zatížení

Uvažujeme kategorii užitého zatížení C3 – plochy, kde dochází ke shromažďování lidí (přístupné plochy v administrativních budovách). V ČSN EN 1991-1-1 charakteristická hodnota užitého zatížení se pohybuje mezi 3,0 a 5,0 kN/m<sup>2</sup> s tím, že 5,0 kN/m<sup>2</sup> je doporučená hodnota. Vzhledem k ploše WC pro muže a ženy a předpokládanému počtu zaměstnanců pro danou konstrukci se uvažuje průměr hodnot.



$$q_{\text{užitné,k}} = 4,0 \text{ kN/m}^2.$$

- Proměnné zatížení celkem

$q_{\text{strop,k}} [\text{kN/m}^2]$	$\gamma_Q [-]$	$q_{\text{strop,d}} [\text{kN/m}^2]$
4,5	1,50	6,75

Tab. 14 – proměnné zatížení stropu (WC)

- Zatížení celkem

$g_{\text{strop,k}}$	5,524
$q_{\text{strop,k}}$	4,5
$(g + q)_{\text{strop,k}}$	<b>10,024</b>
$g_{\text{strop,d}}$	7,457
$q_{\text{strop,d}}$	6,75
$(g + q)_{\text{strop,d}}$	<b>14,207</b>

Tab. 15 – zatížení stropu celkem (WC) [kN/m<sup>2</sup>]

### 2.1.5 Střecha nepochůzná

Střecha bude navržena jako nepochůzná, tzn. nepřístupná, s výjimkou údržby a oprav. Střecha je plochá a sklon pro účely výpočtu zatížení sněhem se uvažuje 0° (i když ve skutečnosti bude realizován minimální sklon pro odvodnění). Zatížení příčným a podélným větrem nemá vliv na svislé zatížení střechy z výše uvedeného důvodu.

- Stálé zatížení
  - Střešní plášť (systém DEKROOF 08-A)

Vrstva	Tloušťka [mm]	$g_{\text{sp,k}} [\text{kN/m}^3]$	$g_{\text{sp,k}} [\text{kN/m}^2]$
Přípravný nátěr podkladu – DEKPRIMER	-	-	0,003
Parotěsnicí, vzduchotěsnicí, hydroizolační, provizorní – GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL	4	-	0,002
Stabilizační – PUK 3D XL	-	-	0,003
Tepelněizolační, spádová – spádové klíny EPS 100	80	0,2	0,016
Stabilizační – PUK 3D XL	-	-	0,003
Tepelněizolační – EPS 100	160	0,2	0,032
Separáčnický – FILTEK 300	2,9	-	0,003
Hydroizolační – DEKPLAN 77	1,5	-	0,018
Ochranná – FILTEK 500	4	-	0,005
Stabilizační, ochranná – prané říční kamenivo frakce 16-32	50	13,5	0,675
<b>CELKEM</b>	<b>302,4</b>	-	<b>0,760</b>

Tab. 16 – vlastní tíha střešního pláště

Vlastní tíha ŽB stropní desky, trapézového plechu, podhledu a zatížení od TZB se uvažuje stejná jako u typického podlaží – viz výpočet v kapitole 2.1.1.

	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
ŽB stropní deska	2,447
Trapézový plech	0,101
Zatížení TZB	0,5
Podhled	0,5

Tab. 17 – přehled stálého zatížení střechy

- Stálé zatížení celkem

$g_{\text{střecha,k}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$ [ - ]	$g_{\text{střecha,d}}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
4,308	1,35	5,816

Tab. 18 – stálé zatížení střechy

- Proměnné zatížení
  - Užité zatížení

Pro střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav dle ČSN EN 1991-1-1 a NA.2.9 se uvažuje kategorie užitého zatížení H. Na celé ploše střechy uvažujeme:

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

- Zatížení sněhem

Zatížení od sněhu na střeše se stanoví dle následujícího vzorce:

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

- 1) Tvarové součinitele  $\mu_1$  a  $\mu_2$  pro střechy dle tab. ČSN EN 1991-1-3

Součinitele  $\mu_1$  a  $\mu_2$  pro sedlové a pultové střechy (plochá střecha se může uvažovat jako pultová střecha bez sklonu) se stanoví na základě sklonu střechy  $\alpha$  dle tab. v normě.

Pro  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$  (v daném případě  $\alpha \approx 0^\circ$ )  $\rightarrow \mu_1 = \mu_2 = 0,8$ .

- 2) Součinitel expozice

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

- 3) Tepelný součinitel

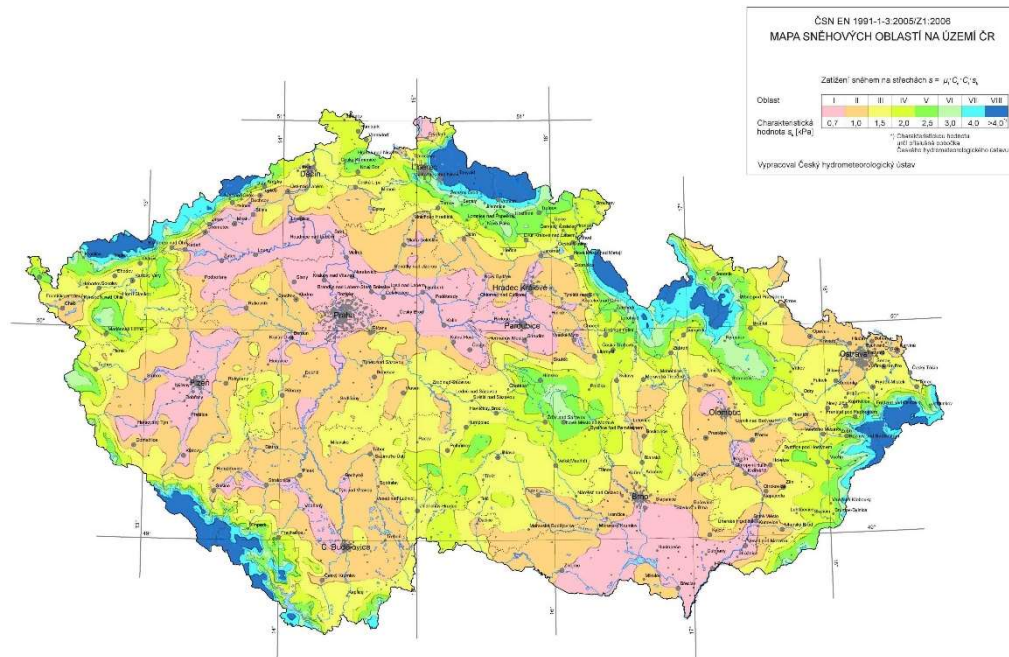
$C_t = 1,0$  – nejedná se o střechu s velkým prostupem tepla.

Místní podmínky jsou následující:

- nevznikají navátí sněhu u překážek
  - nevznikají sněhové převisy u okrajů střechy
  - na střeše nejsou sněžníky nebo jiné překážky
- 4) Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

Lokalita konstrukce – Praha (dle sněhové mapy ČR patří k oblasti I), z toho vyplývá:

$$s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 3 –  
Mapa  
sněhových  
oblastí

$$s = q_{snih,k} = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

- Proměnné zatížení celkem

Podle ČSN EN 1991-1-1 na střechách kategorie H se nemá uvažovat současně zatížení sněhem a užité zatížení, proto celkové proměnné svislé zatížení střechy se stanoví podle vzorce:

$$q_{střecha,k} = \max(q_{užitné,k}; q_{snih,k}) = \max(0,75; 0,56) = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$q_{střecha,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{střecha,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
0,75	1,50	1,125

Tab. 19 – proměnné zatížení střechy

- Zatížení celkem

$g_{střecha,k}$	4,308
$q_{střecha,k}$	0,75
$(g + q)_{střecha,k}$	<b>5,058</b>
$g_{střecha,d}$	5,816
$q_{střecha,d}$	1,125
$(g + q)_{střecha,d}$	<b>6,941</b>

Tab. 20 – zatížení střechy celkem [kN/m<sup>2</sup>]

## 3 Trapézový plech jako ztracené bednění

### 3.1 Montážní zatížení

V dané kapitole navrhne a posoudíme trapézový plech na účinky montážního zatížení. Trapézový plech do ztvrdnutí ŽB desky bude působit jako ztracené bednění a musí přenášet příslušné zatížení během montáže. Zatížení je počítáno na běžný metr.

- Stálé zatížení

- ŽB stropní deska

Srovnávací výška desky byla vypočítána v kapitole 2.1.1.

$$h_{sr} = 97,893 \text{ mm}$$

Pro mokrý beton se uvažuje objemová tíha následovně:

$$g_{\text{žb,wet,k}} = 26 \text{ kN/m}^3 ; g_{\text{žb,wet,k}} = 26 \cdot \left(\frac{97,893}{1000}\right) = 2,545 \text{ kN/m}^2$$

- Trapézový plech

Uvažujeme odhadem TR 50/250/1,00, bude posouzen později.

Vlastní tíha trapézového plechu  $g_{tr,k} = 0,101 \text{ kN/m}^2$ .

- Stálé zatížení celkem

$$g_{TR, \text{mont,k}} = 2,545 + 0,101 = 2,646 \text{ kN/m}^2$$

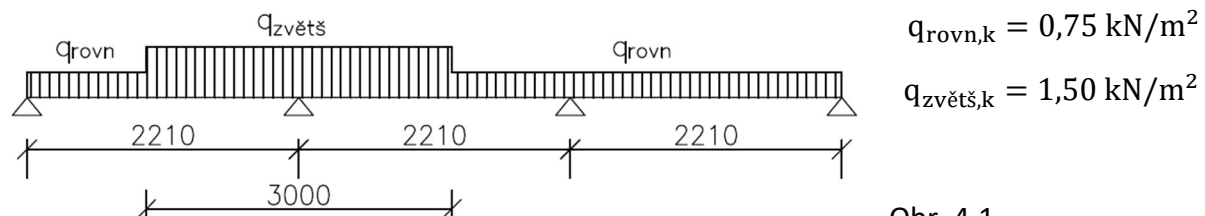
$$g_{TR, \text{mont,k}} = 2,646 \cdot Z\check{S} = 2,646 \cdot 1,0 = 2,646 \text{ kN/m}$$

$g_{TR, \text{mont,k}}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{TR, \text{mont,d}}$ [kN/m]
2,646	1,35	3,572

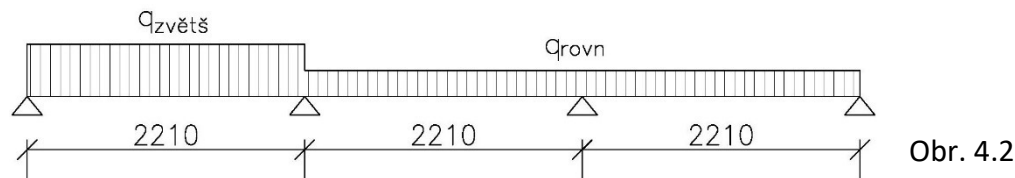
Tab. 21 – stálé zatížení TR montážní

- Proměnné zatížení (podle ČSN EN 1991-1-6, odst. 4.11.2):

Uvažují se následující dvě zatěžovací schémata proměnným zatížením trapézového plechu v montážním stavu (konzervativní hodnota  $q_{zvětš,k}$ ).



Obr. 4.1



Obr. 4.2

$$q_{TR,rovň,k} = 0,75 \times Z\check{S} = 0,75 \times 1,0 = 0,75 \text{ kN/m}$$

$$q_{TR,zvětš,k} = 1,50 \times Z\check{S} = 1,50 \times 1,0 = 1,50 \text{ kN/m}$$

$q_{TR,rovň,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{TR,rovň,d}$ [kN/m]
0,75	1,50	1,125
$q_{TR,zvětš,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{TR,zvětš,d}$ [kN/m]
1,50	1,50	2,25

Tab. 22 – proměnné zatížení TR montážní

## 3.2 Návrh a posouzení

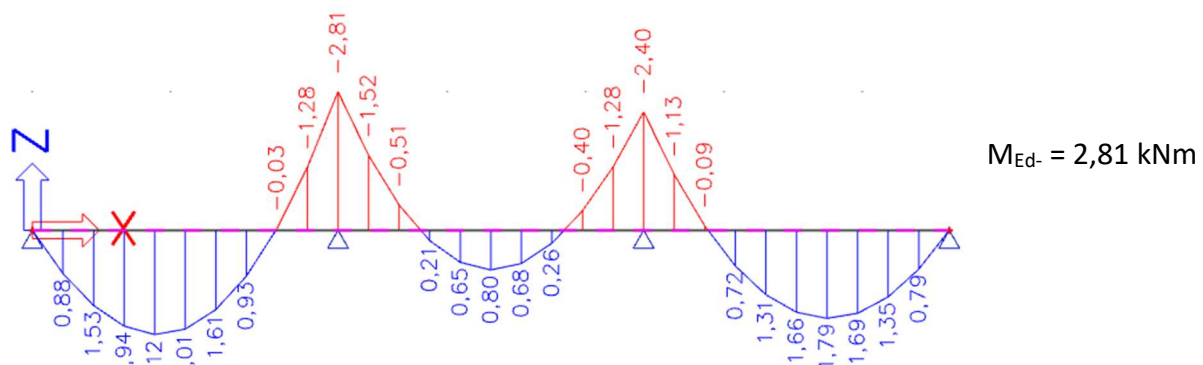
### 3.2.1 MSÚ

Navrhujeme trapézový plech v MSÚ na účinky zatížení spočítaného v předchozí kapitole.

V montážním stavu máme tři zatěžovací stavy:

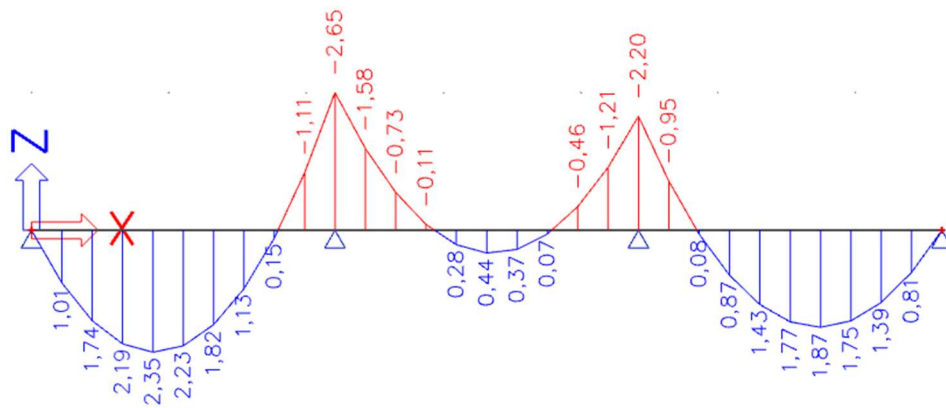
- Vlastní tíha ŽB desky + TR plechu.
- Proměnné zatížení v montážním stavu – var. 1 obr. 4.1
- Proměnné zatížení v montážním stavu – var. 2 obr. 4.2

Rozložení vnitřních sil od lineární kombinace zatěžovacích stavů vlastní tíha + proměnné zatížení varianta 1 (návrhové hodnoty) vidíme na obrázku 5.1.


 $M_{Ed} = 2,81 \text{ kNm}$ 

Obr. 5.1

Rozložení vnitřních sil od lineární kombinace zatěžovacích stavů vlastní tíha + proměnné zatížení varianta 2 (návrhové hodnoty) vidíme na obrázku 5.2. Maximální hodnotu záporného momentu vyvolává kombinace s proměnným zatížením na obr. 4.1. Maximální hodnotu kladného momentu vyvolává kombinace s proměnným zatížením na obr. 4.2.



$$M_{Ed+} = 2,35 \text{ kNm}$$

Výpočet  
proveden ve  
SCIA Engineer.

Obr. 5.2

Profily jsou vyrobeny z oceli S320GD  $\rightarrow f_y = 320 \text{ MPa}$ .

$$M_{Rd} = W_{y,eff} \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right)$$

$$W_{y,eff,min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yk}/\gamma_{M0}}$$

$$W_{y,eff,min} = \frac{M_{Ed+}}{f_{yk}/\gamma_{M0}} = \frac{2,35 \cdot 10^6}{320/1,0} = 7343,75 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,eff,min-} = \frac{M_{Ed-}}{f_{yk}/\gamma_{M0}} = \frac{2,81 \cdot 10^6}{320/1,0} = 8781,25 \text{ mm}^3$$

### NÁVRH TR 40/160/0,75

$$I_{y,eff+} = I_{y,eff-} = I_{y,eff} = 213000 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff+} = W_{y,eff} = W_{y,eff} = 10690 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = 10690 \cdot \left( \frac{320}{1,0} \right) = 3,421 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \max(M_{Ed+}; M_{Ed-}) = \max(2,35; 2,81) = 2,81 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 3,421 \text{ kNm} > M_{Ed} = 2,81 \text{ kNm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

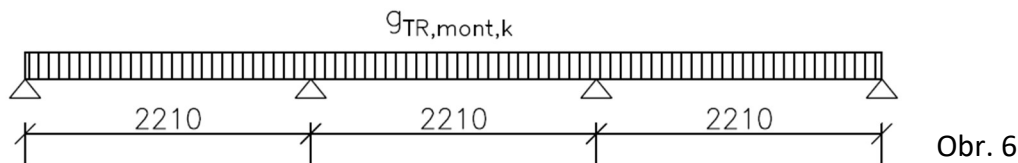
### 3.2.2 MSP, rybníkový efekt

Při návrhu plechobetonové desky v montážním stavu je nutné ověřit, zda se projevuje tzv. „rybníkový efekt“ (zvýšení tloušťky betonové desky vlivem průhybu podle ČSN 1994-1-1, odst. 9.3.2). Porovnáváme průhyb od stálého charakteristického zatížení a limitní průhyb  $L/180$ .

Upravíme vlastní tíhu trapézového plechu. Pro TR 40/160/0,75 platí  $g_{tr,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2$ .

$$g_{TR,mont,k} = 2,545 + 0,077 = 2,622 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{TR, mont, k} = 2,622 \cdot Z\check{S} = 2,622 \cdot 1,0 = 2,622 \text{ kN/m}$$



$$M_{Ek} = \frac{1}{10} g_{TR, mont, k} L^2 = \frac{1}{10} \cdot 2,622 \cdot 2,21^2 = 1,281 \text{ kNm}$$

$$\delta = \frac{1}{EI_{y, eff}} \left( \frac{5}{384} g_{TR, mont, k} L^4 - 0,0625 M_{Ek} L^2 \right); E = 210000 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{1}{210000 \times 213000} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot 2,622 \cdot 2210^4 - 0,0625 \cdot 1,281 \cdot 10^6 \cdot 2210^2 \right)$$

$$\delta = 9,465 \text{ mm}$$

Pro zatížení čerstvým betonem platí omezení:  $\delta_{max} = \frac{L}{180} = \frac{2210}{180} = 12,278 \text{ mm}$

$$\delta = 9,465 \text{ mm} < \delta_{max} = 12,278 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

$$\delta = 9,465 \text{ mm} < \frac{1}{10} \text{ tloušťky betonové desky} = \frac{130}{10} = 13 \text{ mm} \rightarrow$$

Tzn. , že není nutné zohlednit rybníkový efekt. Nicméně efekt můžeme započíst zvýšením tloušťky ŽB desky o 0,7δ.

### 3.2.3 Nové zatížení

Posoudíme navržený trapézový plech s uvážením rybníkového efektu.

- Stálé a proměnné zatížení
  - ŽB stropní deska

$$h_{sr, ryb} = h_{sr} + 0,7\delta = 97,893 + 0,7 \times 9,465 = 104,519 \text{ mm}$$

$$g_{\check{z}b, wet, k} = 26 \text{ kN/m}^3; g_{\check{z}b, wet, k} = 26 \cdot \left( \frac{104,519}{1000} \right) = 2,717 \text{ kN/m}^2$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha TR 40/160/0,75 je

$$g_{tr, k} = 0,077 \text{ kN/m}^2.$$

- Stálé zatížení celkem

$$g_{TR, mont, k} = 2,717 + 0,077 = 2,794 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{TR, mont, k} = 2,794 \cdot Z\check{S} = 2,794 \cdot 1,0 = 2,794 \text{ kN/m}$$

$g_{TR, mont, k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{TR, mont, d}$ [kN/m]
2,794	1,35	3,772

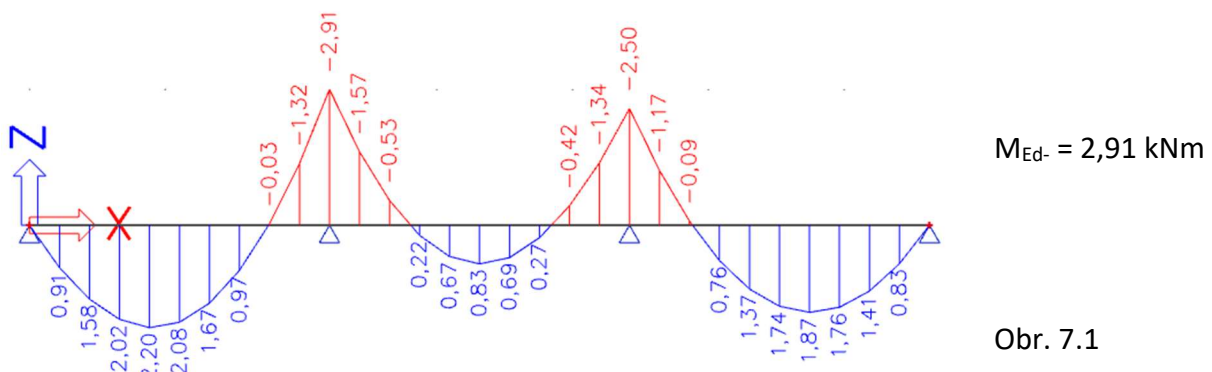
Tab. 23 – stálé zatížení TR montážní včetně rybníkového efektu

- Proměnné zatížení

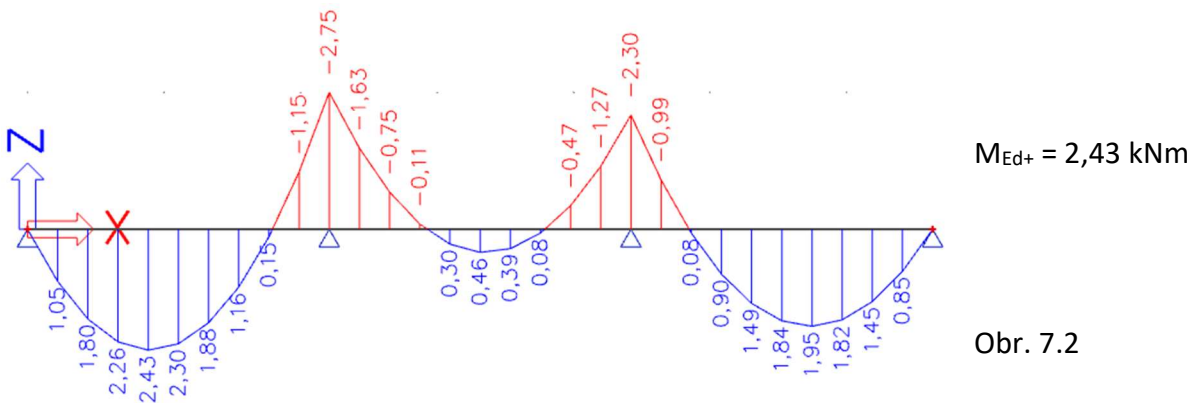
Zatěžovací schémata proměnného zatížení v montážním stavu zůstává beze změny – viz kapitola 3.1 a tab. 22.

- Posouzení MSÚ

Rozložení vnitřních sil od návrhového zatížení včetně zvětšené tloušťky ŽB desky, od kombinace stálého a proměnného zatížení dle obr. 4.1:



Od kombinace stálého a proměnného zatížení dle obr. 4.2 vypadá následovně:



$$M_{Rd} = W_{y, eff} \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right); W_{y, eff} = 10690 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = 10690 \cdot \left( \frac{320}{1,0} \right) = 3,421 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \max(M_{Ed+}; M_{Ed-}) = \max(2,43; 2,91) = 2,91 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 3,421 \text{ kNm} > M_{Ed} = 2,91 \text{ kNm} \rightarrow \mathbf{OK}$$



- Posouzení MSP

$$M_{Ek} = \frac{1}{10} g_{TR, \text{mont}, k} L^2 = \frac{1}{10} \cdot 2,794 \cdot 2,21^2 = 1,365 \text{ kNm}$$

$$\delta = \frac{1}{EI_{y, \text{eff}}} \left( \frac{5}{384} g_{TR, \text{mont}, k} L^4 - 0,0625 M_{Ek} L^2 \right); E = 210000 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{1}{210000 \cdot 213000} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot 2,794 \cdot 2210^4 - 0,0625 \cdot 1,365 \cdot 10^6 \cdot 2210^2 \right)$$

$$\delta = 10,086 \text{ mm}$$

Pro zatížení čerstvým betonem platí omezení:  $\delta_{\text{max}} = \frac{L}{180} = \frac{2210}{180} = 12,278 \text{ mm}$

$$\delta = 10,086 \text{ mm} < \delta_{\text{max}} = 12,278 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

**TR 40/160/0,75 VYHOVUJE**

## 4 Stropnice

Stropnice budou navrženy jako prosté nosníky s montáží bez podpor („bez lešení“). Na linii průvlaků bude v betonové desce zřízena dilatační spára (popř. vložena kari síť) k zamezení vzniku trhlin.

- Materiál

Ocel S355,  $t \leq 40 \text{ mm}$ .

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{uk} = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

### 4.1 Stropnice S1

Stropnice typu S1 ve stropní konstrukci typického podlaží budou navržena na kombinaci největšího rozpětí a největší zatěžovací šířky. Jsou situovány mezi osami 3 a 6 – viz půdorys typického podlaží.

Zatěžovací šířka 2210 mm

Rozpětí stropnice  $L = 7200 \text{ mm}$

### 4.1.1 Návrh stropnice

#### NÁVRH IPE 240

- Průřezové charakteristiky

Klasifikace průřezu: třída průřezu pro ohyb 1.

$$g_{S1,k} = 0,307 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 3,892 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 324000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 366600 \text{ mm}^3$$

$$A_{vz} = 1914 \text{ mm}^2$$

$$A = 3912 \text{ mm}^2$$

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

### 4.1.2 Montážní stav

- Montážní zatížení stropnice

#### Stálé zatížení

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S1,k} = 0,307 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

Výška desky je uvažována s ohledem na rybníkový efekt trapézového plechu – viz kapitola 3.2.3.

$$h_{sr,ryb} = 104,519 \text{ mm}$$

Pro mokrý beton se uvažuje objemová tíha následovně:

$$g_{\text{žb,wet,k}} = 26 \text{ kN/m}^3 ; g_{S1,\text{žb,wet,k}} = 26 \cdot \left(\frac{104,519}{1000}\right) \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 6,006 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapézového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S1,TR,k} = 0,077 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 0,17 \text{ kN/m}.$$

- Stálé zatížení celkem

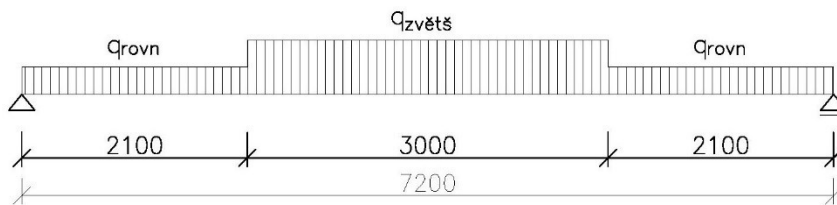
$$g_{S1,\text{mont,k}} = 0,307 + 6,006 + 0,17 = 6,483 \text{ kN/m}$$

$g_{S1, \text{mont}, k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{S1, \text{mont}, d}$ [kN/m]
6,483	1,35	8,752

Tab. 24 – stálé zatížení stropnice S1 v montážním stavu

**Proměnné zatížení**

Uvažuje se následující zatěžovací schéma proměnným zatížením stropnice S1 v montážním stavu.



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

$$q_{\text{zvětš}, k} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

Obr. 8

$$q_{S1, \text{rovň}, k} = 0,75 \cdot Z\check{S} = 0,75 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,658 \text{ kN/m}$$

$$q_{S1, \text{zvětš}, k} = 1,50 \cdot Z\check{S} = 1,50 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 3,315 \text{ kN/m}$$

$q_{S1, \text{rovň}, k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{S1, \text{rovň}, d}$ [kN/m]
1,658	1,50	2,486
$q_{S1, \text{zvětš}, k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{S1, \text{zvětš}, d}$ [kN/m]
3,315	1,50	4,973

Tab. 25 – proměnné zatížení stropnice S1 v montážním stavu

- Vnitřní síly stropnice

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} (g_{S1, \text{mont}, d} + q_{S1, \text{rovň}, d}) L^2 + (q_{S1, \text{zvětš}, d} - q_{S1, \text{rovň}, d}) \frac{3L}{4};$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (8,752 + 2,486) \cdot 7,2^2 + (4,973 - 2,486) \cdot 3 \cdot \frac{7,2}{4};$$

$$M_{Ed} = 86,248 \text{ kNm.}$$

- Posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} (g_{S1, \text{mont}, d} + q_{S1, \text{rovň}, d}) L + 3 \cdot \frac{q_{S1, \text{zvětš}, d} - q_{S1, \text{rovň}, d}}{2};$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (8,752 + 2,486) \cdot 7,2 + 3 \cdot \frac{4,973 - 2,486}{2};$$

$$V_{Ed} = 44,186 \text{ kN.}$$

- Posouzení v montážním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl, Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1914 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \times 1,0} \right) = 392\,292 \text{ N} = 392,292 \text{ kN}$$

$$2V_{Ed} = 2 \cdot 44,186 = 88,373 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 392,292 \text{ kN} > 2V_{Ed} = 88,373 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý smyk

Tlačena pásnice stropnice je držena po celé délce. Jedná se o prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) = \left( 366600 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \right) / 10^6 = 130,143 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 130,143 \text{ kNm} > M_{Ed} = 86,248 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití 66,3 \%}$$

- MSP

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{g_{S1, \text{mont}, k} L^4}{EI_y}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,483 \cdot 7200^4}{210000 \cdot 3,892 \cdot 10^7} = 27,755 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 27,755 \text{ mm} < \delta_{lim} = 28,8 \text{ mm}$$

Pokud žádáme docílit vodorovný povrch desky po betonáži, musí se zohlednit rybníkový efekt a při výpočtu zatížení zvětšit tloušťku betonové desky o  $0,7\delta$ .

$$0,7\delta = 0,7 \cdot 27,755 = 19,429 \text{ mm}$$

### 4.1.3 Montážní stav – zvýšená tloušťka ŽB desky

- Nové montážní zatížení stropnice

#### Stálé zatížení

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S1,k} = 0,307 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,ryb} = h_{sr,ryb} + 0,7\delta = 104,519 + 19,429 = 123,948 \text{ mm}$$

Pro mokrý beton se uvažuje objemová tíha následovně:

$$g_{\text{žb,wet},k} = 26 \text{ kN/m}^3 ; g_{S1,\text{žb,wet},k} = 26 \cdot \left( \frac{123,948}{1000} \right) \cdot \left( \frac{2210}{1000} \right) = 7,122 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapezového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S1,TR,k} = 0,077 \cdot \left( \frac{2210}{1000} \right) = 0,17 \text{ kN/m}.$$

- Stálé zatížení celkem

$$g_{S1, \text{mont}, k} = 0,307 + 7,122 + 0,17 = 7,599 \text{ kN/m}$$

$g_{S1, \text{mont}, k} [\text{kN/m}]$	$\gamma_G [-]$	$g_{S1, \text{mont}, d} [\text{kN/m}]$
7,599	1,35	10,259

Tab. 26 – stálé zatížení stropnice S1 v montážním stavu po zvýšení tloušťky desky

### Proměnné zatížení

Zvýšením tloušťky desky proměnné zatížení stropnice v montážním stavu nebylo dotčeno. Uvažuje se stejně jako v kapitole 4.1.2.

- Vnitřní síly stropnice

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} (g_{S1, \text{mont}, d} + q_{S1, \text{rovn}, d}) L^2 + (q_{S1, \text{zvětš}, d} - q_{S1, \text{rovn}, d}) \frac{3L}{4};$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (10,259 + 2,486) \cdot 7,2^2 + (4,973 - 2,486) \cdot 3 \cdot \frac{7,2}{4};$$

$$M_{Ed} = 96,014 \text{ kNm.}$$

- Posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} (g_{S1, \text{mont}, d} + q_{S1, \text{rovn}, d}) L + 3 \cdot \frac{q_{S1, \text{zvětš}, d} - q_{S1, \text{rovn}, d}}{2};$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (10,259 + 2,486) \cdot 7,2 + 3 \cdot \frac{4,973 - 2,486}{2};$$

$$V_{Ed} = 49,612 \text{ kN.}$$

- Posouzení v montážním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl, Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1914 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 392\,292 \text{ N} = 392,292 \text{ kN}$$

$$2V_{Ed} = 2 \cdot 49,612 = 99,224 \text{ kN}$$

$$V_{pl, Rd} = 392,292 \text{ kN} > 2V_{Ed} = 99,224 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý ohyb

Tlačena pásnice stropnice je držena po celé délce. Prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

$$M_{pl, Rd} = W_{pl, y} \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) = \left( 366600 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \right) / 10^6 = 130,143 \text{ kNm}$$

$$M_{pl, Rd} = 130,143 \text{ kNm} > M_{Ed} = 96,014 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití 73,8 \%}$$

- MSP

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{g_{S1, \text{mont}, k} L^4}{EI_y}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{7,599 \cdot 7200^4}{210000 \cdot 3,892 \cdot 10^7} = 32,535 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 32,535 \text{ mm} > \delta_{\text{lim}} = 28,8 \text{ mm}$$

Stropní konstrukce dostatečně kryta pohledem. Z hlediska použitelnosti není průhyb ocelového nosníku v montážním stavu rozhodující. Pro posouzení MSP bude použit průhyb spřaženého ocelobetonového nosníku v provozním stavu.

#### **IPE 240 V MONTÁŽNÉM STAVU VYHOVUJE**

- Napětí v krajních vláknech v montážním stavu

$$\sigma_{a,\text{mont},k} = \frac{\frac{1}{8} g_{S1,\text{mont},k} L^2}{W_y} = \frac{\frac{1}{8} \cdot 7,599 \cdot 7200^2}{324000} = 151,984 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\text{mont},k} = 0 \text{ MPa}$$

#### 4.1.4 Provozní stav

- Provozní zatížení stropnice

Stropnice v provozním stavu bude posouzena na největší zatížení vyskytující v dané administrativní budově – zatížení v místnosti č. 2.17 „sklad“. Výpočet zatížení byl proveden v kapitole 2.1.2. Díky přemístitelnosti příček se uvažuje, že během doby životnosti objektu dispozice místností typického podlaží a jejich účel se může měnit. Tím pádem se dá předpokládat, že zatížení typu „sklad“ může vyskytnout kdekoliv v patře. Proto všechny stropnice typického podlaží v provozním stavu budou posouzeny na účinky tohoto zatížení.

##### *Stálé zatížení*

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S1,k} = 0,307 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,\text{ryb}} = 123,948 \text{ mm}$$

$$g_{\text{žb},k} = 25 \text{ kN/m}^3 ; g_{S1,\text{žb},k} = 25 \cdot \left(\frac{123,948}{1000}\right) \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 6,848 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapezového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S1,TR,k} = 0,077 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 0,17 \text{ kN/m}.$$

- Podlaha

$$g_{p,k} = 1,774 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S1,p,k} = 1,774 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 3,921 \text{ kN/m}$$

- Zařízení TZB

$$g_{tzb,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S1,tzb,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,105 \text{ kN/m}$$

- Podhled

$$g_{knauf,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S1,knauf,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,105 \text{ kN/m}$$

- Stálé zatížení celkem

$$g_{S1,prov,k} = 0,307 + 6,848 + 0,17 + 3,921 + 1,105 + 1,105 = 13,456 \text{ kN/m}$$

$g_{S1,prov,k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{S1,prov,d}$ [kN/m]
13,456	1,35	18,165

Tab. 27 – stálé zatížení stropnice S1 v provozním stavu

### Proměnné zatížení

- Příčky

$$q_{příčka,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{S1,příčka,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,105 \text{ kN/m}$$

- Užité zatížení

$$q_{užitné,k} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{S1,užitné,k} = 5,0 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 11,05 \text{ kN/m}$$

- Proměnné zatížení celkem

$$q_{S1,prov,k} = 1,105 + 11,05 = 12,155 \text{ kN/m}$$

$q_{S1,prov,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{S1,prov,d}$ [kN/m]
12,155	1,50	18,233

Tab. 28 – proměnné zatížení stropnice S1 v provozním stavu

- Vnitřní síly stropnice
- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8}(g_{S1,prov,d} + q_{S1,prov,d})L^2 = \frac{1}{8} \cdot (18,165 + 18,233) \cdot 7,2^2 = 235,858 \text{ kNm}$$

- Posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{1}{2}(g_{S1,prov,d} + q_{S1,prov,d})L = \frac{1}{2} \cdot (18,165 + 18,233) \cdot 7,2 = 131,032 \text{ kN}$$

• Posouzení v provozním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1914 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 392\,292 \text{ N} = 392,292 \text{ kN}$$

$$2V_{Ed} = 2 \cdot 131,032 = 262,064 \text{ kN}$$

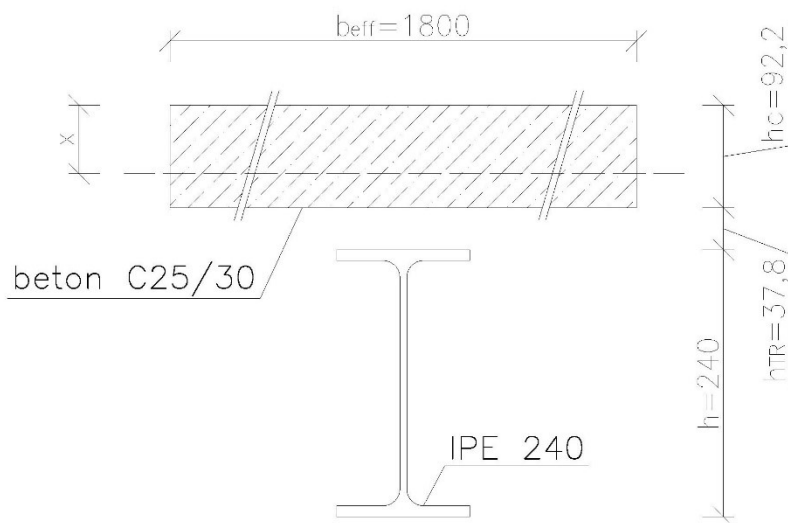
$$V_{pl,Rd} = 392,292 \text{ kN} > 2V_{Ed} = 262,064 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý ohyb

Tlačena pásnice stropnice je držena v provozním stavu ŽB deskou po celé délce. Proto je posouzen prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

Stanovíme spolupůsobící šířku desky. Pro prosté vnitřní nosníky ve stejné vzdálenosti platí:

$$b_{eff} = \min\left(\frac{L}{4}; Z\check{S}\right) = \min\left(\frac{7200}{4}; 2210\right) = \min(1800; 2210) = 1800 \text{ mm}$$



Pro výpočet momentu únosnosti spřaženého průřezu beton v žebrech trapézového plechu se neuvažuje. Beton v tahu se zanedbává.

beton C 25/30

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$E_{cm} = 30500 \text{ MPa}$

$\gamma_c = 1,5$

Obr. 9

$$E_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30500}{2} = 15250 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = \frac{210000}{15250} = 13,77$$

$h_{TR} = 37,8 \text{ mm}$  – výška TR plechu

$h_c = 92,2 \text{ mm}$  – výška ŽB desky bez betonu v žebrech TR plechu

Je potřeba stanovit polohu neutrální osy. Předpoklad – n.o. je v betonové desce – viz obr. 9.



$$x = \frac{A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}}{0,85 b_{\text{eff}} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{3912 \cdot \frac{355}{1,0}}{0,85 \cdot 1800 \cdot \frac{25}{1,5}} = 54,461 \text{ mm}$$

$x = 54,461 \text{ mm} < h_c = 92,2 \text{ mm} \rightarrow$  předpoklad je splněn

$$M_{\text{pl,Rd}} = A \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{h}{2} + h_{\text{TR}} + h_c - \frac{x}{2} \right)$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = \left( 3912 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \cdot \left( \frac{240}{2} + 37,8 + 92,2 - \frac{54,461}{2} \right) \right) \cdot 10^{-6} = 309,373 \text{ kNm}$$

$M_{\text{pl,Rd}} = 309,373 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 235,858 \text{ kNm} \rightarrow$  **OK, využití 76,2 %**

- Návrh sprážení

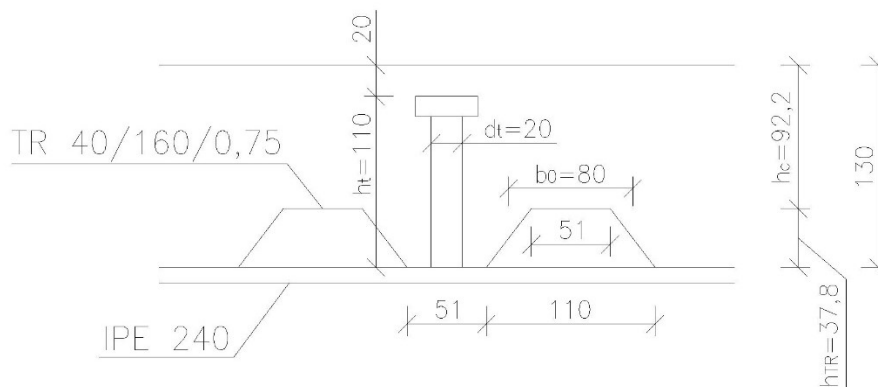
Dále bude navrženo sprážení pomocí trnů.

Pevnost materiálu trnů:

$$f_{\text{uk}} = 340 \text{ MPa}$$

$$\gamma_v = 1,3$$

$$b_0 = 80 \text{ mm}$$



Obr. 10

### NÁVRH SPŘAHOVACÍ TRNY 20 X 110 MM

$$d_t = 20 \text{ mm}$$

$$h_t = 110 \text{ mm}$$

$N_r = 1$  – počet trnů v žebro TR plechu přivařených k horní pásnici stropnice

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{N_r}} \cdot \frac{b_0}{h_{\text{TR}}} \cdot \frac{h_t - h_{\text{TR}}}{h_{\text{TR}}} = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{80}{37,8} \cdot \frac{110 - 37,8}{37,8} = 2,83$$

$k_t = 2,83 > 1 \rightarrow$  nedochází k redukci únosnosti trnu

Stanovíme únosnost jednoho trnu:

$$\frac{h_t}{d_t} = \frac{110}{20} = 5,5 > 4 \rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{\text{Rk},1} = 0,8 f_{\text{uk}} \frac{\pi d_t^2}{4} = 0,8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 85451 \text{ N} = 85,451 \text{ kN}$$

$$P_{\text{Rk},2} = 0,29 \alpha d_t^2 \sqrt{f_{ck} \times E_{\text{cm}}} = 0,29 \cdot 1 \cdot 20^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 30500} = 101293 \text{ N} =$$

$$= 101,293 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(85,451; 101,293) = 85,451 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} = \frac{85,451}{1,3} = 65,732 \text{ kN}$$

Podélná smyková síla na polovině nosníku – mezi maximálním a minimálním ohybovým momentem:

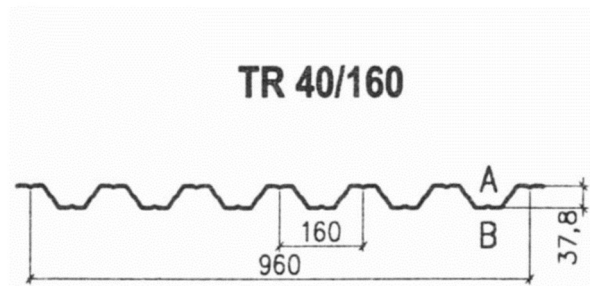
$$F_{cf} = N_c = N_a = A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(3912 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 1388,76 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině rozpětí nosníku pro úplné smykové spojení:

$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1388,76}{65,732} = 21,128 \rightarrow 22 \text{ trnů}$$

Vzhledem k tomu, že  $N_r = 1$ , na polovinu nosníku se vejde:

$$N_t = \frac{L}{\frac{L}{2}} = \frac{7200}{\frac{7200}{2}} = 22,5 \text{ trnů}$$



$N_t = 22,5 > N_f = 22 \rightarrow$  **úplné spažení, v každé vlně TR plechu jeden trn** Obr. 11

- Kontrola pružného stavu v provozním stádiu

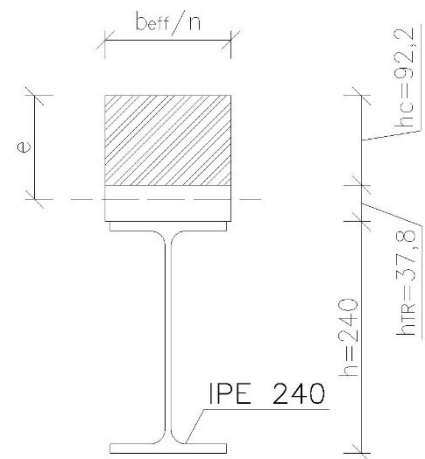
Stanovíme polohu těžištvé osy ideálního průřezu od horního okraje.

$$e = \frac{A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} \right) + \frac{1}{n} \frac{h_c^2}{2} b_{eff}}{A + \frac{1}{n} h_c b_{eff}} =$$

$$= \frac{3912 \cdot \left( \frac{240}{2} + 92,2 + 37,8 \right) + \frac{1}{13,77} \cdot \frac{92,2^2}{2} \cdot 1800}{3912 + \frac{1}{13,77} \cdot 92,2 \cdot 1800}$$

$$e = 96,066 \text{ mm}$$

Obr. 12



$$I_i = I_y + A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} - e \right)^2 + \frac{1}{n} \left[ \frac{1}{12} b_{eff} h_c^3 + h_c b_{eff} \left( e - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_i = 3,892 \cdot 10^7 + 3912 \cdot \left( \frac{240}{2} + 92,2 + 37,8 - 96,066 \right)^2 +$$

$$+ \frac{1}{13,77} \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 1800 \cdot 92,2^3 + 92,2 \cdot 1800 \cdot \left( 96,066 - \frac{92,2}{2} \right)^2 \right] = 1,702 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Dodatečné stálé zatížení:

$$\Delta g_{S1,k} = g_{S1,prov,k} - g_{S1,mont,k} = 13,456 - 7,599 = 5,857 \text{ kN/m}$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = \frac{\frac{1}{8} (\Delta g_{S1,k} + q_{S1,prov,k}) L^2}{I_i} (h + h_c + h_{TR} - e)$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = \frac{\frac{1}{8} \cdot (5,857 + 12,155) \cdot 7200^2}{1,702 \cdot 10^8} \cdot (240 + 92,2 + 37,8 - 96,066)$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = 187,803 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{c,prov,k} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\frac{1}{8} (\Delta g_{S1,k} + q_{S1,prov,k}) L^2}{I_i} e$$

$$\Delta \sigma_{c,prov,k} = \frac{1}{13,77} \cdot \frac{\frac{1}{8} \cdot (5,857 + 12,155) \cdot 7200^2}{1,702 \cdot 10^8} \cdot 96,066 = 4,783 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,k} = \Delta \sigma_{a,prov,k} + \sigma_{a,mont,k} = 187,803 + 151,984 = 339,787 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,k} = 339,787 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 95,7 \%$$

$$\sigma_{c,k} = \Delta \sigma_{c,prov,k} + \sigma_{c,mont,k} = 4,783 + 0 = 4,783 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,k} = 4,783 \text{ MPa} < 0,85f_{ck} = 21,25 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 22,5 \%$$

### **STROPNICE S1 IPE 240 JE V PRUŽNÉM STAVU**

- MSP – průhyb stropnice v provozním stavu

Investor vyžaduje následující limitní hodnoty svislého průhybu stropnic:

$$\delta_{lim,1} = \frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28,8 \text{ mm} - \text{od přírůstku stálého zatížení v provozním stavu +}$$

proměnného zatížení v provozním stavu

$$\delta_{lim,2} = \frac{L}{300} = \frac{7200}{300} = 24 \text{ mm} - \text{od proměnného zatížení v provozním stavu (přísnější,}$$

než doporučena hodnota průhybu dle Národní přílohy pro stropnice L/250)

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \frac{(\Delta g_{S1,k} + q_{S1,prov,k}) L^4}{EI_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(5,857 + 12,155) \cdot 7200^4}{210000 \cdot 1,702 \cdot 10^8} = 17,629 \text{ mm}$$

$$\delta_1 = 17,629 \text{ mm} < \delta_{lim,1} = 28,8 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Hodnota  $\delta_1$  je zároveň menší než 35 mm, tzn. požadavek na omezení dynamických účinků u běžných stropů  $f_1 > 3 \text{ Hz}$  uvedený v Národní příloze ČSN EN 1993-1-1 je splněn (s doplněním, že uvedené frekvenci neodpovídá normová hodnota 28 mm, která platí pro zatížení osamělým břemenem uprostřed rozpětí a je tedy nesprávná).

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_{S1,prov,k} L^4}{EI_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{12,155 \cdot 7200^4}{210000 \cdot 1,702 \cdot 10^8} = 11,897 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 11,897 \text{ mm} < \delta_{lim,2} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

### **IPE 240 V PROVOZNÍM STAVU VYHOVUJE**

### 4.1.5 Reakce na průvlak

- Reakce v montážním stavu

$$R_{g,\text{mont},k} = \frac{1}{2} g_{S1,\text{mont},k} L = \frac{1}{2} \cdot 7,599 \cdot 7,2 = 27,357 \text{ kN}$$

- Reakce v provozním stavu

Spočítáme přírůstek reakce od stropnice  $\Delta R_{g,\text{prov},k}$  v provozním stavu oproti montážnímu stavu.

$$\Delta R_{g,\text{prov},k} = \frac{1}{2} \Delta g_{S1,k} L = \frac{1}{2} \cdot 5,857 \cdot 7,2 = 21,084 \text{ kN}$$

$$R_{q,\text{příčka},k} = \frac{1}{2} q_{S1,\text{příčka},k} L = \frac{1}{2} \cdot 1,105 \cdot 7,2 = 3,978 \text{ kN}$$

$$R_{q,\text{užitné},k} = \frac{1}{2} q_{S1,\text{užitné},k} L = \frac{1}{2} \cdot 11,05 \cdot 7,2 = 39,78 \text{ kN}$$

## 4.2 Stropnice S2

Stropnice typu S2 ve stropní konstrukci typického podlaží budou navržena na stejnou zatěžovací šířku jako stropnice S1, ale menší rozpětí. Jsou situovány mezi osami 2, 3 a 6,7 – viz půdorys typického podlaží.

Zatěžovací šířka 2210 mm

Rozpětí stropnice  $L = 6000 \text{ mm}$

### 4.2.1 Návrh stropnice

#### NÁVRH IPE 220

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro ohyb 1.

$$g_{S2,k} = 0,262 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 2,772 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 252000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 285400 \text{ mm}^3$$

$$A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$$

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

$$h = 220 \text{ mm}$$

## 4.2.2 Montážní stav

- Montážní zatížení stropnice

### Stálé zatížení

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S2,k} = 0,262 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

Výška desky je uvažována s ohledem na rybníkový efekt trapézového plechu – viz kapitola 3.2.3.

$$h_{sr,ryb} = 104,519 \text{ mm}$$

Pro mokrý beton se uvažuje objemová tíha následovně:

$$g_{\text{žb,wet},k} = 26 \text{ kN/m}^3 ; g_{S2,\text{žb,wet},k} = 26 \cdot \left(\frac{104,519}{1000}\right) \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 6,006 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapézového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S2,TR,k} = 0,077 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 0,17 \text{ kN/m}.$$

- Stálé zatížení celkem

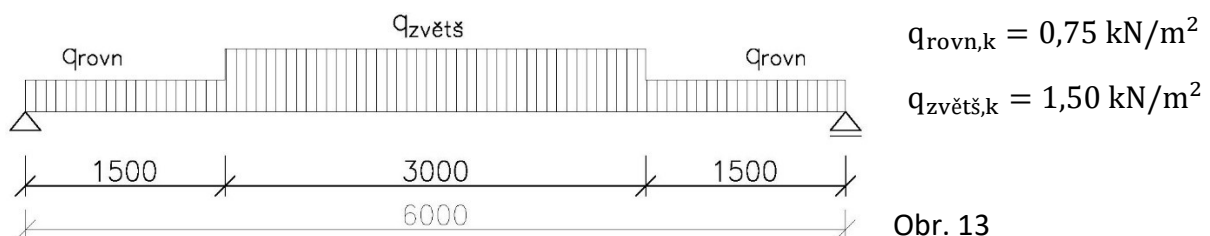
$$g_{S2,\text{mont},k} = 0,262 + 6,006 + 0,17 = 6,438 \text{ kN/m}$$

$g_{S2,\text{mont},k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{S2,\text{mont},d}$ [kN/m]
6,438	1,35	8,691

Tab. 29 – stálé zatížení stropnice S2 v montážním stavu

### Proměnné zatížení

Uvažuje se následující zatěžovací schéma proměnným zatížením stropnice S2 v montážním stavu.



Obr. 13

$$q_{S2,\text{rovň},k} = 0,75 \cdot Z\check{S} = 0,75 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,658 \text{ kN/m}$$

$$q_{S2,zvětš,k} = 1,50 \cdot Z\check{S} = 1,50 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 3,315 \text{ kN/m}$$

$q_{S2,rovn,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{S2,rovn,d}$ [kN/m]
1,658	1,50	2,486
$q_{S2,zvětš,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{S2,zvětš,d}$ [kN/m]
3,315	1,50	4,973

Tab. 30 – proměnné zatížení stropnice S2 v montážním stavu

- Vnitřní síly stropnice

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} (g_{S2, \text{mont},d} + q_{S2, \text{rovn},d}) L^2 + (q_{S2, \text{zvětš},d} - q_{S2, \text{rovn},d}) \frac{3L}{4};$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (8,691 + 2,486) \cdot 6^2 + (4,973 - 2,486) \cdot 3 \cdot \frac{6}{4};$$

$$M_{Ed} = 61,486 \text{ kNm.}$$

- Posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} (g_{S2, \text{mont},d} + q_{S2, \text{rovn},d}) L + 3 \frac{q_{S2, \text{zvětš},d} - q_{S2, \text{rovn},d}}{2};$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (8,691 + 2,486) \cdot 6 + 3 \cdot \frac{4,973 - 2,486}{2};$$

$$V_{Ed} = 37,261 \text{ kN.}$$

- Posouzení v montážním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1588 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 325\,475 \text{ N} = 325,475 \text{ kN}$$

$$2V_{Ed} = 2 \cdot 37,261 = 74,523 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 325,475 \text{ kN} > 2V_{Ed} = 74,523 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý smyk

Tlačena pásnice stropnice je držena po celé délce. Prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) = \left( 285400 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \right) / 10^6 = 101,317 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 101,317 \text{ kNm} > M_{Ed} = 61,486 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití 60,7 \%}$$

- MSP

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{g_{S2, \text{mont},k} L^4}{EI_y}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,438 \cdot 6000^4}{210000 \cdot 2,772 \cdot 10^7} = 18,663 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

$$\delta = 18,663 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

### IPE 220 V MONTÁŽNÉM STAVU VYHOVUJE

- Napětí v krajních vláknech v montážním stavu

$$\sigma_{a,\text{mont},k} = \frac{\frac{1}{8} g_{S2,\text{mont},k} L^2}{W_y} = \frac{\frac{1}{8} \cdot 6,438 \cdot 6000^2}{252000} = 114,961 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\text{mont},k} = 0 \text{ MPa}$$

### 4.2.3 Provozní stav

- Provozní zatížení stropnice

Stejně jako S1 stropnice typu S2 v provozním stavu bude posouzena na zatížení místnosti č. 2.17 „sklad“, podrobněji v kapitole 4.1.4.

#### *Stálé zatížení*

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S2,k} = 0,262 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,\text{ryb}} = 104,519 \text{ mm}$$

$$g_{\text{žb},k} = 25 \text{ kN/m}^3 ; g_{S2,\text{žb},k} = 25 \cdot \left(\frac{104,519}{1000}\right) \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 5,775 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapezového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S2,TR,k} = 0,077 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 0,17 \text{ kN/m}.$$

- Podlaha

$$g_{p,k} = 1,774 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S2,p,k} = 1,774 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 3,921 \text{ kN/m}$$

- Zařízení TZB

$$g_{tzb,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S2,tzb,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,105 \text{ kN/m}$$

- Podhled

$$g_{\text{knauf,k}} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{S2,knauf,k}} = 0,5 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,105 \text{ kN/m}$$

- Stálé zatížení celkem

$$g_{\text{S2,prov,k}} = 0,262 + 5,775 + 0,17 + 3,921 + 1,105 + 1,105 = 12,337 \text{ kN/m}$$

$g_{\text{S2,prov,k}}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{\text{S2,prov,d}}$ [kN/m]
12,337	1,35	16,655

Tab. 31 – stálé zatížení stropnice S2 v provozním stavu

### Proměnné zatížení

- Příčky

$$q_{\text{příčka,k}} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{S2,příčka,k}} = 0,5 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 1,105 \text{ kN/m}$$

- Užité zatížení

$$q_{\text{užitné,k}} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{S2,užitné,k}} = 5,0 \cdot \left(\frac{2210}{1000}\right) = 11,05 \text{ kN/m}$$

- Proměnné zatížení celkem

$$q_{\text{S2,prov,k}} = 1,105 + 11,05 = 12,155 \text{ kN/m}$$

$q_{\text{S2,prov,k}}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{\text{S2,prov,d}}$ [kN/m]
12,155	1,50	18,233

Tab. 32 – proměnné zatížení stropnice S2 v provozním stavu

- Vnitřní síly stropnice

- Ohybový moment

$$M_{\text{Ed}} = \frac{1}{8} (g_{\text{S2,prov,d}} + q_{\text{S2,prov,d}}) L^2 = \frac{1}{8} \cdot (16,655 + 18,233) \cdot 6^2 = 156,996 \text{ kNm}$$

- Posouvající síla

$$V_{\text{Ed}} = \frac{1}{2} (g_{\text{S2,prov,d}} + q_{\text{S2,prov,d}}) L = \frac{1}{2} \cdot (16,655 + 18,233) \cdot 6 = 104,664 \text{ kN}$$

- Posouzení v provozním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{\text{pl,Rd}} = A_{\text{vz}} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1588 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 325475 \text{ N} = 325,475 \text{ kN}$$

$$2V_{\text{Ed}} = 2 \cdot 104,664 = 209,328 \text{ kN}$$

$$V_{\text{pl,Rd}} = 325,475 \text{ kN} > 2V_{\text{Ed}} = 209,328 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

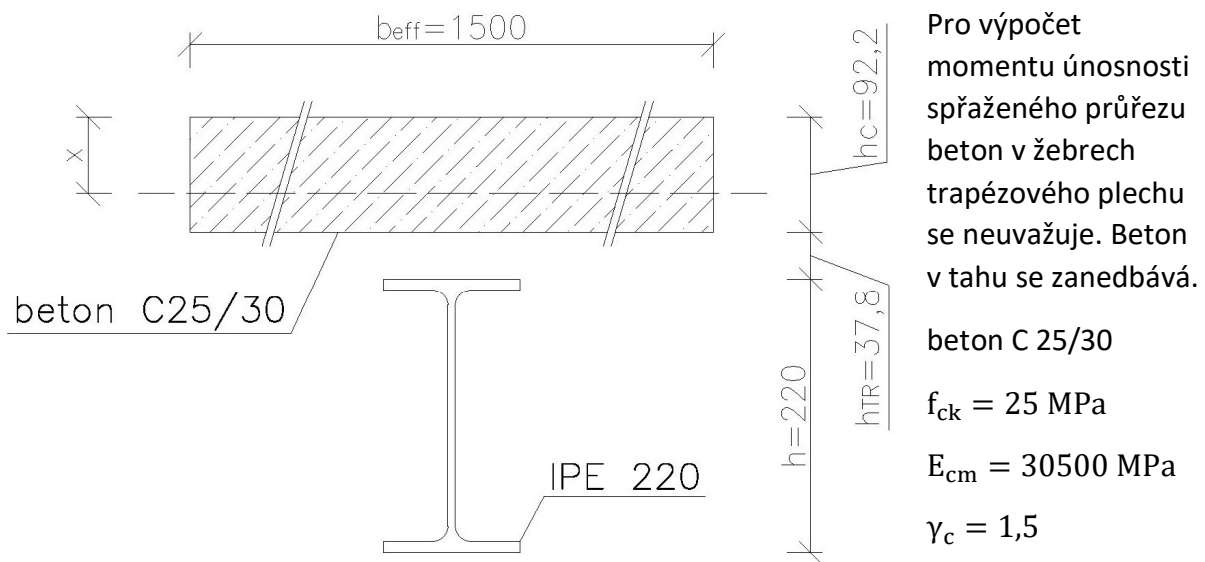


## - MSÚ prostý ohyb

Tlačena pásnice stropnice je držena v provozním stavu ŽB deskou po celé délce. Proto je posouzen prostý ohyb s malým smykiem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

Stanovíme spolupůsobící šířku desky. Pro prosté vnitřní nosníky ve stejné vzdálenosti platí:

$$b_{\text{eff}} = \min\left(\frac{L}{4}; Z\check{S}\right) = \min\left(\frac{6000}{4}; 2210\right) = \min(1500; 2210) = 1500 \text{ mm}$$



Obr. 14

$$E_c = \frac{E_{\text{cm}}}{2} = \frac{30500}{2} = 15250 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = \frac{210000}{15250} = 13,77$$

$h_{\text{TR}} = 37,8 \text{ mm}$  – výška TR plechu

$h_c = 92,2 \text{ mm}$  – výška ŽB desky bez betonu v žebrech TR plechu

Je potřeba stanovit polohu neutrální osy. Předpoklad – n.o. je v betonové desce – viz obr. 14.

$$x = \frac{A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}}{0,85 b_{\text{eff}} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{3337 \cdot \frac{355}{1,0}}{0,85 \cdot 1500 \cdot \frac{25}{1,5}} = 55,748 \text{ mm}$$

$x = 55,748 \text{ mm} < h_c = 92,2 \text{ mm} \rightarrow$  předpoklad je splněn

$$M_{\text{pl,Rd}} = A \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{h}{2} + h_{\text{TR}} + h_c - \frac{x}{2} \right)$$

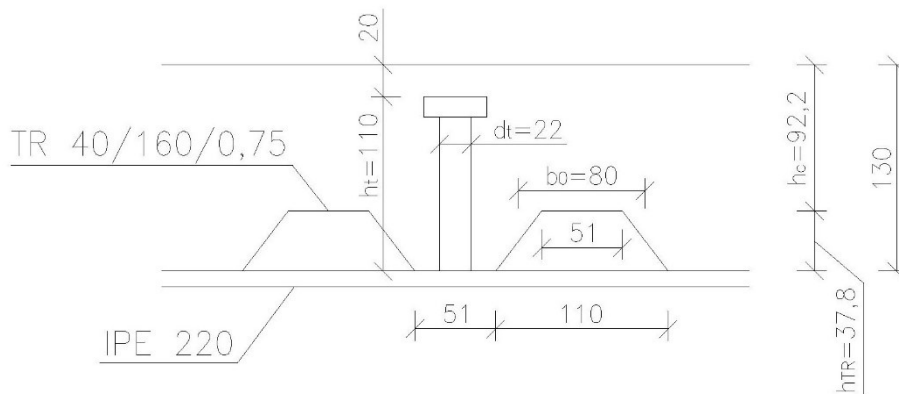
$$M_{\text{pl,Rd}} = \left( 3337 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \cdot \left( \frac{220}{2} + 37,8 + 92,2 - \frac{55,748}{2} \right) \right) \cdot 10^{-6} = 251,292 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 251,292 \text{ kNm} > M_{Ed} = 156,996 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití } 62,5 \%$$

- Návrh spřažení

Dále bude navrženo spřažení pomocí trnů.

Pevnost materiálu trnů:



$$f_{uk} = 340 \text{ MPa}$$

$$\gamma_V = 1,3$$

$$b_0 = 80 \text{ mm}$$

Obr. 15

### NÁVRH SPŘAHOVACÍ TRNY 22 X 110 MM

$$d_t = 22 \text{ mm}$$

$$h_t = 110 \text{ mm}$$

$N_r = 1$  – počet trnů v žebro TR plechu přivařených k horní pásnici stropnice

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{N_r}} \frac{b_0}{h_{TR}} \frac{h_t - h_{TR}}{h_{TR}} = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{80}{37,8} \cdot \frac{110 - 37,8}{37,8} = 2,83$$

$k_t = 2,83 > 1 \rightarrow$  nedochází k redukci únosnosti trnu

Stanovíme únosnost jednoho trnu:

$$\frac{h_t}{d_t} = \frac{110}{22} = 5 > 4 \rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{Rk,1} = 0,8 f_{uk} \frac{\pi d_t^2}{4} = 0,8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 22^2}{4} = 103396 \text{ N} = 103,396 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \alpha d_t^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} = 0,29 \cdot 1 \cdot 22^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 30500} = 122564 \text{ N} = 122,564 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(103,396; 122,564) = 103,396 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} = \frac{103,396}{1,3} = 79,535 \text{ kN}$$

Podélná smyková síla na polovině nosníku – mezi maximálním a minimálním ohybovým momentem:

$$F_{cf} = N_c = N_a = A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left( 3337 \cdot \frac{355}{1,0} \right) / 1000 = 1184,635 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině rozpětí nosníku pro úplné smykové spojení:

$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1184,635}{79,535} = 14,894 \rightarrow 15 \text{ trnů}$$

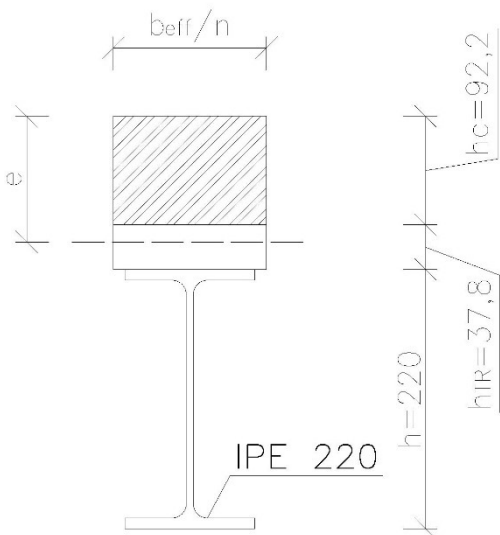
Vzhledem k tomu, že  $N_r = 1$ , na polovinu nosníku se vejde:

$$N_t = \frac{\frac{L}{2}}{160} = \frac{6000}{160} = 18,75 \text{ trnů}$$

$N_t = 18,75 > N_f = 15 \rightarrow$  **úplné spažení, v každé vlně TR plechu jeden trn** Obr. 16

- Kontrola pružného stavu v provozním stádiu

Stanovíme polohu těžištvé osy ideálního průřezu od horního okraje.



Obr. 17

$$e = \frac{A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} \right) + \frac{1}{n} \frac{h_c^2}{2} b_{eff}}{A + \frac{1}{n} h_c b_{eff}} =$$

$$= \frac{3337 \cdot \left( \frac{220}{2} + 92,2 + 37,8 \right) + \frac{1}{13,77} \cdot \frac{92,2^2}{2} \cdot 1500}{3337 + \frac{1}{13,77} \cdot 92,2 \cdot 1500}$$

$$e = 94,458 \text{ mm}$$

$$I_i = I_y + A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} - e \right)^2 + \frac{1}{n} \left[ \frac{1}{12} b_{eff} h_c^3 + h_c b_{eff} \left( e - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_i = 2,772 \cdot 10^7 + 3337 \cdot \left( \frac{220}{2} + 92,2 + 37,8 - 94,458 \right)^2 +$$

$$+ \frac{1}{13,77} \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 1500 \cdot 92,2^3 + 92,2 \cdot 1500 \cdot \left( 94,458 - \frac{92,2}{2} \right)^2 \right] = 1,290 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Dodatečné stálé zatížení:

$$\Delta g_{S2,k} = g_{S2,prov,k} - g_{S2,mont,k} = 12,337 - 6,438 = 5,900 \text{ kN/m}$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = \frac{\frac{1}{8} (\Delta g_{S2,k} + q_{S2,prov,k}) L^2}{I_i} (h + h_c + h_{TR} - e)$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = \frac{\frac{1}{8} \cdot (5,900 + 12,155) \cdot 6000^2}{1,290 \cdot 10^8} \cdot (220 + 92,2 + 37,8 - 94,458)$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = 160,935 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{c,prov,k} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\frac{1}{8} (\Delta g_{S2,k} + q_{S2,prov,k}) L^2}{I_i} e$$

$$\Delta \sigma_{c,prov,k} = \frac{1}{13,77} \cdot \frac{\frac{1}{8} \cdot (5,900 + 12,155) \cdot 6000^2}{1,290 \cdot 10^8} \cdot 94,458 = 4,320 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,k} = \Delta \sigma_{a,prov,k} + \sigma_{a,mont,k} = 160,935 + 114,961 = 275,896 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,k} = 275,896 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 77,7 \%$$

$$\sigma_{c,k} = \Delta \sigma_{c,prov,k} + \sigma_{c,mont,k} = 4,320 + 0 = 4,320 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,k} = 4,320 \text{ MPa} < 0,85f_{ck} = 21,25 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 20,3 \%$$

### **STROPNICE S2 IPE 220 JE V PRUŽNÉM STAVU**

- MSP – průhyb stropnice v provozním stavu

Investor vyžaduje následující limitní hodnoty svislého průhybu stropnic:

$$\delta_{lim,1} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} - \text{od přírůstku stálého zatížení v provozním stavu}$$

+ proměnného zatížení v provozním stavu

$$\delta_{lim,2} = \frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} - \text{od proměnného zatížení v provozním stavu (přísnější,}$$

než doporučena hodnota průhybu dle Národní přílohy pro stropnice L/250)

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \frac{(\Delta g_{S2,k} + q_{S2,prov,k}) L^4}{EI_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(5,900 + 12,155) \cdot 6000^4}{210000 \cdot 1,290 \cdot 10^8} = 11,246 \text{ mm}$$

$$\delta_1 = 11,246 \text{ mm} < \delta_{lim,1} = 24 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Hodnota  $\delta_1$  je zároveň menší než 35 mm, tzn. požadavek na omezení dynamických účinků u běžných stropů  $f_1 > 3 \text{ Hz}$  uvedený v Národní příloze ČSN EN 1993-1-1 je splněn (s doplněním, že uvedené frekvenci neodpovídá normová hodnota 28 mm, která platí pro zatížení osamělým břemenem uprostřed rozpětí a je tedy nesprávná).

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_{S2,prov,k} L^4}{EI_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{12,155 \cdot 6000^4}{210000 \cdot 1,290 \cdot 10^8} = 7,571 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 7,571 \text{ mm} < \delta_{lim,2} = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

### **IPE 220 V PROVOZNÍM STAVU VYHOVUJE**

#### 4.2.4 Reakce na průvlak

- Reakce v montážním stavu

$$R_{g, \text{mont}, k} = \frac{1}{2} g_{S2, \text{mont}, k} L = \frac{1}{2} \cdot 6,438 \cdot 6 = 19,313 \text{ kN}$$

- Reakce v provozním stavu

Spočítáme přírůstek reakce od stropnice  $\Delta R_{g, \text{prov}, k}$  v provozním stavu oproti montážnímu stavu.

$$\Delta R_{g, \text{prov}, k} = \frac{1}{2} \Delta g_{S2, k} L = \frac{1}{2} \cdot 5,900 \cdot 6 = 17,699 \text{ kN}$$

$$R_{q, \text{příčka}, k} = \frac{1}{2} q_{S2, \text{příčka}, k} L = \frac{1}{2} \cdot 1,105 \cdot 6 = 3,315 \text{ kN}$$

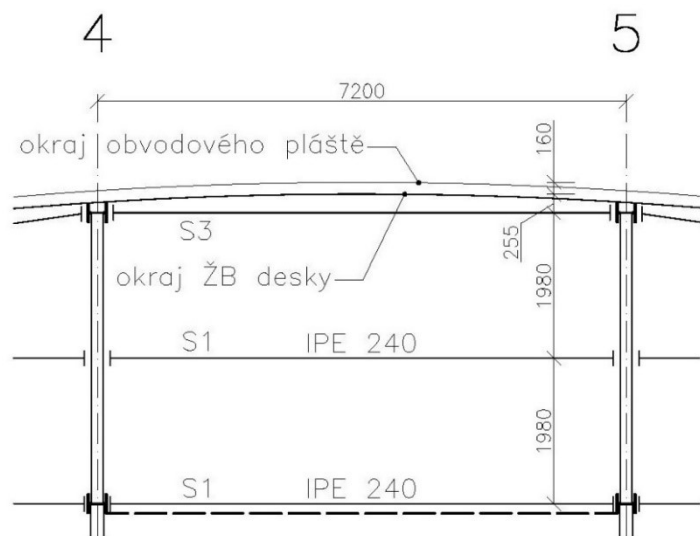
$$R_{q, \text{užitné}, k} = \frac{1}{2} q_{S2, \text{užitné}, k} L = \frac{1}{2} \cdot 11,05 \cdot 6 = 33,15 \text{ kN}$$

#### 4.3 Stropnice S3

Stropnice typu S3 v obvodu stropní konstrukci typického podlaží budou navržena na zhruba poloviční zatěžovací šířku a stejné rozpětí jako stropnice S1. Jsou situovány mezi osami 3 a 4, 4 a 5, 5 a 6 – viz půdorys typického podlaží.

$$\text{Zatěžovací šířka } \frac{1980}{2} + 255 = 1245 \text{ mm}$$

Rozpětí stropnice  $L = 7200 \text{ mm}$



Obr. 18

##### 4.3.1 Zatížení obvodovým pláštěm

Lehký obvodový plášť je tvořen systémem hliníkových svislých sloupků a vodorovných příčniců, které jsou ukotvené do čela stropní konstrukce. Do vytvořeného rastru se vkládají výplňové prvky – skleněné tabule. Je použit systém lehkého obvodového pláště Elegance 52 ST od firmy Sapa Building Systems. Do míst, kde se nachází WC, jsou navrženy jako výplňové prvky tepelně izolační panely s dobrými zvukovými vlastnostmi od firmy Kingspan.

Stanovíme liniové zatížení obvodovým pláštěm připadající na jedno patro.

- Výplň – zasklení

Konstrukční výška patra  $h_{kv} = 3,6$  m.

Výplň se skládá z izolačního dvojskla tloušťky 2 x 12 mm. Hliníkové sloupky se nacházejí ve vzdálenosti 1,5 m od sebe.

$$\rho_{sklo} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$g_{sklo,k} = \rho_{sklo} h_{kv} \frac{2 \cdot 12}{1000} = 25 \cdot 3,6 \cdot \frac{2 \cdot 12}{1000} = 2,16 \text{ kN/m}$$

- Rastrový systém obvodového pláště

Hliníkový sloupek vnitřní	Jäkl 60x50x3	$g_{slv,k}$	0,017	kN/m
Hliníkový sloupek vnější	Jäkl 50x40x2,5	$g_{sln,k}$	0,012	kN/m
Hliníkový příčník	Jäkl 120x120x5	$g_{př,k}$	0,062	kN/m

Tab. 33 – rastrový systém obvodového pláště

$$g_{hlinik,k} = \frac{(g_{slv,k} + g_{sln,k})h_{kv}}{1,5} + g_{př,k} = \frac{(0,017 + 0,012) \cdot 3,6}{1,5} + 0,062 = 0,13 \text{ kN/m}$$

$$g_{op1,k} = g_{sklo,k} + g_{hlinik,k} = 2,16 + 0,13 = 2,29 \text{ kN/m}$$

$g_{op1,k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{op1,d}$ [kN/m]
2,290	1,35	3,092

Tab. 34 – stálé zatížení obvodovým pláštěm, varianta zasklení

- Výplň – tepelně izolační panely

Stěnový panel Kingspan = vnitřní plech 0,4 mm + izolační jádro QuadCore 60 mm + vnější plech 0,6 mm.

$$g_{panel,k} = 0,112 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{panel,k} = 0,112 h_{kv} = 0,112 \cdot 3,6 = 0,405 \text{ kN/m}$$

$g_{hlinik,k} = 0,13 \text{ kN/m}$  – stejný hliníkový rastr jako u skleněné výplně

$$g_{op2,k} = g_{panel,k} + g_{hlinik,k} = 0,405 + 0,13 = 0,535 \text{ kN/m}$$

$g_{op2,k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{op2,d}$ [kN/m]
0,535	1,35	0,722

Tab. 35 – stálé zatížení obvodovým pláštěm, varianta stěnové panely

### 4.3.2 Návrh stropnice

#### NÁVRH IPE 200

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro ohyb 1.

$$g_{S3,k} = 0,224 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 1,943 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 194000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 220600 \text{ mm}^3$$

$$A_{vz} = 1400 \text{ mm}^2$$

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

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

### 4.3.3 Montážní stav

- Montážní zatížení stropnice

#### *Stálé zatížení*

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S3,k} = 0,224 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

Výška desky je uvažována s ohledem na rybníkový efekt trapézového plechu – viz kapitola 3.2.3.

$$h_{sr,ryb} = 104,519 \text{ mm}$$

Pro mokrý beton se uvažuje objemová tíha následovně:

$$g_{žb,wet,k} = 26 \text{ kN/m}^3 ; g_{S3,žb,wet,k} = 26 \cdot \left(\frac{104,519}{1000}\right) \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 3,383 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapézového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S3,TR,k} = 0,077 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 0,096 \text{ kN/m}.$$

- Stálé zatížení celkem

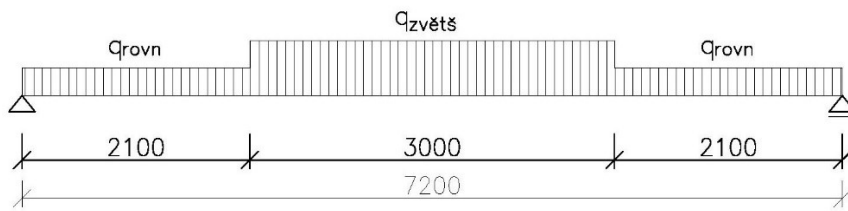
$$g_{S3,mont,k} = 0,224 + 3,383 + 0,096 = 3,703 \text{ kN/m}$$

$g_{S3,mont,k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{S3,mont,d}$ [kN/m]
3,703	1,35	4,999

Tab. 36 – stálé zatížení stropnice S3 v montážním stavu

#### *Proměnné zatížení*

Uvažuje se následující zatěžovací schéma proměnným zatížením stropnice S3 v montážním stavu.



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

$$q_{\text{zvětš},k} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

Obr. 19

$$q_{S3,\text{rovň},k} = 0,75 \cdot Z\check{S} = 0,75 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 0,934 \text{ kN/m}$$

$$q_{S3,\text{zvětš},k} = 1,50 \cdot Z\check{S} = 1,50 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 1,868 \text{ kN/m}$$

$q_{S3,\text{rovň},k} [\text{kN/m}]$	$\gamma_Q [-]$	$q_{S3,\text{rovň},d} [\text{kN/m}]$
0,934	1,50	1,401
$q_{S3,\text{zvětš},k} [\text{kN/m}]$	$\gamma_Q [-]$	$q_{S3,\text{zvětš},d} [\text{kN/m}]$
1,868	1,50	2,801

Tab. 37 – proměnné zatížení stropnice S3 v montážním stavu

- Vnitřní síly stropnice

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} (g_{S3,\text{mont},d} + q_{S3,\text{rovň},d}) L^2 + (q_{S3,\text{zvětš},d} - q_{S3,\text{rovň},d}) \frac{3L}{4} ;$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (4,999 + 1,401) \cdot 7,2^2 + (2,801 - 1,401) \cdot 3 \cdot \frac{7,2}{4} ;$$

$$M_{Ed} = 49,035 \text{ kNm.}$$

- Posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} (g_{S3,\text{mont},d} + q_{S3,\text{rovň},d}) L + 3 \frac{q_{S3,\text{zvětš},d} - q_{S3,\text{rovň},d}}{2} ;$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (4,999 + 1,401) \cdot 7,2 + 3 \cdot \frac{2,801 - 1,401}{2} ;$$

$$V_{Ed} = 25,140 \text{ kN.}$$

- Posouzení v montážním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1400 \times \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 286\,943 \text{ N} = 286,943 \text{ kN}$$

$$2V_{Ed} = 2 \cdot 25,140 = 50,281 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 286,943 \text{ kN} > 2V_{Ed} = 50,281 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý smyk

Tlačena pásnice stropnice je držena po celé délce. Prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.



$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \left( \frac{f_{yk}}{Y_{M0}} \right) = \left( 220600 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \right) / 10^6 = 78,313 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 78,313 \text{ kNm} > M_{Ed} = 49,035 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití } 62,6 \%$$

- MSP

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{g_{S3, \text{mont}, k} L^4}{EI_y}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,703 \cdot 7200^4}{210000 \cdot 1,943 \cdot 10^7} = 31,758 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 31,758 \text{ mm} > \delta_{\text{lim}} = 28,8 \text{ mm}$$

Pokud žádáme docílit vodorovný povrch desky po betonáži, musí se zohlednit rybníkový efekt a při výpočtu zatížení zvětšit tloušťku betonové desky o  $0,7\delta$ .

$$0,7\delta = 0,7 \times 31,758 = 22,23 \text{ mm}$$

#### 4.3.4 Montážní stav – zvýšená tloušťka ŽB desky

- Nové montážní zatížení stropnice

##### *Stálé zatížení*

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S3,k} = 0,224 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,ryb} = h_{sr,ryb} + 0,7\delta = 104,519 + 22,23 = 126,749 \text{ mm}$$

Pro mokrý beton se uvažuje objemová tíha následovně:

$$g_{zb, \text{wet}, k} = 26 \text{ kN/m}^3 ; g_{S3, zb, \text{wet}, k} = 26 \cdot \left( \frac{126,749}{1000} \right) \cdot \left( \frac{1245}{1000} \right) = 4,103 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapezového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S3, TR, k} = 0,077 \cdot \left( \frac{1245}{1000} \right) = 0,096 \text{ kN/m}.$$

- Stálé zatížení celkem

$$g_{S3, \text{mont}, k} = 0,224 + 4,103 + 0,096 = 4,423 \text{ kN/m}$$

$g_{S3, \text{mont}, k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{S3, \text{mont}, d}$ [kN/m]
4,423	1,35	5,971

Tab. 38 – stálé zatížení stropnice S3 v montážním stavu po zvýšení tloušťky desky

*Proměnné zatížení*

Zvýšením tloušťky desky proměnné zatížení stropnice v montážním stavu nebylo dotčeno. Uvažuje se stejně jako v kapitole 4.3.3.

- Vnitřní síly stropnice

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} (g_{S3, \text{mont}, d} + q_{S3, \text{rovn}, d}) L^2 + (q_{S3, \text{zvětš}, d} - q_{S3, \text{rovn}, d}) \frac{3L}{4};$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (5,971 + 1,401) \cdot 7,2^2 + (2,801 - 1,401) \cdot 3 \cdot \frac{7,2}{4};$$

$$M_{Ed} = 55,330 \text{ kNm.}$$

- Posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} (g_{S3, \text{mont}, d} + q_{S3, \text{rovn}, d}) L + 3 \frac{q_{S3, \text{zvětš}, d} - q_{S3, \text{rovn}, d}}{2};$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (5,971 + 1,401) \cdot 7,2 + 3 \cdot \frac{2,801 - 1,401}{2};$$

$$V_{Ed} = 28,638 \text{ kN.}$$

- Posouzení v montážním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl, Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1400 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 286\,943 \text{ N} = 286,943 \text{ kN}$$

$$2V_{Ed} = 2 \cdot 28,638 = 57,275 \text{ kN}$$

$$V_{pl, Rd} = 286,943 \text{ kN} > 2V_{Ed} = 57,275 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý ohyb

Tlačena pásnice stropnice je držena po celé délce. Prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

$$M_{pl, Rd} = W_{pl, y} \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) = \left( 220600 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \right) / 10^6 = 78,313 \text{ kNm}$$

$$M_{pl, Rd} = 78,313 \text{ kNm} > M_{Ed} = 55,330 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití 70, 7 \%}$$

- MSP

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{g_{S3, \text{mont}, k} L^4}{EI_y}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,423 \cdot 7200^4}{210000 \cdot 1,943 \cdot 10^7} = 37,929 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 37,929 \text{ mm} > \delta_{\text{lim}} = 28,8 \text{ mm}$$

Stropní konstrukce dostatečně kryta podhledem. Z hlediska použitelnosti není průhyb ocelového nosníku v montážním stavu rozhodující. Pro posouzení MSP bude použit průhyb spřaženého ocelobetonového nosníku v provozním stavu.

### **IPE 200 V MONTÁŽNÉM STAVU VYHOVUJE**

- Napětí v krajních vláknech v montážním stavu

$$\sigma_{a,\text{mont},k} = \frac{\frac{1}{8} g_{S3,\text{mont},k} L^2}{W_y} = \frac{\frac{1}{8} \cdot 4,423 \cdot 7200^2}{194000} = 147,729 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,\text{mont},k} = 0 \text{ MPa}$$

### 4.3.5 Provozní stav

- Provozní zatížení stropnice

Stejně jako S1 a S2 stropnice typu S3 v provozním stavu bude posouzena na zatížení místnosti č. 2.17 „sklad“, podrobněji v kapitole 4.1.4.

#### *Stálé zatížení*

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S3,k} = 0,224 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{\text{sr},\text{ryb}} = 126,749 \text{ mm}$$

$$g_{\text{žb},k} = 25 \text{ kN/m}^3; \quad g_{S3,\text{žb},k} = 25 \cdot \left(\frac{126,749}{1000}\right) \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 3,945 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapezového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{\text{TR},k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S3,\text{TR},k} = 0,077 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 0,096 \text{ kN/m}.$$

- Podlaha

$$g_{p,k} = 1,774 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S3,p,k} = 1,774 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 2,209 \text{ kN/m}$$

- Zařízení TZB

$$g_{\text{tzb},k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S3,tzb,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 0,623 \text{ kN/m}$$

- Podhled

$$g_{knauf,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S3,knauf,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 0,623 \text{ kN/m}$$

- Lehký obvodový plášť

Veškeré zatížení obvodovým pláštěm nesou krajní stropnice v obvodu budovy. Uvažuje se varianta s výplní z dvojskla, výpočet – viz kapitola 4.3.1.

$$g_{op1,k} = 2,29 \text{ kN/m}$$

- Stálé zatížení celkem

$$g_{S3,prov,k} = 0,224 + 3,945 + 0,096 + 2,209 + 0,623 + 0,623 + 2,290 = 10,009 \text{ kN/m}$$

$g_{S3,prov,k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{S3,prov,d}$ [kN/m]
10,009	1,35	13,512

Tab. 39 – stálé zatížení stropnice S3 v provozním stavu

### Proměnné zatížení

- Příčky

$$q_{příčka,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{S3,příčka,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 0,623 \text{ kN/m}$$

- Užité zatížení

$$q_{užitné,k} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{S3,užitné,k} = 5,0 \cdot \left(\frac{1245}{1000}\right) = 6,225 \text{ kN/m}$$

- Proměnné zatížení celkem

$$q_{S3,prov,k} = 0,623 + 6,225 = 6,848 \text{ kN/m}$$

$q_{S3,prov,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{S3,prov,d}$ [kN/m]
6,848	1,50	10,271

Tab. 40 – proměnné zatížení stropnice S3 v provozním stavu

### • Vnitřní síly stropnice

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} (g_{S3,prov,d} + q_{S3,prov,d}) L^2 = \frac{1}{8} \cdot (13,512 + 10,271) \cdot 7,2^2 = 154,115 \text{ kNm}$$

- Posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} (g_{S3,prov,d} + q_{S3,prov,d})L = \frac{1}{2} \cdot (13,512 + 10,271) \cdot 7,2 = 85,619 \text{ kN}$$

- Posouzení v provozním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1400 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 286\,943 \text{ N} = 286,943 \text{ kN}$$

$$2V_{Ed} = 2 \cdot 85,619 = 171,238 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 286,943 \text{ kN} > 2V_{Ed} = 171,238 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý ohyb

Tlačena pásnice stropnice je držena v provozním stavu ŽB deskou po celé délce. Proto je posouzen prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

Stanovíme spolupůsobící šířku desky. Pro prosté krajní nosníky platí:

$$b_{e0} = \frac{L}{8} = \frac{7200}{8} = 900 \text{ mm}$$

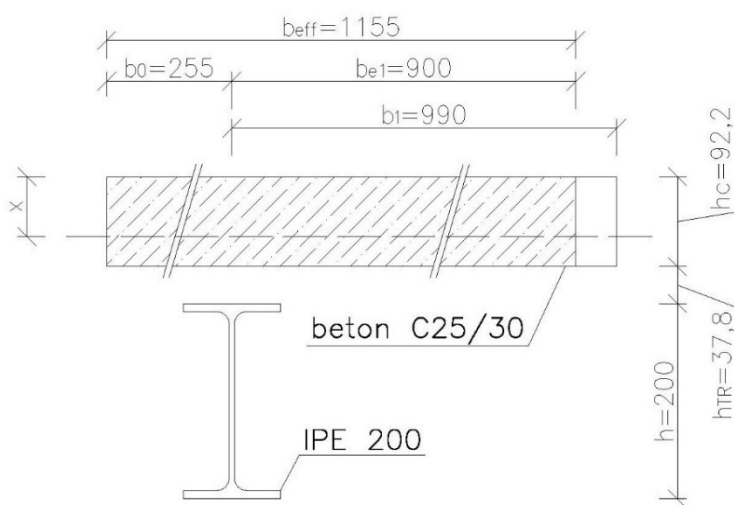
$$b_0 = 255 \text{ mm}$$

$$b_{e1} = \frac{L}{8} = \frac{7200}{8} = 900 \text{ mm}$$

$$b_1 = \frac{1980}{2} = 990 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \min(b_{e0}; b_0) + \min(b_{e1}; b_1) = \min(900; 255) + \min(900; 990)$$

$$b_{eff} = 255 + 900 = 1155 \text{ mm}$$



Pro výpočet momentu únosnosti spřaženého průřezu beton v žebrech trapézového plechu se neuvažuje. Beton v tahu se zanedbává.

beton C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 30500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

Obr. 19

$$E_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30500}{2} = 15250 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = \frac{210000}{15250} = 13,77$$

$h_{TR} = 37,8 \text{ mm}$  – výška TR plechu

$h_c = 92,2 \text{ mm}$  – výška ŽB desky bez betonu v žebrech TR plechu

Je potřeba stanovit polohu neutrální osy. Předpoklad – n.o. je v betonové desce – viz obr. 19.

$$x = \frac{A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}}{0,85 b_{\text{eff}} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{2848 \cdot \frac{355}{1,0}}{0,85 \cdot 1155 \cdot \frac{25}{1,5}} = 61,79 \text{ mm}$$

$x = 61,79 \text{ mm} < h_c = 92,2 \text{ mm} \rightarrow$  předpoklad je splněn

$$M_{\text{pl,Rd}} = A \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{h}{2} + h_{\text{TR}} + h_c - \frac{x}{2} \right)$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = \left( 2848 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \cdot \left( \frac{200}{2} + 37,8 + 92,2 - \frac{61,79}{2} \right) \right) \cdot 10^{-6} = 201,303 \text{ kNm}$$

$M_{\text{pl,Rd}} = 201,303 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 154,115 \text{ kNm} \rightarrow$  **OK, využití 76,6 %**

- Návrh spřažení

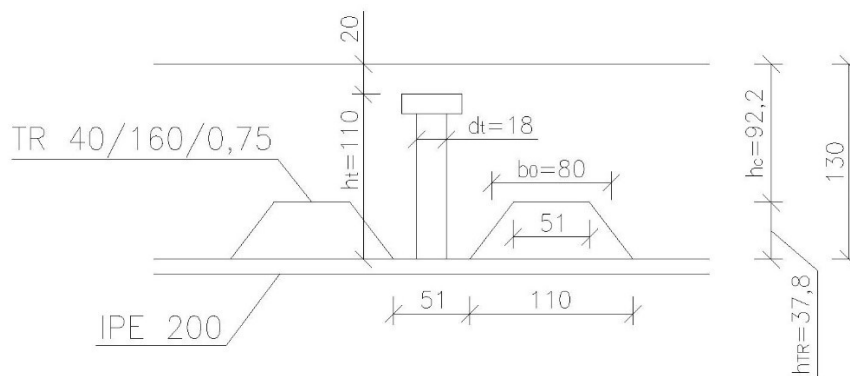
Dále bude navrženo spřažení pomocí trnů.

Pevnost materiálu trnů:

$$f_{\text{uk}} = 340 \text{ MPa}$$

$$\gamma_v = 1,3$$

$$b_0 = 80 \text{ mm}$$



Obr. 20

### NÁVRH SPŘAHOVACÍ TRNY 18 X 110 MM

$$d_t = 18 \text{ mm}$$

$$h_t = 110 \text{ mm}$$

$N_r = 1$  – počet trnů v žebře TR plechu přivařených k horní pásnici stropnice

$$k_t = \frac{0,7 b_0 h_t - h_{\text{TR}}}{\sqrt{N_r} h_{\text{TR}}} = \frac{0,7 \cdot 80 \cdot 110 - 37,8}{\sqrt{1} \cdot 37,8} = 2,83$$

$k_t = 2,83 > 1 \rightarrow$  nedochází k redukci únosnosti trnu

Stanovíme únosnost jednoho trnu:

$$\frac{h_t}{d_t} = \frac{110}{18} = 6,1 > 4 \rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{\text{Rk},1} = 0,8 f_{\text{uk}} \frac{\pi d_t^2}{4} = 0,8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 18^2}{4} = 69\,216 \text{ N} = 69,216 \text{ kN}$$

$$P_{\text{Rk},2} = 0,29 \alpha d_t^2 \sqrt{f_{ck} E_{\text{cm}}} = 0,29 \cdot 1 \cdot 18^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 30500} = 82\,047 \text{ N} =$$

$$= 82,047 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(69,216; 82,047) = 69,216 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} = \frac{69,216}{1,3} = 53,243 \text{ kN}$$

Podélná smyková síla na polovině nosníku – mezi maximálním a minimálním ohybovým momentem:

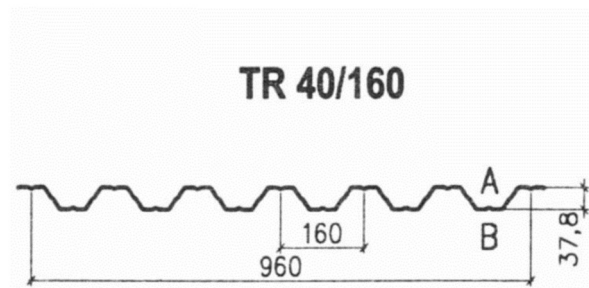
$$F_{cf} = N_c = N_a = A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(2848 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 1011,04 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině rozpětí nosníku pro úplné smykové spojení:

$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1011,04}{53,243} = 18,989 \rightarrow 19 \text{ trnů}$$

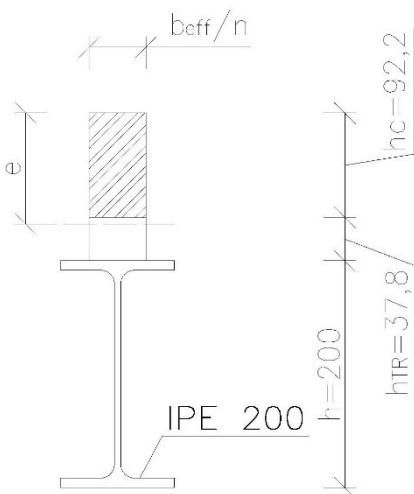
Vzhledem k tomu, že  $N_r = 1$ , na polovinu nosníku se vejde:

$$N_t = \frac{L}{2} = \frac{7200}{160} = 22,5 \text{ trnů}$$



$N_t = 22,5 > N_f = 19 \rightarrow$  **úplné spažení, v každé vlně TR plechu jeden trn** Obr. 21

- Kontrola pružného stavu v provozním stádiu



Stanovíme polohu těžiškové osy ideálního průřezu od horního okraje.

$$e = \frac{A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} \right) + \frac{1}{n} \frac{h_c^2}{2} b_{eff}}{A + \frac{1}{n} h_c b_{eff}} =$$

$$= \frac{2848 \cdot \left( \frac{200}{2} + 92,2 + 37,8 \right) + \frac{1}{13,77} \cdot \frac{92,2^2}{2} \cdot 1155}{2848 + \frac{1}{13,77} \cdot 92,2 \cdot 1155}$$

Obr. 22

$$e = 95,598 \text{ mm}$$

$$I_i = I_y + A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} - e \right)^2 + \frac{1}{n} \left[ \frac{1}{12} b_{eff} h_c^3 + h_c b_{eff} \left( e - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_i = 1,943 \cdot 10^7 + 2848 \cdot \left( \frac{200}{2} + 92,2 + 37,8 - 95,598 \right)^2 +$$

$$+ \frac{1}{13,77} \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 1155 \cdot 92,2^3 + 92,2 \cdot 1155 \cdot \left( 95,598 - \frac{92,2}{2} \right)^2 \right] = 9,530 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Dodatečné stálé zatížení:

$$\Delta g_{S3,k} = g_{S3,prov,k} - g_{S3,mont,k} = 10,009 - 4,423 = 5,586 \text{ kN/m}$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = \frac{\frac{1}{8} (\Delta g_{S3,k} + q_{S3,prov,k}) L^2}{I_i} (h + h_c + h_{TR} - e)$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = \frac{\frac{1}{8} \cdot (5,586 + 6,848) \cdot 7200^2}{9,530 \cdot 10^7} \cdot (200 + 92,2 + 37,8 - 95,598)$$

$$\Delta \sigma_{a,prov,k} = 198,168 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{c,prov,k} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\frac{1}{8} (\Delta g_{S3,k} + q_{S3,prov,k}) L^2}{I_i} e$$

$$\Delta \sigma_{c,prov,k} = \frac{1}{13,77} \cdot \frac{\frac{1}{8} \cdot (5,586 + 6,848) \cdot 7200^2}{9,530 \cdot 10^7} \cdot 95,598 = 5,869 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,k} = \Delta \sigma_{a,prov,k} + \sigma_{a,mont,k} = 198,168 + 147,729 = 345,897 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,k} = 345,897 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 97,4 \%$$

$$\sigma_{c,k} = \Delta \sigma_{c,prov,k} + \sigma_{c,mont,k} = 5,869 + 0 = 5,869 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,k} = 5,869 \text{ MPa} < 0,85 f_{ck} = 21,25 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 27,6 \%$$

### **STROPNICE S3 IPE 200 JE V PRUŽNÉM STAVU**

- MSP – průhyb stropnice v provozním stavu

Investor vyžaduje následující limitní hodnoty svislého průhybu stropnic:

$$\delta_{lim,1} = \frac{L}{250} = \frac{7200}{250} = 28,8 \text{ mm} - \text{od přírůstku stálého zatížení v provozním stavu}$$

+ proměnného zatížení v provozním stavu

$$\delta_{lim,2} = \frac{L}{300} = \frac{7200}{300} = 24 \text{ mm} - \text{od proměnného zatížení v provozním stavu (přísnější,$$

než doporučena hodnota průhybu dle Národní přílohy pro stropnice L/250)

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \frac{(\Delta g_{S3,k} + q_{S3,prov,k}) L^4}{EI_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(5,586 + 6,848) \cdot 7200^4}{210000 \cdot 9,530 \cdot 10^7} = 21,739 \text{ mm}$$

$$\delta_1 = 21,739 \text{ mm} < \delta_{lim,1} = 28,8 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Hodnota  $\delta_1$  je zároveň menší než 35 mm, tzn. požadavek na omezení dynamických účinků u běžných stropů  $f_1 > 3 \text{ Hz}$  uvedený v Národní příloze ČSN EN 1993-1-1 je splněn (s doplněním, že uvedené frekvenci neodpovídá normová hodnota 28 mm, která platí pro zatížení osamělým břemenem uprostřed rozpětí a je tedy nesprávná).



$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_{S3,prov,k} L^4}{EI_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,848 \cdot 7200^4}{210000 \cdot 9,530 \cdot 10^7} = 11,972 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 11,972 \text{ mm} < \delta_{lim,2} = 24 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

### IPE 200 V PROVOZNÍM STAVU VYHOVUJE

#### 4.3.6 Reakce na průvlak

- Reakce v montážním stavu

$$R_{g,mont,k} = \frac{1}{2} g_{S3,mont,k} L = \frac{1}{2} \cdot 4,423 \cdot 7,2 = 15,922 \text{ kN}$$

- Reakce v provozním stavu

Spočítáme přírůstek reakce od stropnice  $\Delta R_{g,prov,k}$  v provozním stavu oproti montážnímu stavu.

$$\Delta R_{g,prov,k} = \frac{1}{2} \Delta g_{S3,k} L = \frac{1}{2} \cdot 5,586 \cdot 7,2 = 20,110 \text{ kN}$$

$$R_{q,příčka,k} = \frac{1}{2} q_{S3,příčka,k} L = \frac{1}{2} \cdot 0,623 \cdot 7,2 = 2,243 \text{ kN}$$

$$R_{q,užitné,k} = \frac{1}{2} q_{S3,užitné,k} L = \frac{1}{2} \cdot 6,225 \cdot 7,2 = 22,41 \text{ kN}$$

#### 4.4 Stropnice – závěr

Ve výše uvedených částech kapitoly 4 byly navrženy a posouzeny stropnice S1, S2 a S3. Každý druh se liší dle rozpětí, profilu a použitých spřahovacích trnů. Návrh byl proveden pro zatížení typického podlaží a montáž bez podpírání během betonáže. Profily ostatních stropnic jsou stanoveny odhadem – viz výkres půdorysu typického podlaží. Ve stropní konstrukci střechy bezpečně použijeme stejné profily, jako u typického podlaží. Vzhledem k tomu, že zatížení nepochůzná střechy je výrazně menší (viz kapitola 2), profily určitě vyhoví.

## 5 Průvlak

Průvlaky jsou navrženy pro montáž s podepřením (veškeré zatížení přenáší spřažený průřez). Tím pádem odpadá montážní stav a průvlaky budou posouzeny pouze v provozním stavu.

Jsou orientovány kolmo ke stropnicím. Vzhledem k uspořádání (horní pásnice stropnic a průvlaků jsou ve stejné výšce) bude využito spřažení i u průvlaků.

- **Materiál**

Ocel S355,  $t \leq 40$  mm.

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{uk} = 510 \text{ MPa}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

## 5.1 Průvlak P1

Průvlak P1 bude navržen jako prostý nosník. V montážním stavu bude podepřen v místě stropnic, tj. ve třetinách rozpětí, což je dostačující pro uvažování plného podepření a přenášení veškerého zatížení spřaženým průřezem. Do míst sloupů se vloží buď dřevěná lišta k přerušení nebo kari síť pro zabránění trhlin v desce.

### 5.1.1 Návrh průvlaku

#### **NÁVRH IPE 330**

- **Průřezové charakteristiky**

Klasifikace průřezu: třída průřezu pro ohyb 1.

$$g_{P1,k} = 0,491 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 1,177 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 713000 \text{ mm}^3$$

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

$$A_{vz} = 3081 \text{ mm}^2$$

$$A = 6261 \text{ mm}^2$$

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

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

$$t_f = 11,5 \text{ mm}$$

### 5.1.2 Provozní stav

- **Provozní zatížení průvlaku**

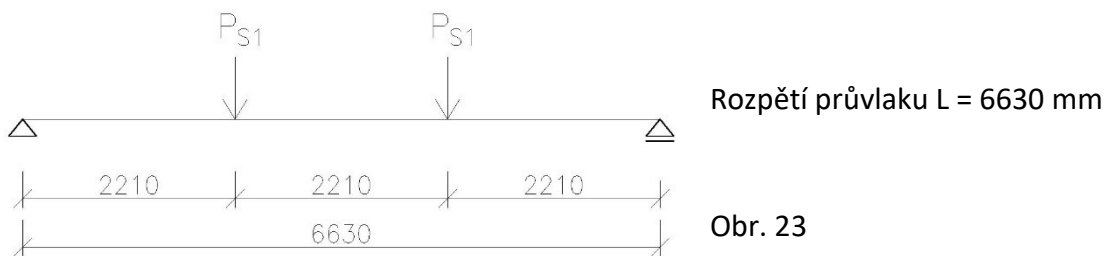
Průvlak P1 bude zatížen vlastní tíhou a akcemi stropnic dle obrázku níže. Stropnice na linii sloupů jsou připojeny přímo na jejich pásnice, tím pádem nezatěžují průvlak.

- Vlastní tíha průvlaku

$$g_{P1,k} = 0,491 \text{ kN/m}$$

$$g_{P1,d} = g_{P1,k} \gamma_G = 0,491 \cdot 1,35 = 0,663 \text{ kN/m}$$

- Akce stropnic

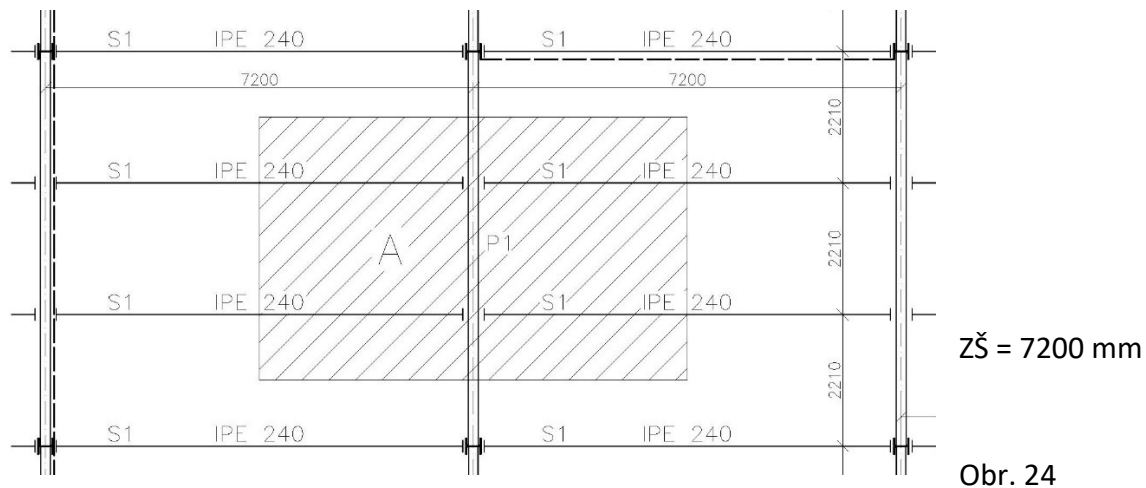


Vzhledem k velikosti zatěžovací plochy lze uvažovat redukční součinitel  $\alpha_A$  pro užité zatížení. Součinitel uvažuje malou pravděpodobnost výskytu užitého zatížení v plné výši v rámci celé zatěžovací plochy.

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \text{ – kde referenční plocha } A_0 = 10 \text{ m}^2$$

Kombinační součinitel  $\psi_0 = 0,7$  – dle užitého zatížení kategorie D

(použitého při výpočtu reakcí od stropnic – konzervativně zatížení typu "sklad").



Zatížena plocha  $A = (2,21 \cdot 2) \cdot 7,2 = 31,824 \text{ m}^2$  – viz obr. výše

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{31,824} = 0,814 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

$$P_{S1,k} = 2(R_{g,\text{mont},k} + \Delta R_{g,\text{prov},k} + R_{q,\text{užitné},k} \alpha_A + R_{q,\text{příčka},k})$$

$$P_{S1,k} = 2 \cdot (27,357 + 21,084 + 39,78 \cdot 0,814 + 3,978) = 169,618 \text{ kN}$$

$$P_{S1,d} = 2(R_{g,\text{mont},k} \gamma_G + \Delta R_{g,\text{prov},k} \gamma_G + R_{q,\text{užitné},k} \alpha_A \gamma_Q + R_{q,\text{příčka},k} \gamma_Q)$$

$$P_{S1,d} = 2 \cdot (27,357 \cdot 1,35 + 21,084 \cdot 1,35 + 39,78 \cdot 0,814 \cdot 1,50 + 3,978 \cdot 1,50)$$

$$P_{S1,d} = 239,895 \text{ kN}$$

Charakteristická hodnota břemena  $P_{S1}$  – pouze proměnné zatížení:

$$P_{S1,q,k} = 2(R_{q,užité,k}\alpha_A + R_{q,příčka,k}) = 2 \cdot (39,78 \cdot 0,814 + 3,978) = 72,736 \text{ kN}$$

- Vnitřní síly průvlaku

- Posouvající síla v podpoře průvlaku

$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2}(2P_{S1,d} + g_{P1,d}L) = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 239,895 + 0,663 \cdot 6,63) = 242,092 \text{ kN}$$

$$V_{Ek} = R_{Ek} = \frac{1}{2}(2P_{S1,k} + g_{P1,k}L) = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 169,618 + 0,491 \cdot 6,63) = 171,246 \text{ kN}$$

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{R_{Ed}L}{2} - \frac{P_{S1,d}L}{6} - \frac{g_{P1,d}L^2}{8} = \frac{242,092 \cdot 6,63}{2} - \frac{239,895 \cdot 6,63}{6} - \frac{0,663 \cdot 6,63^2}{8}$$

$$M_{Ed} = 533,809 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = \frac{R_{Ek}L}{2} - \frac{P_{S1,k}L}{6} - \frac{g_{P1,k}L^2}{8} = \frac{171,246 \cdot 6,63}{2} - \frac{169,618 \cdot 6,63}{6} - \frac{0,491 \cdot 6,63^2}{8}$$

$$M_{Ek} = 377,554 \text{ kNm}$$

- Posouzení v provozním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{Mo}} \right) = 3081 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 631\,480 \text{ N} = 631,480 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 631,480 \text{ kN} > V_{Ed} = 242,092 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý ohyb

Tlačená pásnice průvlaku je držena v provozním stavu ŽB deskou po celé délce. Proto je posouzen prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

Stanovíme spolupůsobící šířku desky. Pro prosté vnitřní nosníky ve stejné vzdálenosti platí:

$$b_{eff} = \min\left(\frac{L}{4}; Z\check{S}\right) = \min\left(\frac{6630}{4}; 7200\right) = \min(1657,5; 7200) = 1657,5 \text{ mm}$$

Pro výpočet momentu únosnosti spřaženého průřezu beton v žebrech trapézového plechu se neuvažuje. Beton v tahu se zanedbává.

beton C 25/30

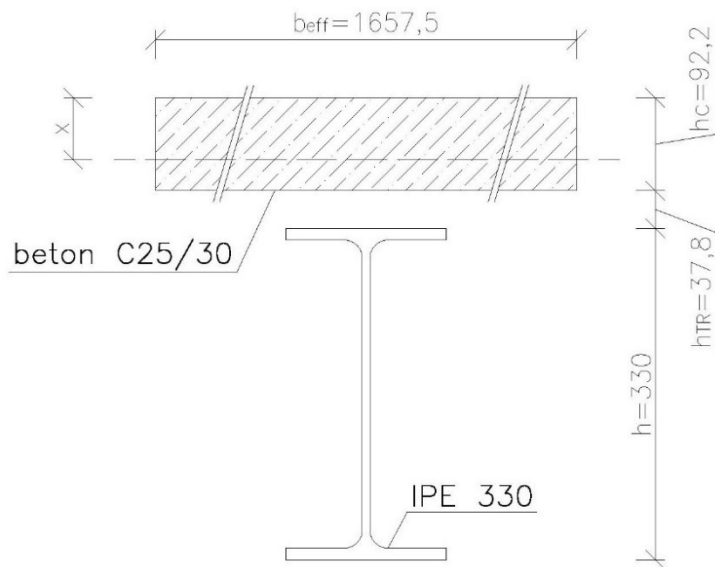
$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 30500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30500}{2} = 15250 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = \frac{210000}{15250} = 13,77 \text{ (použije se pro MSP)}$$



$h_{TR} = 37,8 \text{ mm}$  – výška TR plechu

$h_c = 92,2 \text{ mm}$  – výška ŽB desky bez betonu v žebrech TR plechu

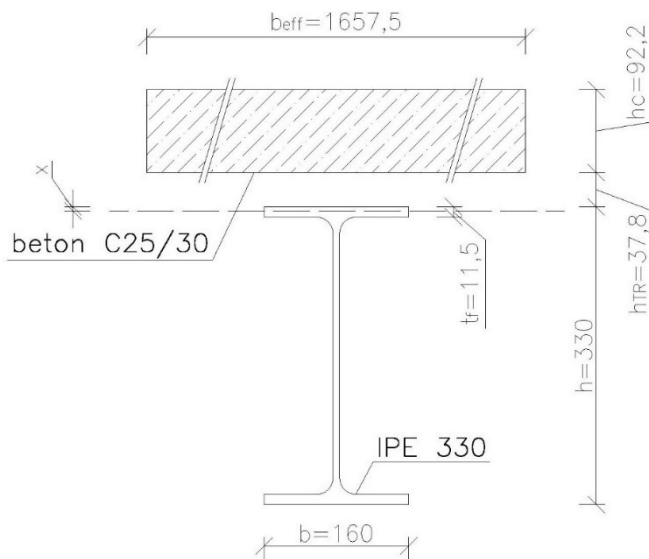
Pro MSÚ je potřeba stanovit polohu plastické neutrální osy. Předpoklad – n.o. je v betonové desce – viz obr. 25.

Obr. 25

$$x = \frac{A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}}{0,85 b_{eff} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{6261 \cdot \frac{355}{1,0}}{0,85 \cdot 1657,5 \cdot \frac{25}{1,5}} = 94,657 \text{ mm}$$

$x = 94,657 \text{ mm} > h_c = 92,2 \text{ mm} \rightarrow$  změna předpokladu

Nový předpoklad – n.o. je v horní pásnici průvlnaku – viz obr. 26.



Obr. 26

$$x = \frac{\frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}} - b_{eff} h_c 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}{2b \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{\frac{6261 \cdot 355}{1,0} - 1657,5 \cdot 92,2 \cdot 0,85 \cdot \frac{25}{1,5}}{2 \cdot 160 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,508 \text{ mm}$$

$x = 0,508 \text{ mm} < t_f = 11,5 \text{ mm} \rightarrow$  předpoklad je splněn

$$M_{pl,Rd} = x b \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \left( \frac{h-x}{2} + \frac{x}{2} \right) + b_{eff} h_c 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \left( \frac{h-x}{2} + x + h_{TR} + \frac{h_c}{2} \right)$$

$$M_{pl,Rd} = 0,508 \cdot 160 \cdot \frac{355}{1,0} \left( \frac{330 - 0,508}{2} + \frac{0,508}{2} \right) +$$

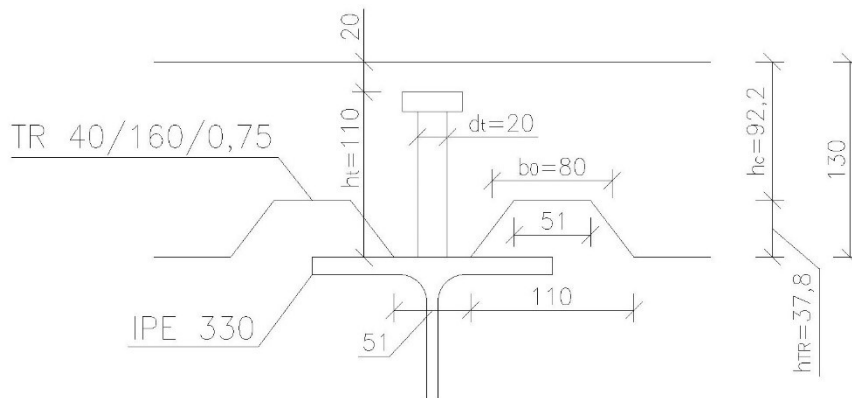
$$+ 1657,5 \cdot 92,2 \cdot 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} \left( \frac{330 - 0,508}{2} + 0,508 + 37,8 + \frac{92,2}{2} \right) = 544,170 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 544,170 \text{ kNm} > M_{Ed} = 533,809 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití } 98,1 \%$$

- Návrh spřažení

Dále bude navrženo spřažení pomocí trnů.

Pevnost materiálu trnů:



$$f_{uk} = 340 \text{ MPa}$$

$$\gamma_V = 1,3$$

$$b_0 = 80 \text{ mm}$$

Obr. 27

### NÁVRH: SPŘAHOVACÍ TRNY 20 X 110 MM

$$d_t = 20 \text{ mm}$$

$$h_t = 110 \text{ mm}$$

$N_r = 1$  – počet řad trnů v žebří TR plechu přivařených k horní pásnici stropnice.

V okolí průvlaků budou kromě trapézových plechů použity doplňkové plechy, které zajistí dostatečnou šířku betonové desky v okolí trnů. Pro nepravděpodobný případ podle obr. 27 (vlina plechu nad průvlakem bez doplňkových plechů) bude nejmenší šířka betonové desky ve vlně  $b_0 = 80 \text{ mm}$ :

$$k_1 = 0,6 \frac{b_0}{h_{TR}} \frac{h_t - h_{TR}}{h_{TR}} = 0,6 \cdot \frac{80}{37,8} \cdot \frac{110 - 37,8}{37,8} = 2,425$$

$$k_1 = 2,425 > 1 \rightarrow \text{nedochází k redukci únosnosti trnu}$$

Stanovíme únosnost jednoho trnu:

$$\frac{h_t}{d_t} = \frac{110}{20} = 5,5 > 4 \rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{Rk,1} = 0,8 f_{uk} \frac{\pi d_t^2}{4} = 0,8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 85\,451 \text{ N} = 85,451 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \alpha d_t^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} = 0,29 \cdot 1 \cdot 20^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 30500} = 101\,293 \text{ N} =$$

$$= 101,293 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(85,451; 101,293) = 85,451 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} = \frac{85,451}{1,3} = 65,732 \text{ kN}$$

Podélná smyková síla na polovině nosníku – mezi maximálním ohybovým momentem a podporou:

$$F_{cf} = N_c = \left( b_{\text{eff}} h_c 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right) / 1000 = \left( 1657,5 \cdot 92,2 \cdot 0,85 \cdot \frac{25}{1,5} \right) / 1000 = 2164,971 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině rozpětí nosníku pro úplné smykové spojení:

$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{2164,971}{65,732} = 32,9 \rightarrow 33 \text{ trnů}$$

Minimální vzdálenost trnů na nosníku při splnění plného spřažení a  $N_r = 1$ :

$$L_t = \frac{L}{N_f} = \frac{6630}{33} = 100,455 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh vzdálenosti trnů } L_t = 100 \text{ mm}$$

Konstrukční zásady – minimální rozteč trnů:

$$L_{t,\text{min}} = 5d_t = 5 \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$

$$L_t = 100 \text{ mm} \geq L_{t,\text{min}} = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{OK, úplné spřažení}$$

Pozn.: Většina smykového přenosu nastává v krajní části průvzlaku (neboť mezi stropnicemi je posouvající síla téměř nulová). V mezním stavu však lze předpokládat plastickou redistribuci na celou polovinu rozpětí.

- Kontrola pružného stavu v provozním stádiu

Stanovíme polohu těžištvé osy ideálního průřezu od horního okraje desky (tj. pružné neutrální osy):

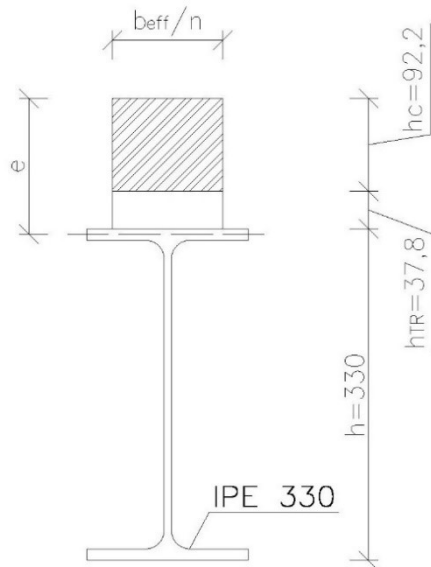
$$e = \frac{A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} \right) + \frac{1}{n} \frac{h_c^2}{2} b_{\text{eff}}}{A + \frac{1}{n} h_c b_{\text{eff}}} = \frac{6261 \cdot \left( \frac{330}{2} + 92,2 + 37,8 \right) + \frac{1}{13,77} \cdot \frac{92,2^2}{2} \cdot 1657,5}{6261 + \frac{1}{13,77} \cdot 92,2 \cdot 1657,5}$$

$$e = 135,874 \text{ mm}$$

$$I_i = I_y + A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} - e \right)^2 + \frac{1}{n} \left[ \frac{1}{12} b_{\text{eff}} h_c^3 + h_c b_{\text{eff}} \left( e - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_i = 1,177 \cdot 10^8 + 6261 \cdot \left( \frac{330}{2} + 92,2 + 37,8 - 135,874 \right)^2 +$$

$$+ \frac{1}{13,77} \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 1657,5 \cdot 92,2^3 + 92,2 \cdot 1657,5 \right] \cdot \left( 135,874 - \frac{92,2}{2} \right)^2 = 3,735 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$



$$\sigma_{a,k} = \frac{M_{Ek}}{I_i} (h + h_c + h_{TR} - e) =$$

$$= \frac{377,554 \cdot 10^6}{3,735 \cdot 10^8} (330 + 92,2 + 37,8 - 135,874)$$

$$\sigma_{a,k} = 327,611 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \rightarrow$$

→ **OK, využití 92,3 %**

$$\sigma_{c,k} = \frac{1}{n} \frac{M_{Ek}}{I_i} e = \frac{1}{13,77} \cdot \frac{377,554 \cdot 10^6}{3,735 \cdot 10^8} \cdot 135,874 =$$

$$= 9,973 \text{ MPa}$$

Obr. 28

$$\sigma_{c,k} = 9,973 \text{ MPa} < 0,85f_{ck} = 21,25 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití 46,9 %}$$

### PRŮVLAK P1 IPE 330 JE V PRUŽNÉM STAVU

- MSP – průhyb průvlaku v provozním stavu

Investor vyžaduje omezení průhybů a kmitání podle ČSN EN 1993-1-1, tj.:

- 1) Průhyb od proměnného zatížení v provozním stavu:

$$\delta_2 \leq \delta_{2,lim} = \frac{L}{400} = \frac{6630}{400} = 16,575 \text{ mm}$$

- 2) Omezení dynamických účinků (první vlastní frekvence):

$$f_1 \geq 3 \text{ Hz}$$

To mu odpovídá přibližně omezení svislého průhybu od celkového zatížení (stálého a proměnného):

$$\delta_{max,lim} = 28 \text{ mm}$$

Odtud:

$$\delta_2 = \frac{23P_{S1,q,k}L^3}{648EI_i} = \frac{23 \cdot 72,736 \cdot 1000 \cdot 6630^3}{648 \cdot 210000 \cdot 3,735 \cdot 10^8} = 9,592 \text{ mm} < \delta_{2,lim} = 16,575 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

$$\delta_{max} = \frac{23P_{S1,k}L^3}{648EI_i} + \frac{5g_{P1,k}L^4}{384EI_i}$$

$$\delta_{max} = \frac{23 \cdot 169,618 \cdot 1000 \cdot 6630^3}{648 \cdot 210000 \cdot 3,735 \cdot 10^8} + \frac{5 \cdot 0,491 \cdot 6630^4}{384 \cdot 210000 \cdot 3,735 \cdot 10^8} = 22,525 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = 22,525 \text{ mm} < \delta_{max,lim} = 28 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

### IPE 330 V PROVOZNÍM STAVU VYHOVUJE



## 5.2 Průvlak P2

Průvlak P2 v čele budovy bude navržen jako prostý nosník. Podobně jako průvlak P1 bude v montážním stavu podepřen v místě přípoju stropnic, což je dostačující pro uvažování plného podepření a přenášení veškerého zatížení spřaženým průřezem.

### 5.2.1 Návrh průvlaku

#### NÁVRH IPE 360

- Průřezové charakteristiky

Klasifikace průřezu: třída průřezu pro ohyb 1.

$$g_{P2,k} = 0,571 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 1,627 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 904000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 1019000 \text{ mm}^3$$

$$A_{vz} = 3514 \text{ mm}^2$$

$$A = 7273 \text{ mm}^2$$

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

$$b = 170 \text{ mm}$$

$$t_f = 12,7 \text{ mm}$$

### 5.2.2 Provozní stav

- Provozní zatížení průvlaku

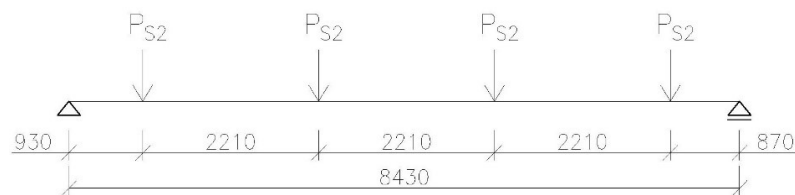
Průvlak P2 bude zatížen rovnoměrným zatížením a akcemi stropnic dle obrázku níže.

- Vlastní tíha průvlaku

$$g_{P2,k} = 0,571 \text{ kN/m}$$

$$g_{P2,d} = g_{P2,k} \gamma_G = 0,571 \cdot 1,35 = 0,771 \text{ kN/m}$$

- Akce stropnic



Rozpětí průvlaku  $L = 8430 \text{ mm}$

Obr. 29

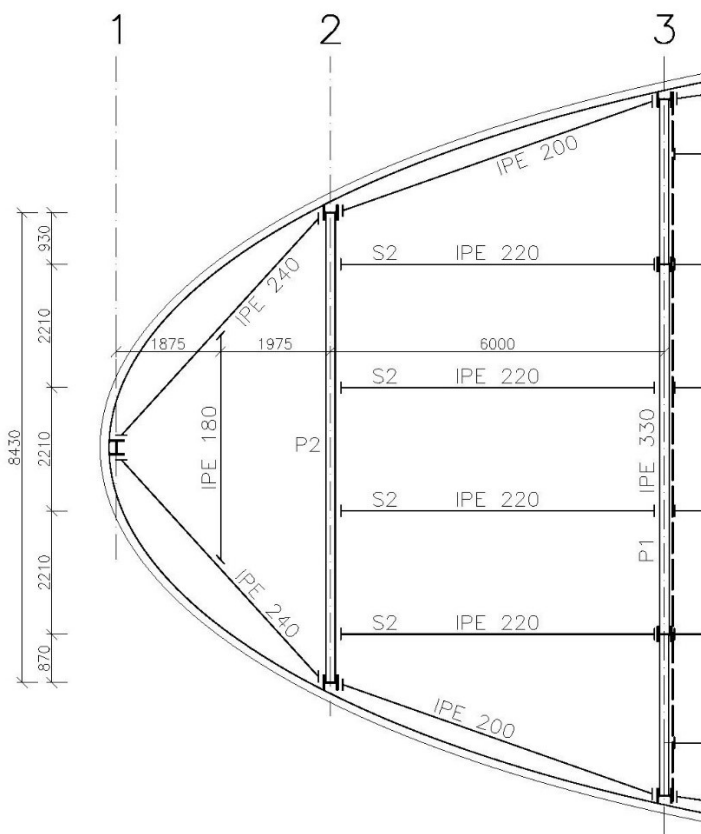
Znova uvažujeme redukční součinitel  $\alpha_A$  pro užité zatížení.

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \quad \text{– kde referenční plocha } A_0 = 10 \text{ m}^2$$

Kombinační součinitel  $\psi_0 = 0,7$  – dle užitého zatížení kategorie D (konzervativně zatížení typu "sklad").

Pro výpočet redukčního součinitele zjednodušeně uvažujeme zatíženou plochu dle vzorce níže. Je sice o trochu větší než skutečná, což způsobuje větší redukci užitého zatížení, ale v našem případě vzhledem ke konzervativní hodnotě užitého zatížení lze připustit.

$$\text{Zatížená plocha } A = \left( \frac{1,975}{2} + \frac{6}{2} \right) L = \left( \frac{1,975}{2} + \frac{6}{2} \right) \cdot 8,43 = 33,615 \text{ m}^2$$



$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{33,615}$$

$$\alpha_A = 0,797 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

$$Z\check{S} = Z\check{S}_L + Z\check{S}_P$$

$$Z\check{S} = \frac{1975}{2} + \frac{6000}{2} = 3987,5 \text{ mm}$$

Obr. 30

$$P_{S2,k} = R_{g,mont,k} + \Delta R_{g,prov,k} + R_{q,užitné,k} \alpha_A + R_{q,příčka,k}$$

$$P_{S2,k} = 19,313 + 17,699 + 33,15 \cdot 0,797 + 3,315 = 66,764 \text{ kN}$$

$$P_{S2,d} = R_{g,mont,k} \gamma_G + \Delta R_{g,prov,k} \gamma_G + R_{q,užitné,k} \alpha_A \gamma_Q + R_{q,příčka,k} \gamma_Q$$

$$P_{S2,d} = 19,313 \cdot 1,35 + 17,699 \cdot 1,35 + 33,15 \cdot 0,797 \cdot 1,50 + 3,315 \cdot 1,50$$

$$P_{S2,d} = 94,594 \text{ kN}$$

Charakteristická hodnota břemena  $P_{S2}$  – pouze proměnné zatížení:

$$P_{S2,q,k} = R_{q,užitné,k} \alpha_A + R_{q,příčka,k} = 33,15 \cdot 0,797 + 3,315 = 29,752 \text{ kN}$$

- Zatížení vlevo od průvlaku P2

Bude použito obdobné provozní zatížení jako u výpočtů stropnic.

$$Z\check{S}_L = \frac{1975}{2} = 987,5 \text{ mm}$$

*Stálé zatížení*

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,ryb} = 104,519 \text{ mm}$$

$$g_{\check{z}b,k} = 25 \text{ kN/m}^3; \quad g_{P2,\check{z}b,k} = 25 \cdot \left(\frac{104,519}{1000}\right) \cdot \left(\frac{987,5}{1000}\right) = 2,58 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapézového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{P2,TR,k} = 0,077 \cdot \left(\frac{987,5}{1000}\right) = 0,076 \text{ kN/m}.$$

- Podlaha

$$g_{p,k} = 1,774 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{P2,p,k} = 1,774 \cdot \left(\frac{987,5}{1000}\right) = 1,752 \text{ kN/m}$$

- Zařízení TZB

$$g_{tzb,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{P2,tzb,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{987,5}{1000}\right) = 0,494 \text{ kN/m}$$

- Podhled

$$g_{knauf,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{P2,knauf,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{987,5}{1000}\right) = 0,494 \text{ kN/m}$$

- Rovnoměrné stálé zatížení celkem (bez vlastní tíhy průvlaku)

$$g_{P2,prov,k} = 2,58 + 0,076 + 1,752 + 0,494 + 0,494 = 5,396 \text{ kN/m}$$

$g_{P2,prov,k} [\text{kN/m}]$	$\gamma_G [-]$	$g_{P2,prov,d} [\text{kN/m}]$
5,396	1,35	7,284

Tab. 41 – rovnoměrné stálé zatížení průvlaku P2 v provozním stavu bez jeho vlastní tíhy

*Proměnné zatížení*

- Příčky

$$q_{příčka,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{P2,příčka,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{987,5}{1000}\right) = 0,494 \text{ kN/m}$$

- Užité zatížení

$$q_{užitné,k} \alpha_A = 5,0 \cdot 0,797 = 3,987 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{P2,užitné,k} = 3,987 \cdot \left(\frac{987,5}{1000}\right) = 3,938 \text{ kN/m}$$

Proměnné zatížení celkem

$$q_{P2,prov,k} = 0,494 + 3,938 = 4,431 \text{ kN/m}$$

$q_{P2,prov,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{P2,prov,d}$ [kN/m]
4,431	1,50	6,647

Tab. 42 – rovnoměrné proměnné zatížení průvlaku P2 v provozním stavu

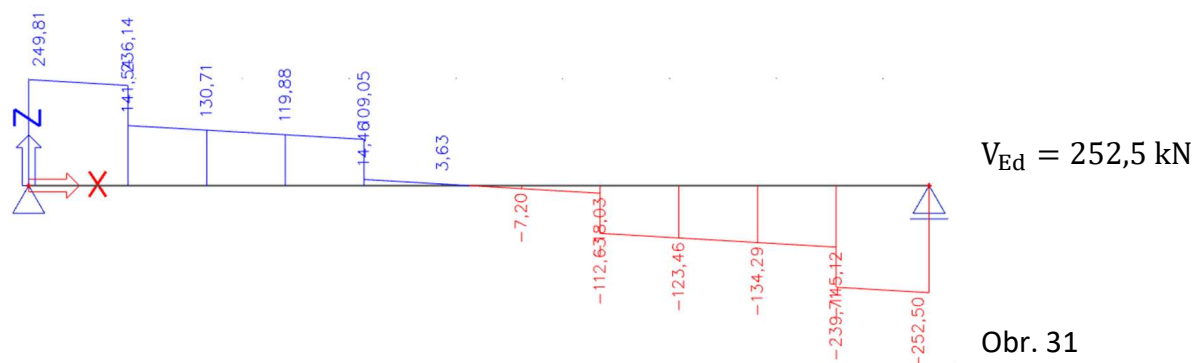
- Vnitřní síly průvlaku

Výpočet vnitřních sil byl proveden v programu SCIA Engineer 20.0.

- Průběh posouvající sil

Od lineární kombinace zatížení:

$$g_{P2,d} + P_{S2,d} \text{ (akce stropnic dle obr. 29)} + g_{P2,prov,d} + q_{P2,prov,d} - \text{návrhové}$$

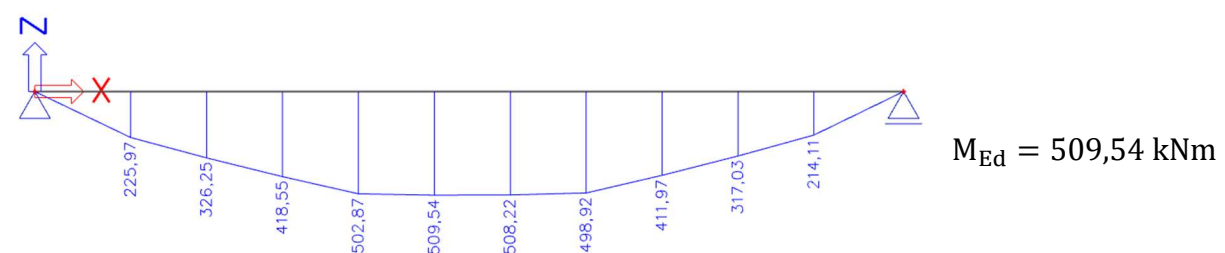


Obr. 31

- Ohybový moment

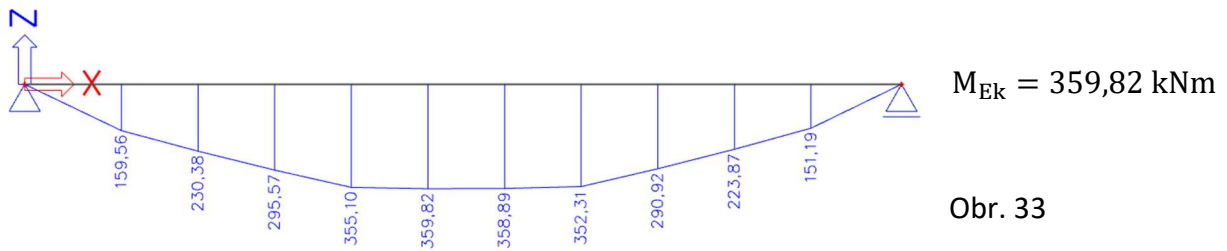
Od lineární kombinace zatížení:

$$g_{P2,d} + P_{S2,d} \text{ (akce stropnic dle obr. 29)} + g_{P2,prov,d} + q_{P2,prov,d} - \text{návrhové}$$



Obr. 32

$$g_{P2,k} + P_{S2,k} \text{ (akce stropnic dle obr. 29)} + g_{P2,prov,k} + q_{P2,prov,k} - \text{charakteristické}$$



Obr. 33

- Posouzení v provozním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 3514 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 720\,227 \text{ N} = 720,227 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 720,227 \text{ kN} > V_{Ed} = 252,5 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý ohyb

Tlačená pásnice průvlaku je držena v provozním stavu ŽB deskou po celé délce. Proto je posouzen prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

Stanovíme spolupůsobící šířku desky. Pro prosté vnitřní nosníky platí:

$$b_{e1} = \frac{L}{8} = \frac{8430}{8} = 1053,75 \text{ mm}$$

$$b_1 = Z_{\check{S}_L} = \frac{1975}{2} = 987,5 \text{ mm}$$

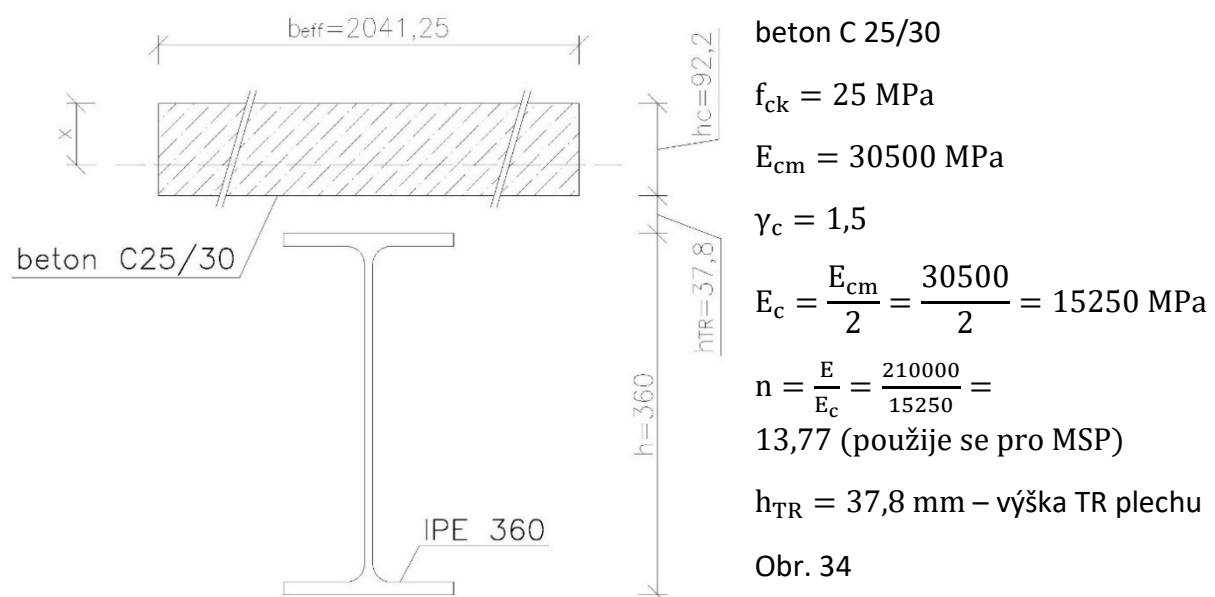
$$b_{e2} = \frac{L}{8} = \frac{8430}{8} = 1053,75 \text{ mm}$$

$$b_2 = Z_{\check{S}_P} = \frac{6000}{2} = 3000 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \min(b_{e1}; b_1) + \min(b_{e2}; b_2) = \min(1053,75; 987,5) + \min(1053,75; 3000)$$

$$b_{eff} = 987,5 + 1053,75 = 2041,25 \text{ mm}$$

Pro výpočet momentu únosnosti spřaženého průřezu beton v žebrech trapézového plechu se neuvažuje. Beton v tahu se zanedbává.



beton C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 30500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30500}{2} = 15250 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = \frac{210000}{15250} =$$

$$13,77 \text{ (použije se pro MSP)}$$

$$h_{TR} = 37,8 \text{ mm} - \text{výška TR plechu}$$

Obr. 34

$h_c = 92,2 \text{ mm}$  – výška ŽB desky bez betonu v žebrech TR plechu

Pro MSÚ je potřeba stanovit polohu plastické neutrální osy. Předpoklad – n.o. je v betonové desce – viz obr. 34.

$$x = \frac{A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}}{0,85 b_{\text{eff}} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{7273 \cdot \frac{355}{1,0}}{0,85 \cdot 2041,25 \cdot \frac{25}{1,5}} = 89,285 \text{ mm}$$

$x = 89,285 \text{ mm} < h_c = 92,2 \text{ mm} \rightarrow$  předpoklad je splněn

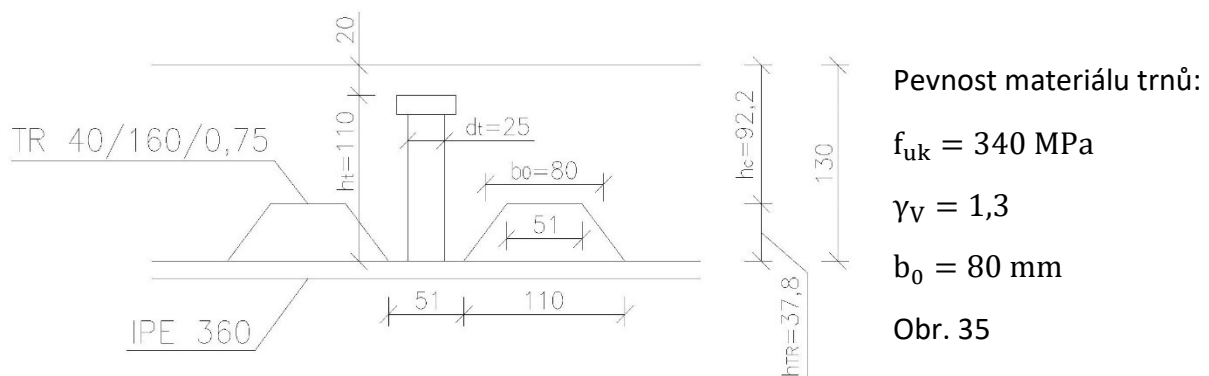
$$M_{\text{pl,Rd}} = A \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{h}{2} + h_{\text{TR}} + h_c - \frac{x}{2} \right)$$

$$M_{\text{pl,Rd}} = \left( 7273 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \cdot \left( \frac{360}{2} + 37,8 + 92,2 - \frac{89,285}{2} \right) \right) \cdot 10^{-6} = 685,131 \text{ kNm}$$

$M_{\text{pl,Rd}} = 685,131 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 509,54 \text{ kNm} \rightarrow$  **OK, využití 76,4 %**

- Návrh spřažení

Dále bude navrženo spřažení pomocí trnů.



### NÁVRH: SPŘAHOVACÍ TRNY 25 X 110 MM

$$d_t = 25 \text{ mm}$$

$$h_t = 110 \text{ mm}$$

$N_r = 1$  – počet trnů v žebře TR plechu přivařených k horní pásnici stropnice

V okolí průvlaků budou kromě trapézových plechů použity doplňkové plechy, které zajistí dostatečnou šířku betonové desky v okolí trnů. Předpokládá se přitom, že ze strany k čelu budovy budou trapézové plechy položeny kolmo k průvlaků. Je zřejmé, že nejmenší šířka betonové desky ve vlně může být  $b_0 = 80 \text{ mm}$ :

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{N_r}} \frac{b_0}{h_{\text{TR}}} \frac{h_t - h_{\text{TR}}}{h_{\text{TR}}} = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{80}{37,8} \cdot \frac{110 - 37,8}{37,8} = 2,83$$

$k_t = 2,83 > 1 \rightarrow$  nedochází k redukci únosnosti trnu

Stanovíme únosnost jednoho trnu:

$$\frac{h_t}{d_t} = \frac{110}{25} = 4,4 > 4 \rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{Rk,1} = 0,8f_{uk} \frac{\pi d_t^2}{4} = 0,8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 25^2}{4} = 133\,518 \text{ N} = 133,518 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29\alpha d_t^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} = 0,29 \cdot 1 \cdot 25^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 30500} = 158\,270 \text{ N} = 158,270 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(133,518; 158,270) = 133,518 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} = \frac{133,518}{1,3} = 102,706 \text{ kN}$$

Podélná smyková síla na přibližně polovině nosníku – mezi maximálním ohybovým momentem a podporou:

$$F_{cf} = N_c = N_a = A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(7273 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 2581,915 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině rozpětí nosníku pro úplné smykové spojení:

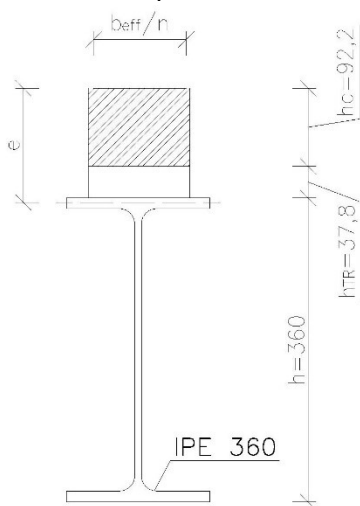
$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{2581,915}{102,706} = 25,1 \rightarrow 26 \text{ trnů}$$

Vzhledem k tomu, že  $N_r = 1$ , na polovinu nosníku se vejde:

$$N_t = \frac{L}{2} = \frac{8430}{160} = 26,3 \text{ trnů}$$

$N_t = 26,3 > N_f = 26 \rightarrow$  **úplné spažení, v každé vlně TR plechu jeden trn**

- Kontrola pružného stavu v provozním stádiu



Stanovíme polohu těžištové osy ideálního průřezu od horního okraje desky (tj. pružné neutrální osy):

$$e = \frac{A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} \right) + \frac{1}{n} \frac{h_c^2}{2} b_{eff}}{A + \frac{1}{n} h_c b_{eff}} = \frac{7273 \cdot \left( \frac{360}{2} + 92,2 + 37,8 \right) + \frac{1}{13,77} \cdot \frac{92,2^2}{2} \cdot 2041,25}{7273 + \frac{1}{13,77} \cdot 92,2 \cdot 2041,25}$$

Obr. 36

$$e = 137,759 \text{ mm}$$

$$I_i = I_y + A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} - e \right)^2 + \frac{1}{n} \left[ \frac{1}{12} b_{eff} h_c^3 + h_c b_{eff} \left( e - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_i = 1,627 \cdot 10^8 + 7273 \cdot \left( \frac{360}{2} + 92,2 + 37,8 - 137,759 \right)^2 +$$

$$+ \frac{1}{13,77} \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 2041,25 \cdot 92,2^3 + 92,2 \cdot 2041,25 \cdot \left( 137,759 - \frac{92,2}{2} \right)^2 \right] = 5,030 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{a,k} = \frac{M_{Ek}}{I_i} (h + h_c + h_{TR} - e) = \frac{359,82 \cdot 10^6}{5,030 \cdot 10^8} (360 + 92,2 + 37,8 - 137,759)$$

$$\sigma_{a,k} = 251,989 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití 71,0 \%}$$

$$\sigma_{c,k} = \frac{1}{n} \frac{M_{Ek}}{I_i} e = \frac{1}{13,77} \cdot \frac{359,82 \cdot 10^6}{5,030 \cdot 10^8} \cdot 137,759 = 7,157 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,k} = 7,157 \text{ MPa} < 0,85f_{ck} = 21,25 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití 33,7 \%}$$

### PRŮVLAK P2 IPE 360 JE V PRUŽNÉM STAVU

- MSP – průhyb průvlaku v provozním stavu

Investor vyžaduje omezení průhybů a kmitání podle ČSN EN 1993-1-1, tj.:

- 1) Průhyb od proměnného zatížení v provozním stavu:

$$\delta_2 \leq \delta_{2,lim} = \frac{L}{400} = \frac{8430}{400} = 21,075 \text{ mm}$$

- 2) Omezení dynamických účinků (první vlastní frekvence):

$$f_1 \geq 3 \text{ Hz}$$

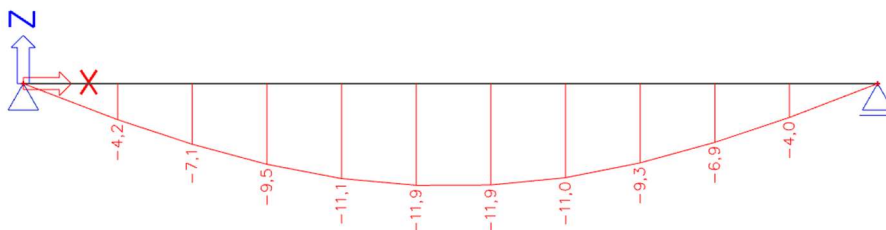
To mu odpovídá přibližně omezení svislého průhybu od celkového zatížení (stálého a proměnného):

$$\delta_{max,lim} = 28 \text{ mm}$$

Výpočet maximálních hodnot svislého průhybu (veškeré zatížení přenáší sprážený průřez) bude proveden ve SCIA Engineer 20.0.

Od lineární kombinace zatížení:

$P_{S2,q,k}$  (akce stropnic dle obr. 29) +  $q_{P2,prov,k}$  – charakteristické

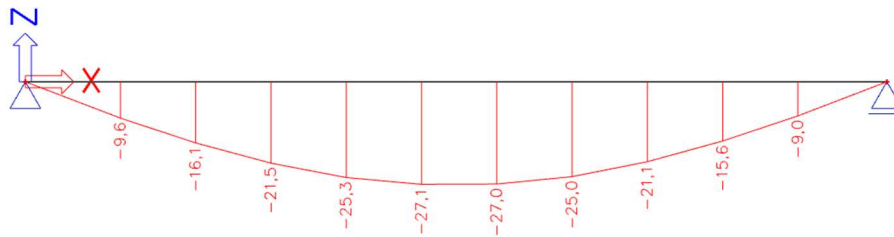


Obr. 37

$$\delta_2 = 11,9 \text{ mm} < \delta_{2,lim} = 21,075 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

$g_{P2,k} + P_{S2,k}$  (akce stropnic dle obr. 29) +  $g_{P2,prov,k} + q_{P2,prov,k}$  – charakteristické





Obr. 38

$$\delta_{\max} = 27,1 \text{ mm} < \delta_{\max, \text{lim}} = 28 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

### **IPE 360 V PROVOZNÍM STAVU VYHOVUJE**

## 5.3 Průvlak P3

Průvlak P3 podobně ostatním bude navržen jako prostý nosník. V montážním stavu bude podepřen dostatečně pro uvažování plného podepření a přenášení veškerého zatížení spráženým průřezem. Do míst sloupů se vloží buď dřevěná lišta k přerušení nebo kari síť pro zabránění trhlin v desce.

### 5.3.1 Návrh průvlaku

#### **NÁVRH IPE 220**

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro ohyb 1.

$$g_{S2,k} = 0,262 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 2,772 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 252000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 285400 \text{ mm}^3$$

$$A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$$

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

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$b = 110 \text{ mm}$$

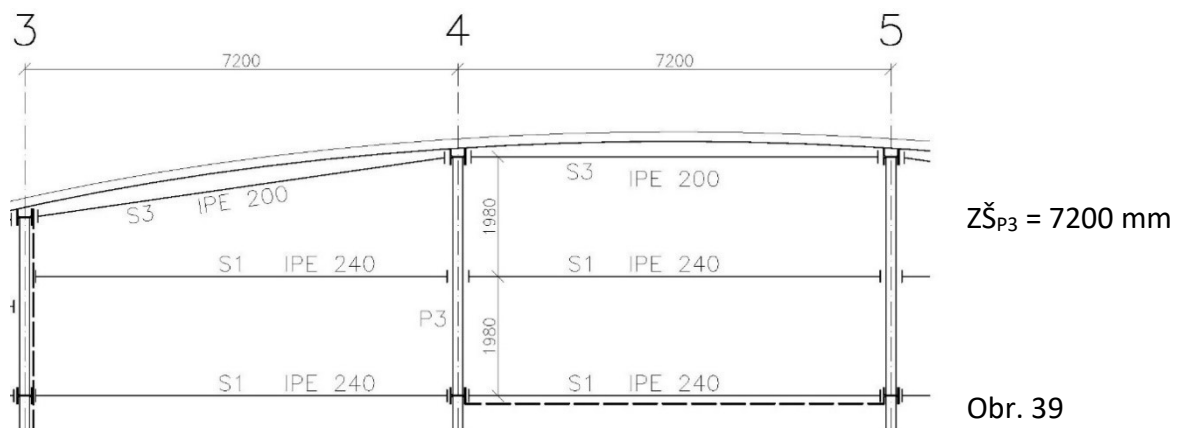
$$t_f = 9,2 \text{ mm}$$

### 5.3.2 Provozní stav

- Provozní zatížení průvlaku

Průvlak P3 bude zatížen vlastní tíhou a akcemi stropnic působících uprostřed rozpětí dle obrázku 40. Stropnice na linii sloupů a obvodu budovy jsou připojeny přímo na pásnice

sloupů, tím pádem nezatěžují průvlak. Reakce krajní stropnice S1 je potřeba přepočítat z důvodu odlišné zatěžovací šířky (od vnitřní stropnice S1 navržené v kapitole 4.1). Bezpečně budeme uvažovat stejné zatížení od obou stropnic zatěžujících průvlak.



#### - Zatížení krajní stropnice S1

Bude použito obdobné provozní zatížení jako u vnitřní stropnice S1 – viz kapitola 4.1.4.

$$Z\check{S}_{S1} = 1980 \text{ mm}$$

#### Stálé zatížení

- Vlastní tíha stropnice

$$g_{S1,k} = 0,307 \text{ kN/m}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,ryb} = 104,519 \text{ mm}$$

$$g_{\check{z}b,k} = 25 \text{ kN/m}^3 ; g_{S1,\check{z}b,k} = 25 \cdot \left(\frac{104,519}{1000}\right) \cdot \left(\frac{1980}{1000}\right) = 5,174 \text{ kN/m}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapezového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$g_{S1,TR,k} = 0,077 \cdot \left(\frac{1980}{1000}\right) = 0,152 \text{ kN/m}.$$

- Podlaha

$$g_{p,k} = 1,774 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S1,p,k} = 1,774 \cdot \left(\frac{1980}{1000}\right) = 3,513 \text{ kN/m}$$

- Zařízení TZB

$$g_{tzb,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S1,tzb,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{1980}{1000}\right) = 0,990 \text{ kN/m}$$

- Podhled

$$g_{knauf,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S1,knauf,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{1980}{1000}\right) = 0,990 \text{ kN/m}$$

- Stálé zatížení celkem

$$g_{S1,prov,k} = 0,307 + 5,174 + 0,152 + 3,513 + 0,990 + 0,990 = 11,126 \text{ kN/m}$$

$g_{S1,prov,k}$ [kN/m]	$\gamma_G$ [-]	$g_{S1,prov,d}$ [kN/m]
11,126	1,35	15,020

Tab. 43 – stálé zatížení krajní stropnice S1 v provozním stavu

*Proměnné zatížení*

- Příčky

$$q_{příčka,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{S1,příčka,k} = 0,5 \cdot \left(\frac{1980}{1000}\right) = 0,990 \text{ kN/m}$$

- Užité zatížení

$$q_{užitné,k} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{S1,užitné,k} = 5,0 \cdot \left(\frac{1980}{1000}\right) = 9,9 \text{ kN/m}$$

$$q_{S1,prov,k} = 0,990 + 9,9 = 10,890 \text{ kN/m}$$

$q_{S1,prov,k}$ [kN/m]	$\gamma_Q$ [-]	$q_{S1,prov,d}$ [kN/m]
10,890	1,50	16,335

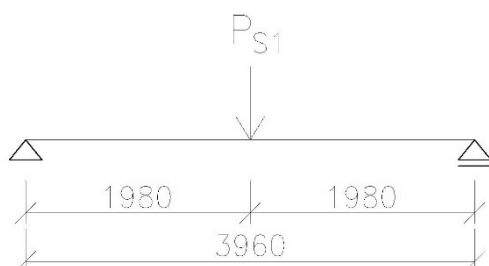
Tab. 44 – proměnné zatížení krajní stropnice S1 v provozním stavu

- Vlastní tíha průvlaku

$$g_{P3,k} = 0,262 \text{ kN/m}$$

$$g_{P3,d} = g_{P3,k} \gamma_G = 0,262 \cdot 1,35 = 0,354 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Akce stropnic

Rozpětí průvlaku  $L = 3960 \text{ mm} = 3,96 \text{ m}$ 

Obr. 40

Jako v předchozích kapitolách spočítáme redukční součinitel  $\alpha_A$  pro užité zatížení.

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \text{ – kde referenční plocha } A_0 = 10 \text{ m}^2$$

Kombinační součinitel  $\psi_0 = 0,7$  – dle užitého zatížení kategorie D (konzervativně zatížení typu "sklad").

$$\text{Zatížena plocha } A = 1,98 \cdot 7,2 = 14,256 \text{ m}^2$$

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{14,256} = 1,201 > 1,0 \rightarrow \text{nedochází k redukci užitého zatížení}$$

$$P_{S1,k} = 2 \cdot \frac{1}{2} (g_{S1,prov,k} + q_{S1,prov,k}) L_{S1} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (11,126 + 10,890) \cdot 7,2 = 158,513 \text{ kN}$$

$$P_{S1,d} = 2 \cdot \frac{1}{2} (g_{S1,prov,d} + q_{S1,prov,d}) L_{S1} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (15,020 + 16,335) \cdot 7,2 = 225,754 \text{ kN}$$

Charakteristická hodnota břemena  $P_{S1}$  – pouze proměnné zatížení:

$$P_{S1,q,k} = 2 \cdot \frac{1}{2} q_{S1,prov,k} L_{S1} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10,890 \cdot 7,2 = 78,408 \text{ kN}$$

- Vnitřní síly průvluaku

- Posouvající síla v podpoře průvluaku

$$V_{Ed} = R_{Ed} = \frac{1}{2} (g_{P3,d} L + P_{S1,d}) = \frac{1}{2} \cdot (0,354 \cdot 3,96 + 225,754) = 113,577 \text{ kN}$$

$$V_{Ek} = R_{Ek} = \frac{1}{2} (g_{P3,k} L + P_{S1,k}) = \frac{1}{2} \cdot (0,262 \cdot 3,96 + 158,513) = 79,775 \text{ kN}$$

- Ohybový moment

$$M_{Ed} = R_{Ed} \frac{L}{2} - g_{P3,d} \frac{L^2}{8} = 113,577 \cdot \frac{3,96}{2} - 0,354 \cdot \frac{3,96^2}{8} = 224,189 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek} = R_{Ek} \frac{L}{2} - g_{P3,k} \frac{L^2}{8} = 79,775 \cdot \frac{3,96}{2} - 0,262 \cdot \frac{3,96^2}{8} = 157,441 \text{ kNm}$$

- Posouzení v provozním stavu

- MSÚ smyk

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \left( \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right) = 1588 \cdot \left( \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \right) = 325\,475 \text{ N} = 325,475 \text{ kN}$$

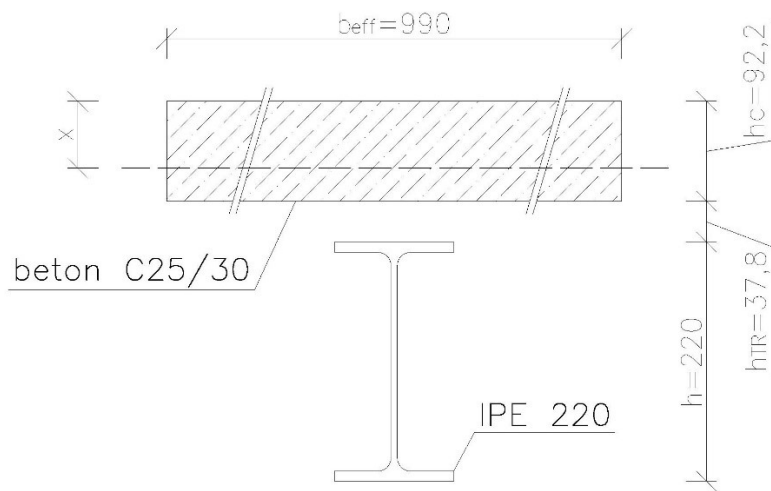
$$V_{pl,Rd} = 325,475 \text{ kN} > V_{Ed} = 113,577 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, jedná se o malý smyk}$$

- MSÚ prostý ohyb

Tlačená pásnice průvluaku je držena v provozním stavu ŽB deskou po celé délce. Proto je posouzen prostý ohyb s malým smykem bez ztráty příčné a torzní stability. Smyk neovlivňuje momentovou únosnost.

Stanovíme spolupůsobící šířku desky. Pro prosté vnitřní nosníky ve stejné vzdálenosti platí:

$$b_{eff} = \min \left( \frac{L}{4} ; Z\check{S} \right) = \min \left( \frac{3960}{4} ; 7200 \right) = \min(990 ; 7200) = 990 \text{ mm}$$



Pro výpočet momentu únosnosti spřaženého průřezu beton v žebrech trapézového plechu se neuvažuje. Beton v tahu se zanedbává.

beton C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 30500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

Obr. 41

$$E_c = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30500}{2} = 15250 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E}{E_c} = \frac{210000}{15250} = 13,77 \text{ (použije se pro MSP)}$$

$h_{TR} = 37,8 \text{ mm}$  – výška TR plechu

$h_c = 92,2 \text{ mm}$  – výška ŽB desky bez betonu v žebrech TR plechu

Pro MSÚ je potřeba stanovit polohu plastické neutrální osy. Předpoklad – n.o. je v betonové desce – viz obr. 41.

$$x = \frac{A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}}{0,85 b_{eff} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{3337 \cdot \frac{355}{1,0}}{0,85 \cdot 990 \cdot \frac{25}{1,5}} = 84,466 \text{ mm}$$

$x = 84,466 \text{ mm} < h_c = 92,2 \text{ mm} \rightarrow$  předpoklad je splněn

$$M_{pl,Rd} = A \left( \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{h}{2} + h_{TR} + h_c - \frac{x}{2} \right)$$

$$M_{pl,Rd} = \left( 3337 \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \cdot \left( \frac{220}{2} + 37,8 + 92,2 - \frac{84,466}{2} \right) \right) \cdot 10^{-6} = 234,282 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 234,282 \text{ kNm} > M_{Ed} = 224,189 \text{ kNm} \rightarrow \text{OK, využití } 95,7 \%$$

- Návrh spřažení

Dále bude navrženo spřažení pomocí trnů. Pevnost materiálu trnů:

$$f_{uk} = 340 \text{ MPa} \qquad \gamma_V = 1,3$$

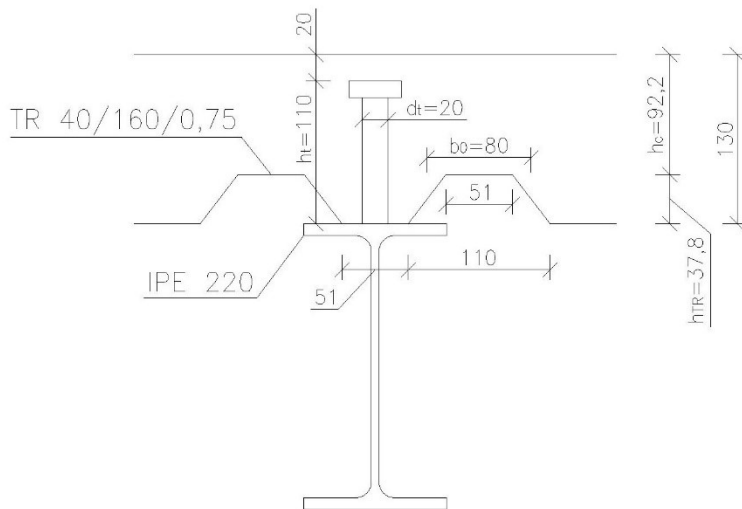
$$b_0 = 80 \text{ mm}$$

**NÁVRH: SPŘAHOVACÍ TRNY 20 X 110 MM**

$$d_t = 20 \text{ mm}$$

$$h_t = 110 \text{ mm}$$

$N_r = 1$  – počet řad trnů v žeburu TR plechu přivařených k horní pásnici stropnice.



V okolí průvlaků budou kromě trapézových plechů použity doplňkové plechy, které zajistí dostatečnou šířku betonové desky v okolí trnů. Pro nepravděpodobný případ podle obr. 42 (vlna plechu nad průvlakem bez doplňkových plechů) bude nejmenší šířka betonové desky ve vlně  $b_0 = 80$  mm.

Obr. 42

$$k_l = 0,6 \frac{b_0}{h_{TR}} \frac{h_t - h_{TR}}{h_{TR}} = 0,6 \cdot \frac{80}{37,8} \cdot \frac{110 - 37,8}{37,8} = 2,425$$

$k_t = 2,425 > 1 \rightarrow$  nedochází k redukci únosnosti trnu

Stanovíme únosnost jednoho trnu:

$$\frac{h_t}{d_t} = \frac{110}{20} = 5,5 > 4 \rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{Rk,1} = 0,8 f_{uk} \frac{\pi d_t^2}{4} = 0,8 \cdot 340 \cdot \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 85\,451 \text{ N} = 85,451 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \alpha d_t^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} = 0,29 \cdot 1 \cdot 20^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 30500} = 101\,293 \text{ N} = 101,293 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min(P_{Rk,1}; P_{Rk,2}) = \min(85,451; 101,293) = 85,451 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} = \frac{85,451}{1,3} = 65,732 \text{ kN}$$

Podélná smyková síla na polovině nosníku – mezi maximálním ohybovým momentem a podporou:

$$F_{cf} = N_c = N_a = A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left( 3337 \cdot \frac{355}{1,0} \right) / 1000 = 1184,635 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině rozpětí nosníku pro úplné smykové spojení:

$$N_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1184,635}{65,732} = 18 \text{ trnů}$$

Minimální vzdálenost trnů na nosníku při splnění plného spřažení a  $N_r = 1$ :

$$L_t = \frac{L}{N_f} = \frac{3960}{18} = 110 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh vzdálenosti trnů } L_t = 110 \text{ mm}$$

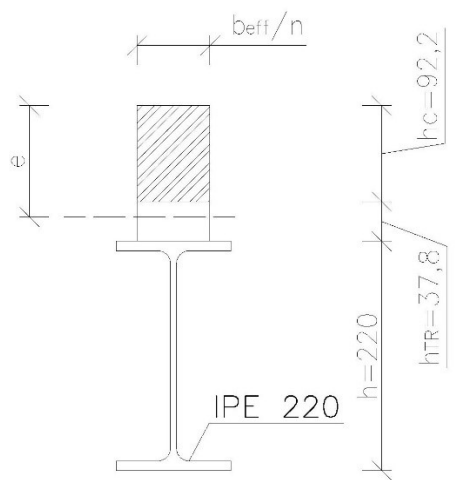
Konstrukční zásady – minimální rozteč trnů:

$$L_{t,\min} = 5d_t = 5 \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$

$$L_t = 110 \text{ mm} > L_{t,\min} = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{OK, úplné spažení}$$

- Kontrola pružného stavu v provozním stádiu

Stanovíme polohu těžištvé osy ideálního průřezu od horního okraje desky (tj. pružné neutrální osy):



$$e = \frac{A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} \right) + \frac{1}{n} \frac{h_c^2}{2} b_{\text{eff}}}{A + \frac{1}{n} h_c b_{\text{eff}}} =$$

$$= \frac{3337 \cdot \left( \frac{220}{2} + 92,2 + 37,8 \right) + \frac{1}{13,77} \cdot \frac{92,2^2}{2} \cdot 990}{3337 + \frac{1}{13,77} \cdot 92,2 \cdot 990}$$

$$e = 111,028 \text{ mm}$$

Obr. 43

$$I_i = I_y + A \left( \frac{h}{2} + h_c + h_{TR} - e \right)^2 + \frac{1}{n} \left[ \frac{1}{12} b_{\text{eff}} h_c^3 + h_c b_{\text{eff}} \left( e - \frac{h_c}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_i = 2,772 \cdot 10^7 + 3337 \cdot \left( \frac{220}{2} + 92,2 + 37,8 - 111,028 \right)^2 +$$

$$+ \frac{1}{13,77} \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 990 \cdot 92,2^3 + 92,2 \cdot 990 \cdot \left( 111,028 - \frac{92,2}{2} \right)^2 \right] = 1,159 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{a,k} = \frac{M_{Ek}}{I_i} (h + h_c + h_{TR} - e) = \frac{157,441 \cdot 10^6}{1,159 \cdot 10^8} (220 + 92,2 + 37,8 - 111,028)$$

$$\sigma_{a,k} = 324,720 \text{ MPa} < f_{yk} = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 91,5 \%$$

$$\sigma_{c,k} = \frac{1}{n} \frac{M_{Ek}}{I_i} e = \frac{1}{13,77} \cdot \frac{157,441 \cdot 10^6}{1,159 \cdot 10^8} \cdot 111,028 = 10,956 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,k} = 10,956 \text{ MPa} < 0,85 f_{ck} = 21,25 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 51,6 \%$$

### PRŮVLAK P3 IPE 220 JE V PRUŽNÉM STAVU

- MSP – průhyb průvlaku v provozním stavu

Investor vyžaduje omezení průhybů a kmitání podle ČSN EN 1993-1-1, tj.:

1) Průhyb od proměnného zatížení v provozním stavu:

$$\delta_2 \leq \delta_{2,\text{lim}} = \frac{L}{400} = \frac{3960}{400} = 9,9 \text{ mm}$$

2) Omezení dynamických účinků (první vlastní frekvence):

$$f_1 \geq 3 \text{ Hz}$$

To mu odpovídá přibližně omezení svislého průhybu od celkového zatížení (stálého a proměnného):

$$\delta_{\text{max,lim}} = 28 \text{ mm}$$

Odtud:

$$\delta_2 = \frac{P_{S1,q,k}L^3}{48EI_i} = \frac{78,408 \cdot 1000 \cdot 3960^3}{648 \cdot 210000 \cdot 1,159 \cdot 10^8} = 4,169 \text{ mm} < \delta_{2,\text{lim}} = 9,9 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{P_{S1,k}L^3}{48EI_i} + \frac{5g_{P3,k}L^4}{384EI_i}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{158,513 \cdot 1000 \cdot 3960^3}{648 \cdot 210000 \cdot 1,159 \cdot 10^8} + \frac{5 \cdot 0,262 \cdot 3960^4}{384 \cdot 210000 \cdot 1,159 \cdot 10^8} = 8,463 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{max}} = 8,463 \text{ mm} < \delta_{\text{max,lim}} = 28 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

### **IPE 220 V PROVOZNÍM STAVU VYHOVUJE**

## 5.4 Průvlak – závěr

Ve výše uvedených částech kapitoly 5 byly navrženy a posouzeny průvlaky P1, P2 a P3. Průvlaky se liší dle rozpětí, profilu a roztečí spřahovacích trnů. Návrh byl proveden pro zatížení typického podlaží a montáž s podepřením během betonáže. Profily ostatních průvlaků jsou stanoveny odhadem – viz výkres půdorysu typického podlaží. Podobně stropnicím v konstrukci střechy bezpečně použijeme stejné profily průvlaků, jako u typického podlaží. Vzhledem k tomu, že zatížení nepochůzně střechy je výrazně menší (viz kapitola 2), profily rovněž vyhoví.

## 6 Svislá konstrukce

### 6.1 Sloupy C1 a C2

Konstrukční výška podlaží  $h_{kv} = 3600 \text{ mm}$ .

- Materiál

Ocel S355,  $t \leq 40 \text{ mm}$ .

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{uk} = 510 \text{ MPa}$$



$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

### 6.1.1 Sloup C1

V dané kapitole bude navržen a posouzen sloup C1, poloha – viz půdorys typického podlaží. Sloup se nachází mimo ztužení a není jím ovlivněn. Stanovíme zatěžovací plochu sloupu pro výpočet zatížení – viz obr. 44.

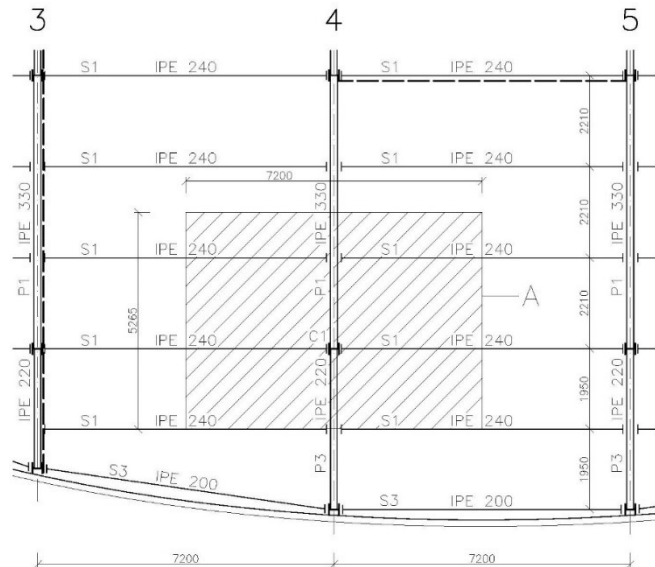
$$a = 7,2 \text{ m}$$

$$b = 5,265 \text{ m}$$

$$A = a \cdot b = 7,2 \cdot 5,265$$

$$A = 37,908 \text{ m}^2$$

Obr. 44



Všechny sloupy budovy mají montážní styk nad podlahou 4. podlaží. Pro návrh se tedy uvažuje horní část sloupů (s celkovou délkou cca 10,2 m) a dolní část sloupů s patním plechem (s celkovou délkou cca 11,4 m).

#### 6.1.1.1 Provozní zatížení sloupu

- Zatížení sloupu C1 od typického podlaží

Bude použito zatížení místnosti typu „sklad“ stanovené v kapitole 2.1.2.

#### Stálé zatížení

- Vlastní tíha stropnice S1 navržené v kapitole 4.1

$$g_{S1,k} = 0,307 \text{ kN/m}$$

Akce stropnice S1 na průvlak:

$$P_{S1,k} = \frac{1}{2} g_{S1,k} L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot 0,307 \cdot 7,2 = 1,105 \text{ kN}$$

Zatížení vlastní tíhou stropnic připadající na sloup C1:

$$G_{S1,k} = 2P_{S1,k} + 2P_{S1,k} + P_{S1,k} = 2 \cdot 1,105 + 2 \cdot 1,105 + 1,105 = 5,526 \text{ kN}$$

- Vlastní tíha průvlaků P1 a P3 navržených v kapitolách 5.1 a 5.3

$$g_{P1,k} = 0,491 \text{ kN/m}$$

$$g_{P3,k} = 0,262 \text{ kN/m}$$

Zatížení vlastní tíhou průvlaků připadající na sloup C1:

$$G_{P,k} = \frac{1}{2} g_{P1,k} L_{P1} + \frac{1}{2} g_{P3,k} L_{P3} = \frac{1}{2} \cdot 0,491 \cdot 6,63 + \frac{1}{2} \cdot 0,262 \cdot 3,96 = 2,139 \text{ kN}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,ryb} = 123,948 \text{ mm} - \text{dle kapitoly 4.1.4}$$

$$g_{zb,k} = 25 \text{ kN/m}^3; G_{zb,k} = g_{zb,k} h_{sr,ryb} A = 25 \cdot \frac{123,948}{1000} \cdot 37,908 = 117,466 \text{ kN}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapézového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$G_{TR,k} = g_{TR,k} A = 0,077 \cdot 37,908 = 2,919 \text{ kN.}$$

- Podlaha

$$g_{p,k} = 1,774 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{p,k} = g_{p,k} A = 1,774 \cdot 37,908 = 67,249 \text{ kN}$$

- Zařízení TZB

$$g_{tzb,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{tzb,k} = g_{tzb,k} A = 0,5 \cdot 37,908 = 18,954 \text{ kN}$$

- Podhled

$$g_{knauf,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{knauf,k} = g_{knauf,k} A = 0,5 \cdot 37,908 = 18,954 \text{ kN}$$

- Stálé zatížení celkem

$$G_{C1,patro,k} = 5,526 + 2,139 + 117,466 + 2,919 + 67,249 + 18,954 + 18,954$$

$$G_{C1,patro,k} = 233,206 \text{ kN}$$

### *Proměnné zatížení*

- Příčky

$$q_{příčka,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{příčka,k} = q_{příčka,k} A = 0,5 \cdot 37,908 = 18,954 \text{ kN}$$

- Užité zatížení

$$q_{užitné,k} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{užitné},k} = q_{\text{užitné},k}A = 5 \cdot 37,908 = 189,54 \text{ kN}$$

- Proměnné zatížení celkem

$$Q_{C1,\text{patro},k} = 18,954 + 189,54 = 208,494 \text{ kN}$$

- Zatížení sloupu C1 od nepochůzných střechy

Výpočet zatížení působících na nepochůznou střechu byl proveden v kapitole č. 2.1.5.

### *Stálé zatížení*

Zatížení na sloup od stropnic, průvlaků, ŽB desky, trapézového plechu, TZB a podhledu jsou stejná, jako u běžného podlaží.

- Střešní plášť

$$g_{\text{sp},k} = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{\text{sp},k} = g_{\text{sp},k}A = 0,76 \cdot 37,908 = 28,810 \text{ kN}$$

- Stálé zatížení celkem

$$G_{C1,\text{st},k} = 5,526 + 2,139 + 117,466 + 2,919 + 28,810 + 18,954 + 18,954$$

$$G_{C1,\text{st},k} = 194,767 \text{ kN}$$

### *Proměnné zatížení*

Dle kapitoly 2.1.5. bylo stanoveno následovně:

$q_{\text{střecha},k} = 0,75 \text{ kN/m}^2$  (užitné zatížení rozhoduje, bezpečně uvažujeme působení na celé zatěžovací ploše sloupu)

$$Q_{C1,\text{st},k} = q_{\text{střecha},k}A = 0,75 \cdot 37,908 = 28,431 \text{ kN}$$

## 6.1.1.2 Návrh a posouzení horní části sloupu

### **NÁVRH HEB 200**

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak 1.

$$g_{C1,h,k} = 0,613 \text{ kN/m}$$

$$i_y = 85,4 \text{ mm}$$

$$i_z = 50,6 \text{ mm}$$

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

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

$$A_{\text{HEB}} = 7808 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 15 \text{ mm}$$

- Zatížení horní části sloupu

Zde spočítáme celkové zatížení působící v základu horní části sloupu C1. Do horní části vstupuje zatížení střechy, 2 typických podlaží ( $n = 2$ ) a vlastní tíhy příslušného dílu sloupu.

Délka horní části sloupu  $h_{C1,h} = 10,22$  m.

### *Stálé zatížení*

$$G_{C1,h,k} = g_{C1,h,k}h_{C1,h} + nG_{C1,patro,k} + G_{C1,st,k}$$

$$G_{C1,h,k} = 0,613 \cdot 10,22 + 2 \cdot 233,206 + 194,767 = 667,444 \text{ kN}$$

$$G_{C1,h,d} = G_{C1,h,k}\gamma_G = 667,444 \cdot 1,35 = 901,049 \text{ kN}$$

### *Proměnné zatížení*

$$Q_{C1,h,k} = nQ_{C1,patro,k} + Q_{C1,st,k} = 2 \cdot 208,494 + 28,431 = 445,419 \text{ kN}$$

$$Q_{C1,h,d} = Q_{C1,h,k}\gamma_Q = 445,419 \cdot 1,5 = 668,129 \text{ kN}$$

### *Celkové zatížení*

$$N_{C1,h,k} = G_{C1,h,k} + Q_{C1,h,k} = 667,444 + 445,419 = 1112,863 \text{ kN}$$

$$N_{C1,h,d} = G_{C1,h,d} + Q_{C1,h,d} = 901,049 + 668,129 = 1569,177 \text{ kN}$$

- Posouzení horní části sloupu

- Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{cr,y} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3600}{85,4} = 42,155$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{42,155}{76,399} = 0,552$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 200/200 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 15 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose y  $\rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti b.

Odtud  $\chi_y = 0,86$

- Součinitel vzpěrnosti k ose z

$$L_{cr,z} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3600}{50,6} = 71,146$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{71,146}{76,399} = 0,931$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 200/200 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 15 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose z  $\rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti c.

Odtud  $\chi_z = 0,582$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,86 ; 0,582) = 0,582$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,582 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 1613,211 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 1613,211 \text{ kN} > N_{C1,h,d} = 1569,177 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 97,3 \%$$

### **HEB 200 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

#### 6.1.1.3 Návrh a posouzení spodní části sloupu

##### **NÁVRH HEB 280**

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak a ohyb 1.

$$g_{C1,d,k} = 1,031 \text{ kN/m}$$

$$i_y = 121,1 \text{ mm}$$

$$i_z = 70,8 \text{ mm}$$

$$h = 280 \text{ mm}$$

$$b = 280 \text{ mm}$$

$$A_{HEB} = 13140 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 18 \text{ mm}$$

$$I_w = 1,13 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$I_t = 1,437 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 6,595 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 1,534 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

- Zatížení spodní části sloupu

Zde spočítáme celkové zatížení působící v základu spodní části sloupu C1 (v základu celé budovy). Do spodní části vstupuje zatížení střechy, 5 typických podlaží ( $n = 5$ ) a vlastní tíhy

celého sloupu. Navíc pro užité zatížení běžných podlaží se použije redukční součinitel  $\alpha_n$ , které zohledňuje sníženou pravděpodobnost výskytu užitého zatížení v plné výši současně ve všech běžných podlažích vícepodlažní budovy.

Délka horní části sloupu  $h_{C1,h} = 10,22$  m.

Délka spodní části sloupu  $h_{C1,d} = 11,43$  m.

### Stálé zatížení

$$G_{C1,d,k} = g_{C1,h,k}h_{C1,h} + g_{C1,d,k}h_{C1,d} + nG_{C1,patro,k} + G_{C1,st,k}$$

$$G_{C1,d,k} = 0,613 \cdot 10,22 + 1,031 \cdot 11,43 + 5 \cdot 233,206 + 194,767 = 1378,845 \text{ kN}$$

$$G_{C1,d,d} = G_{C1,d,k}\gamma_G = 1378,845 \cdot 1,35 = 1861,441 \text{ kN}$$

### Proměnné zatížení

Spočítáme redukční součinitel  $\alpha_n$  pro užité zatížení.

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2)\psi_0}{n} \text{ -- kde } n \text{ je počet běžných podlaží}$$

Kombinační součinitel  $\psi_0 = 0,7$  – dle užitého zatížení kategorie D (konzervativně zatížení typu "sklad").

$$\alpha_n = \frac{2 + (5 - 2) \cdot 0,7}{5} = 0,82$$

$$Q_{C1,d,k} = n(Q_{příčka,k} + \alpha_n Q_{užité,k}) + Q_{C1,st,k}$$

$$Q_{C1,d,k} = 5 \cdot (18,954 + 189,54 \cdot 0,82) + 28,431 = 900,315 \text{ kN}$$

$$Q_{C1,d,d} = Q_{C1,d,k}\gamma_Q = 900,315 \cdot 1,5 = 1350,473 \text{ kN}$$

### Celkové zatížení

$$N_{C1,d,k} = G_{C1,d,k} + Q_{C1,d,k} = 1378,845 + 900,315 = 2279,160 \text{ kN}$$

$$N_{C1,d,d} = G_{C1,d,d} + Q_{C1,d,d} = 1861,441 + 1350,473 = 3211,914 \text{ kN}$$

- Posouzení spodní části sloupu
  - Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{cr,y} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3600}{121,1} = 29,727$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{29,727}{76,399} = 0,389$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 280/280 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 18 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose  $y \rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti b.

$$\text{Odtud } \chi_y = 0,93$$

- Součinitel vzpěrnosti k ose  $z$

$$L_{cr,z} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3600}{70,8} = 50,847$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{50,847}{76,399} = 0,666$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 280/280 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 18 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose  $z \rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti c.

$$\text{Odtud } \chi_z = 0,746$$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,93 ; 0,746) = 0,746$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,746 \cdot 13140 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 3479,866 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 3479,866 \text{ kN} > N_{C1,d,d} = 3211,914 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 92,3 \%$$

### **HEB 280 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

- Moment od excentricity připojení stropnice S1

V dané kapitole posoudíme sloup na kombinaci tlaku a ohybu (s uvážením klopení) od excentricity připojené stropnice. Moment vzniká od reakce proměnného zatížení připojeného nosníku na excentricitě k ose sloupu (případ kdy proměnné zatížení je pouze na jedné straně sloupu). Excentricita připojení stropnice je polovina výšky průřezu sloupu. Průvlak je připojen na měkkou osu sloupu, excentricita reakce průvlaku je pouze polovina tloušťky stojiny – moment lze zanedbat. Předpokládáme, že v patře vzniklý moment se rozdělí na horní a dolní sloup, proto uvažujeme polovinu tohoto momentu.

$$Q_{S1,patro,d} = \left[ \left( (q_{příčka,k} + q_{užitné,k}) \left( \frac{2,21}{2} + \frac{1,95}{2} \right) \frac{7,2}{2} \right) \right] \gamma_Q$$

$$Q_{S1,patro,d} = \left[ \left( (0,5 + 5,0) \cdot \left( \frac{2,21}{2} + \frac{1,95}{2} \right) \cdot \frac{7,2}{2} \right) \right] \cdot 1,5 = 61,776 \text{ kN}$$

$$M_{Q,S1,patro,d} = 0,5 Q_{S1,patro,d} \frac{h}{2} = 0,5 \cdot 61,776 \cdot \frac{0,28}{2} = 4,324 \text{ kNm}$$

$k_w = 1,0$  – volná deplanace průřezu

$$L_{LT} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$k_z = 1,0$  – okrajové podmínky uložení v ohybu – kloubové uložení obou konců sloupu

Podle tabulky NB 3.1 ČSN EN 1993-1-1 stanovíme hodnoty součinitelů  $C_{1,1}$  a  $C_{1,0}$  (uvažuje se obdélníkový tvar momentového obrazce, odpovídající reakcím stropnic z opačných stran sloupu v jednotlivých patrech,  $\psi = 1$ ).

$$C_{1,1} = C_{1,0} = 1,0$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L_{LT}} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 3600} \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,13 \cdot 10^{12}}{81000 \cdot 1,437 \cdot 10^6}} = 1,246$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) k_{wt} = 1,0 + (1,0 - 1,0) \cdot 1,246 = 1,0$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,0}{1,0} \sqrt{1 + 1,246^2} = 1,598$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{LT}} = \left( 1,598 \cdot \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 6,595 \cdot 10^7 \cdot 81000 \cdot 1,437 \cdot 10^6}}{3600} \right) / 10^6$$

$$M_{cr} = 1770,207 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,534 \cdot 10^6 \cdot 355}{1770,207 \cdot 10^6}} = 0,555$$

Stanovíme křivku klopení:

Válcovaný průřez,

$$h/b = 280/280 = 1 < 2 \rightarrow \text{křivka klopení a}$$

$$\text{Z toho } \chi_{LT} = 0,907$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1 = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{C1,d,d}}{\chi_y A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{C1,d,d}}{\chi_y A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + (0,389 - 0,2) \frac{3211,914 \cdot 10^3}{0,93 \cdot 13140 \cdot \frac{355}{1,0}} \right) \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,8 \frac{3211,914 \cdot 10^3}{0,93 \cdot 13140 \cdot \frac{355}{1,0}} \right)$$



$$k_{yy} = 1,14 < 1,59 \rightarrow k_{yy} = 1,14$$

Pro  $\bar{\lambda}_z = 0,666 > 0,4$  platí

$$k_{zy} = \left( 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{C1,d,d}}{\chi_z A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{C1,d,d}}{\chi_z A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zy} = \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 0,666}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{3211,914 \cdot 10^3}{0,746 \cdot 13140 \cdot \frac{355}{1,0}} \right) \geq$$

$$\geq \left( 1 - \frac{0,1}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{3211,914 \cdot 10^3}{0,746 \cdot 13140 \cdot \frac{355}{1,0}} \right)$$

$$k_{zy} = 0,918 > 0,877 \rightarrow k_{zy} = 0,918$$

Podle ČSN EN 1993-1-1 se interakce posuzuje podle následujících dvou vztahů:

$$\frac{N_{C1,d,d}}{\chi_y A_{HEB} f_{yk}} + k_{yy} \frac{M_{Q,S1,patro,d}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_{yk}} \leq 1,0$$

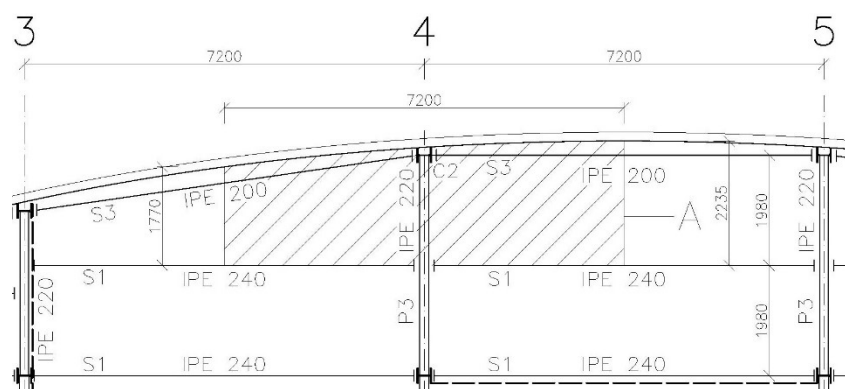
$$\frac{N_{C1,d,d}}{\chi_z A_{HEB} f_{yk}} + k_{zy} \frac{M_{Q,S1,patro,d}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_{yk}} \leq 1,0$$

$$\frac{3211,914 \cdot 10^3}{0,93 \cdot 13140 \cdot \frac{355}{1,0}} + 1,14 \cdot \frac{4,324 \cdot 10^6}{0,907 \cdot 1,534 \cdot 10^6 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,75 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{3211,914 \cdot 10^3}{0,746 \cdot 13140 \cdot \frac{355}{1,0}} + 0,918 \cdot \frac{4,324 \cdot 10^6}{0,907 \cdot 1,534 \cdot 10^6 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,931 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

**HEB 280 VYHOVUJE NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU**

## 6.1.2 Sloup C2



$$A = 14,99 \text{ m}^2$$

$$a = 7,2 \text{ m}$$

Obr. 45

V dané kapitole bude navržen a posouzen sloup C2, poloha – viz půdorys typického podlaží. Sloup se nachází mimo ztužení a není jím ovlivněn. Stanovíme zatěžovací plochu sloupu pro výpočet zatížení – viz obr. 45. Přesná plocha byla stanovena v programu AutoCAD 2018.

### 6.1.2.1 Provozní zatížení sloupu

- Zatížení sloupu C2 od typického podlaží

Bude použito zatížení místnosti typu „sklad“ stanovené v kapitole 2.1.2.

#### *Stálé zatížení*

- Vlastní tíha stropnice S1 navržené v kapitole 4.1 a S3 navržené v kapitole 4.3

$$g_{S1,k} = 0,307 \text{ kN/m}$$

$$g_{S3,k} = 0,224 \text{ kN/m}$$

Akce stropnice S1 na průvlak:

$$P_{S1,k} = \frac{1}{2} g_{S1,k} L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot 0,307 \cdot 7,2 = 1,105 \text{ kN}$$

Akce stropnice S3 na sloup:

$$P_{S3,k} = \frac{1}{2} g_{S3,k} L_{S3} = \frac{1}{2} \cdot 0,224 \cdot 7,2 = 0,806 \text{ kN}$$

Zatížení vlastní tíhou stropnic připadající na sloup C2:

$$G_{S,k} = P_{S1,k} + 2P_{S3,k} = 1,105 + 2 \cdot 0,806 = 2,718 \text{ kN}$$

- Vlastní tíha průvlaků P3 navrženého v kapitole 5.3

$$g_{P3,k} = 0,262 \text{ kN/m}$$

Zatížení vlastní tíhou průvlaku připadající na sloup C2:

$$G_{P,k} = g_{P3,k} \cdot 1,98 = 0,262 \cdot 1,98 = 0,519 \text{ kN}$$

- ŽB stropní deska

$$h_{sr,ryb} = 126,749 \text{ mm} \text{ – dle kapitoly 4.3.5}$$

$$g_{zb,k} = 25 \text{ kN/m}^3 ; G_{zb,k} = g_{zb,k} h_{sr,ryb} A = 25 \cdot \frac{126,749}{1000} \cdot 14,99 = 47,499 \text{ kN}$$

- Trapézový plech

Vlastní tíha trapezového plechu TR 40/160/0,75 navrženého v kapitole 3:

$$g_{TR,k} = 0,077 \text{ kN/m}^2,$$

$$G_{TR,k} = g_{TR,k} A = 0,077 \cdot 14,99 = 1,154 \text{ kN.}$$

- Podlaha

$$g_{p,k} = 1,774 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{p,k} = g_{p,k}A = 1,774 \cdot 14,99 = 26,592 \text{ kN}$$

- Zařízení TZB

$$g_{tzb,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{tzb,k} = g_{tzb,k}A = 0,5 \cdot 14,99 = 7,495 \text{ kN}$$

- Podhled

$$g_{knauf,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{knauf,k} = g_{knauf,k}A = 0,5 \cdot 14,99 = 7,495 \text{ kN}$$

- Obvodový plášť

Zatížení obvodovým pláštěm bylo stanoveno v kapitole 4.3.1. Uvažuje se varianta zasklení izolačním dvojsklem, která je nejtěžší.

$$g_{op1,k} = 2,29 \text{ kN/m}$$

$$G_{op1,k} = g_{op1,k}a = 2,29 \cdot 7,2 = 16,488 \text{ kN}$$

- Stálé zatížení celkem

$$G_{C2,patro,k} = 2,718 + 0,519 + 47,499 + 1,154 + 26,592 + 7,495 + 7,495 + 16,488$$

$$G_{C2,patro,k} = 109,96 \text{ kN}$$

### *Proměnné zatížení*

- Příčky

$$q_{příčka,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{příčka,k} = q_{příčka,k}A = 0,5 \cdot 14,99 = 7,495 \text{ kN}$$

- Užitné zatížení

$$q_{užitné,k} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{užitné,k} = q_{užitné,k}A = 5,0 \cdot 14,99 = 74,95 \text{ kN}$$

- Proměnné zatížení celkem

$$Q_{C2,patro,k} = 7,495 + 74,95 = 82,445 \text{ kN}$$

- Zatížení sloupu C2 od nepochůzná střechy

Výpočet zatížení působících na nepochůznou střechu byl proveden v kapitole č. 2.1.5.

### *Stálé zatížení*

Zatížení na sloup od stropnic, průvlaku, ŽB desky, trapézového plechu, TZB a podhledu jsou stejná, jako u běžného podlaží.

- Střešní plášť

$$g_{sp,k} = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{sp,k} = g_{sp,k}A = 0,76 \cdot 14,99 = 11,392 \text{ kN}$$

- Stálé zatížení celkem

$$G_{C2,st,k} = 2,718 + 0,519 + 47,499 + 1,154 + 11,392 + 7,495 + 7,495$$

$$G_{C2,st,k} = 78,273 \text{ kN}$$

### *Proměnné zatížení*

Dle kapitoly 2.1.5. bylo stanoveno následovně:

$q_{střecha,k} = 0,75 \text{ kN/m}^2$  (užitné zatížení rozhoduje, bezpečně uvažujeme působení na celé zatěžovací ploše sloupu)

$$Q_{C2,st,k} = q_{střecha,k}A = 0,75 \cdot 14,99 = 11,243 \text{ kN}$$

## 6.1.2.2 Návrh a posouzení horní části sloupu

### **NÁVRH HEB 160**

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak 1.

$$g_{C2,h,k} = 0,426 \text{ kN/m}$$

$$i_y = 67,8 \text{ mm}$$

$$i_z = 40,5 \text{ mm}$$

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

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

$$A_{HEB} = 5425 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

- Zatížení horní části sloupu

Zde spočítáme celkové zatížení působící v základu horní části sloupu C2. Do horní části vstupuje zatížení střechy, 2 typických podlaží ( $n = 2$ ) včetně obvodového pláště a vlastní tíhy příslušného dílu sloupu.

Délka horní části sloupu  $h_{C2,h} = 10,22 \text{ m}$ .

### *Stálé zatížení*

$$G_{C2,h,k} = g_{C2,h,k}h_{C2,h} + nG_{C2,patro,k} + G_{C2,st,k}$$

$$G_{C2,h,k} = 0,426 \cdot 10,22 + 2 \cdot 109,96 + 78,273 = 302,547 \text{ kN}$$

$$G_{C2,h,d} = G_{C2,h,k} \gamma_G = 302,547 \cdot 1,35 = 408,439 \text{ kN}$$

### Proměnné zatížení

$$Q_{C2,h,k} = n Q_{C2,patro,k} + Q_{C2,st,k} = 2 \cdot 82,445 + 11,243 = 176,133 \text{ kN}$$

$$Q_{C2,h,d} = Q_{C2,h,k} \gamma_Q = 176,133 \cdot 1,5 = 264,199 \text{ kN}$$

### Celkové zatížení

$$N_{C2,h,k} = G_{C2,h,k} + Q_{C2,h,k} = 302,547 + 176,133 = 478,68 \text{ kN}$$

$$N_{C2,h,d} = G_{C2,h,d} + Q_{C2,h,d} = 408,439 + 264,199 = 672,637 \text{ kN}$$

- Posouzení horní části sloupu
- Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{cr,y} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3600}{67,8} = 53,097$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{53,097}{76,399} = 0,695$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 160/160 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 13 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose y → křivka vzpěrné pevnosti b.

$$\text{Odtud } \chi_y = 0,787$$

- Součinitel vzpěrnosti k ose z

$$L_{cr,z} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3600}{40,5} = 88,889$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{88,889}{76,399} = 1,163$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 160/160 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 13 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose  $z \rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti c.

Odtud  $\chi_z = 0,451$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,787 ; 0,451) = 0,451$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,451 \cdot 5425 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 868,570 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 868,570 \text{ kN} > N_{C2,h,d} = 672,637 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 77,4 \%$$

**HEB 160 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

### 6.1.2.3 Návrh a posouzení spodní části sloupu

#### NÁVRH HEB 200

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak a ohyb 1.

$$g_{C2,d,k} = 0,613 \text{ kN/m}$$

$$i_y = 85,4 \text{ mm}$$

$$i_z = 50,6 \text{ mm}$$

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

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

$$A_{HEB} = 7808 \text{ mm}^2$$

$$t_f = 15 \text{ mm}$$

$$I_w = 1,711 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$$

$$I_t = 5,928 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 2,003 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 6,425 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

- Zatížení spodní části sloupu

Zde spočítáme celkové zatížení působící v základu spodní části sloupu C2 (v základu celé budovy). Do spodní části vstupuje zatížení střechy, 5 typických podlaží ( $n = 5$ ) včetně obvodového pláště a vlastní tíhy celého sloupu. Stejně jako u sloupu C1 se použije redukční součinitel  $\alpha_n$  užitého zatížení.

Délka horní části sloupu  $h_{C2,h} = 10,22 \text{ m}$ .

Délka spodní části sloupu  $h_{C2,d} = 11,43 \text{ m}$ .

#### *Stálé zatížení*

$$G_{C2,d,k} = g_{C2,h,k} h_{C2,h} + g_{C2,d,k} h_{C2,d} + n G_{C2,patro,k} + G_{C2,st,k}$$

$$G_{C2,d,k} = 0,426 \cdot 10,22 + 0,613 \cdot 11,43 + 5 \cdot 109,96 + 78,273 = 639,435 \text{ kN}$$

$$G_{C2,d,d} = G_{C2,d,k} \gamma_G = 639,435 \cdot 1,35 = 863,237 \text{ kN}$$

### Proměnné zatížení

Redukční součinitel  $\alpha_n$  pro užité zatížení je totožný sloupu C1 a byl stanoven v kapitole 6.1.1.3.

$$\alpha_n = 0,82$$

$$Q_{C2,d,k} = n(Q_{příčka,k} + \alpha_n Q_{užitné,k}) + Q_{C2,st,k}$$

$$Q_{C2,d,k} = 5 \cdot (7,495 + 74,95 \cdot 0,82) + 11,243 = 356,013 \text{ kN}$$

$$Q_{C2,d,d} = Q_{C2,d,k} \gamma_Q = 356,013 \cdot 1,5 = 534,019 \text{ kN}$$

### Celkové zatížení

$$N_{C2,d,k} = G_{C2,d,k} + Q_{C2,d,k} = 639,435 + 356,013 = 995,448 \text{ kN}$$

$$N_{C2,d,d} = G_{C2,d,d} + Q_{C2,d,d} = 863,237 + 534,019 = 1397,256 \text{ kN}$$

- Posouzení spodní části sloupu
  - Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{cr,y} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3600}{85,4} = 42,155$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{42,155}{76,399} = 0,552$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 200/200 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 15 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose y  $\rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti b.

Odtud  $\chi_y = 0,86$

- Součinitel vzpěrnosti k ose z

$$L_{cr,z} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3600}{50,6} = 71,146$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{71,146}{76,399} = 0,931$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 200/200 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 15 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose z  $\rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti c.

$$\text{Odtud } \chi_z = 0,582$$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,86 ; 0,582) = 0,582$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,582 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 1613,211 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 1613,211 \text{ kN} > N_{C2,d,d} = 1397,256 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 86,6 \%$$

### HEB 200 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE

- Moment od excentricity připojení stropnice S3

Výpočet bude proveden za stejných podmínek, jako u sloupu C1. Podrobněji je popsáno v kapitole 6.1.1.3.

$$Q_{S3,patro,d} = \left[ \left( (q_{příčka,k} + q_{užitné,k}) \left( 2,235 - \frac{1,98}{2} \right) \frac{7,2}{2} \right) \right] \gamma_Q$$

$$Q_{S3,patro,d} = \left[ \left( (0,5 + 5,0) \cdot \left( 2,235 - \frac{1,98}{2} \right) \cdot \frac{7,2}{2} \right) \right] \cdot 1,5 = 36,977 \text{ kN}$$

$$M_{Q,S3,patro,d} = 0,5 Q_{S3,patro,d} \frac{h}{2} = 0,5 \cdot 36,977 \cdot \frac{0,2}{2} = 1,849 \text{ kNm}$$

$k_w = 1,0$  – volná deplanace průřezu

$$L_{LT} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$k_z = 1,0$  – okrajové podmínky uložení v ohybu – kloubové uložení obou konců sloupu

Podle tabulky NB 3.1 ČSN EN 1993-1-1 stanovíme hodnoty součinitelů  $C_{1,1}$  a  $C_{1,0}$  (uvažuje se obdélníkový tvar momentového obrazce, odpovídající reakcím stropnic z opačných stran sloupu v jednotlivých patrech,  $\psi = 1$ ).

$$C_{1,1} = C_{1,0} = 1,0$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L_{LT}} \sqrt{\frac{EI_w}{G I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 3600} \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,711 \cdot 10^{11}}{81000 \cdot 5,928 \cdot 10^5}} = 0,755$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) k_{wt} = 1,0 + (1,0 - 1,0) \cdot 0,755 = 1,0$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,0}{1,0} \sqrt{1 + 0,755^2} = 1,253$$



$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{LT}} = \left( 1,253 \cdot \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 2,003 \cdot 10^7 \cdot 81000 \cdot 5,928 \cdot 10^5}}{3600} \right) / 10^6$$

$$M_{cr} = 491,389 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{6,425 \cdot 10^5 \cdot 355}{491,389 \cdot 10^6}} = 0,681$$

Stanovíme křivku klopení:

Válcovaný průřez,

$$h/b = 200/200 = 1 < 2 \rightarrow \text{křivka klopení a}$$

$$\text{Z toho } \chi_{LT} = 0,857$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1 = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{C2,d,d}}{\chi_y A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{C2,d,d}}{\chi_y A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + (0,552 - 0,2) \frac{1397,256 \cdot 10^3}{0,86 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}} \right) \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,8 \frac{1397,256 \cdot 10^3}{0,86 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,206 < 1,47 \rightarrow k_{yy} = 1,206$$

Pro  $\bar{\lambda}_z = 0,931 > 0,4$  platí

$$k_{zy} = \left( 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{C2,d,d}}{\chi_z A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{C2,d,d}}{\chi_z A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zy} = \left( 1 - \frac{0,1 \cdot 0,931}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{1397,256 \cdot 10^3}{0,582 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}} \right) \geq$$

$$\geq \left( 1 - \frac{0,1}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{1397,256 \cdot 10^3}{0,582 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}} \right)$$

$$k_{zy} = 0,892 > 0,885 \rightarrow k_{zy} = 0,892$$

Podle ČSN EN 1993-1-1 se interakce posuzuje podle následujících dvou vztahů:

$$\frac{N_{C2,d,d}}{\chi_y A_{HEB} f_{yk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{Q,S3,patro,d}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_{yk} / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{C2,d,d}}{\chi_z A_{HEB} f_{yk}} + k_{zy} \frac{M_{Q,S3,patro,d}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_{yk}} \leq 1,0$$

$$\frac{1397,256 \cdot 10^3}{0,86 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}} + 1,206 \cdot \frac{1,849 \cdot 10^6}{0,857 \cdot 6,425 \cdot 10^5 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,598 < 1,0 \rightarrow \mathbf{OK}$$

$$\frac{1397,256 \cdot 10^3}{0,582 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}} + 0,892 \cdot \frac{1,849 \cdot 10^6}{0,857 \cdot 6,425 \cdot 10^5 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,875 < 1,0 \rightarrow \mathbf{OK}$$

### **HEB 200 VYHOVUJE NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU**

## 6.2 Ztužení

V této kapitole navrhne a posoudíme svislé ztužení budovy. Podle dohody s vedoucím diplomové práce bude podrobně spočítáno příčné ztužení, které je řešeno v dílenské dokumentaci. Podélné ztužení je řešeno pouze v dispozičních výkresech.

### 6.2.1 Zatížení příčným větrem

- Stanovení celkového zatížení příčným větrem

Spočítáme zatížení příčným větrem působícím na obvodový plášť konstrukci. Dané zatížení je přenášeno tuhostí příčného ztužidla a betonového truhlíku schodiště. Zatížení větrem působí na celou plochu konstrukce a je proměnné po výšce budovy. Stropní desky jsou monolitické, tuhé, spřažené s ocelovou konstrukcí. Účinky tlaku větru na návětrné straně a sání na závětrné straně lze sečíst. Pro stanovení zatížení lze zjednodušeně půdorys konstrukce uvažovat jako obdélníkový.

Tlak větru na vnější povrch se stanoví dle následujícího vzorce:

$$w_e = q_p(z) c_{pe}$$

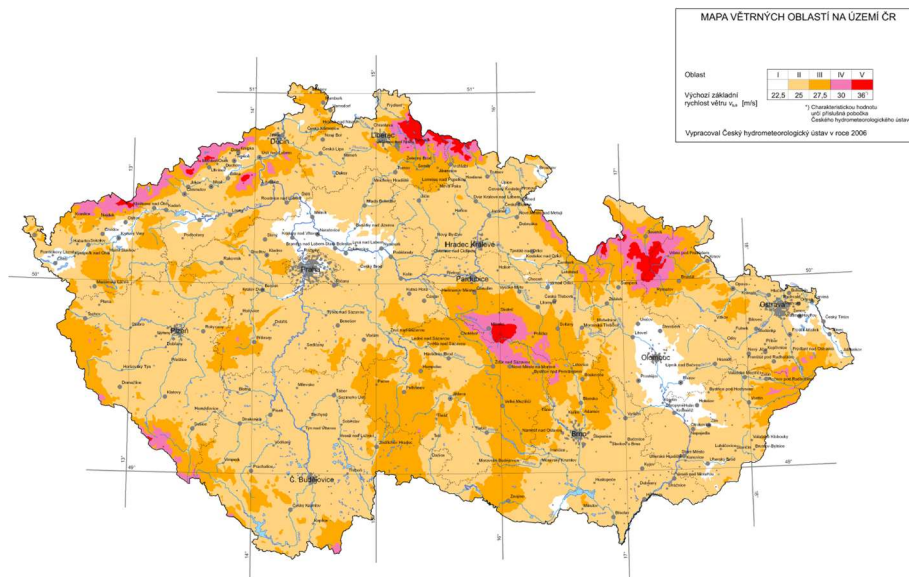
Návětrné plochy budovy jsou větší, než 10 m<sup>2</sup>, proto se použije součinitel vnějšího aerodynamického tlaku  $c_{pe,10}$ .

Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}$$

Součinitel směru větru  $c_{dir}$  a ročního období  $c_{season}$  uvažujeme rovný 1,0.

Výchozí základní rychlost větru  $v_{b,0}$  se získá z mapy větrných oblastí – viz níže. Lokalita stavby – Praha.



$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$  –  
oblast 2

Obr. 46

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

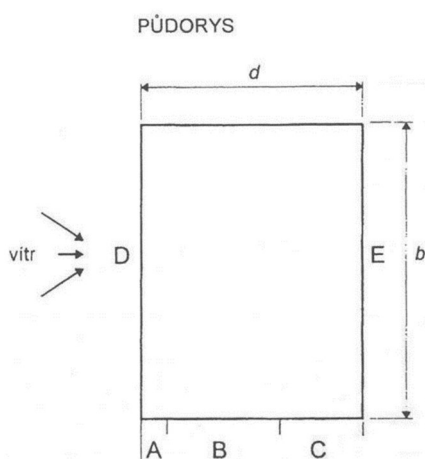
Základní tlak větru se spočítá dle vzorce:

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \rho v_b^2(z), \text{ kde } \rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ – měrná hmotnost vzduchu}$$

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ kg/ms}^2 = 0,391 \text{ kN/m}^2$$

Pro určení součinitele expozice  $c_e(z)$  uvažujeme kategorii terénu 4 – plocha, kde nejméně 15 % povrchu je zastavěno budovami s průměrnou výškou přes 15 m. Následně odečteme z grafu hodnotu pro každé patro zvláště na základě výšky příslušného patra nad terénem. Maximální dynamický tlak se vypočte následovně:

$$q_p(z) = c_e(z) q_b(z)$$



Pro součinitel vnějšího aerodynamického tlaku rozlišujeme plochu zatíženou tlakem a sáním větru.

$$d = 15320 \text{ mm}$$

$$b = 41880 \text{ mm} = 41,88 \text{ m}$$

$$h = 21720 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{21720}{15320} = 1,42$$

Pro tlak se použije oblast D, pro sání oblast E.

Obr. 47

Dle poměru  $h/d$  se odečtou z tabulky součinitele  $c_{pe,10}$ .

$$c_{pe,10} = +0,8 \text{ (oblast D – tlak větru)}$$

$$c_{pe,10} = -0,521 \text{ (oblast E – sání větru)}$$

Vypočítáme sílu od příčného větru pro příslušné patro, zvlášť pro tlak a pro sání.

$$F_w = w_e A_{ref} = q_p(z) c_{pe,10} A_{ref}$$

$$A_{ref} = h_{kv} b$$

○ 1. patro ( $z_1 = 3,61 \text{ m}$ )

$$c_e(z) = 1,18$$

$$q_p(z) = 1,18 \cdot 0,391 = 0,461 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{ref} = 3,61 \cdot 41,88 = 151,187 \text{ m}^2$$

$$F_{w+} = 0,461 \cdot 0,8 \cdot 151,187 = 55,75 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = 0,461 \cdot (-0,521) \cdot 151,187 = -36,307 \text{ kN}$$

○ 2. patro ( $z_2 = 7,21 \text{ m}$ )

$$c_e(z) = 1,18$$

$$q_p(z) = 1,18 \cdot 0,391 = 0,461 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{ref} = 3,6 \cdot 41,88 = 150,768 \text{ m}^2$$

$$F_{w+} = 0,461 \cdot 0,8 \cdot 150,768 = 55,596 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = 0,461 \cdot (-0,521) \cdot 150,768 = -36,207 \text{ kN}$$

○ 3. patro ( $z_3 = 10,81 \text{ m}$ )

$$c_e(z) = 1,24$$

$$q_p(z) = 1,24 \cdot 0,391 = 0,484 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{ref} = 3,6 \cdot 41,88 = 150,768 \text{ m}^2$$

$$F_{w+} = 0,484 \cdot 0,8 \cdot 150,768 = 58,423 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = 0,484 \cdot (-0,521) \cdot 150,768 = -38,048 \text{ kN}$$

○ 4. patro ( $z_4 = 14,41 \text{ m}$ )

$$c_e(z) = 1,44$$

$$q_p(z) = 1,44 \cdot 0,391 = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{ref} = 3,6 \cdot 41,88 = 150,768 \text{ m}^2$$

$$F_{w+} = 0,563 \cdot 0,8 \cdot 150,768 = 67,846 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = 0,563 \cdot (-0,521) \cdot 150,768 = -44,184 \text{ kN}$$

○ 5. patro ( $z_5 = 18,01 \text{ m}$ )

$$c_e(z) = 1,59$$

$$q_p(z) = 1,59 \cdot 0,391 = 0,621 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{\text{ref}} = 3,6 \cdot 41,88 = 150,768 \text{ m}^2$$

$$F_{w+} = 0,621 \cdot 0,8 \cdot 150,768 = 74,913 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = 0,621 \cdot (-0,521) \cdot 150,768 = -48,787 \text{ kN}$$

- Střecha ( $z_s = 21,61 \text{ m}$ )

$$c_e(z) = 1,72$$

$$q_p(z) = 1,72 \cdot 0,391 = 0,672 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{\text{ref}} = 3,6 \cdot 41,88 = 150,768 \text{ m}^2$$

$$F_{w+} = 0,672 \cdot 0,8 \cdot 150,768 = 81,038 \text{ kN}$$

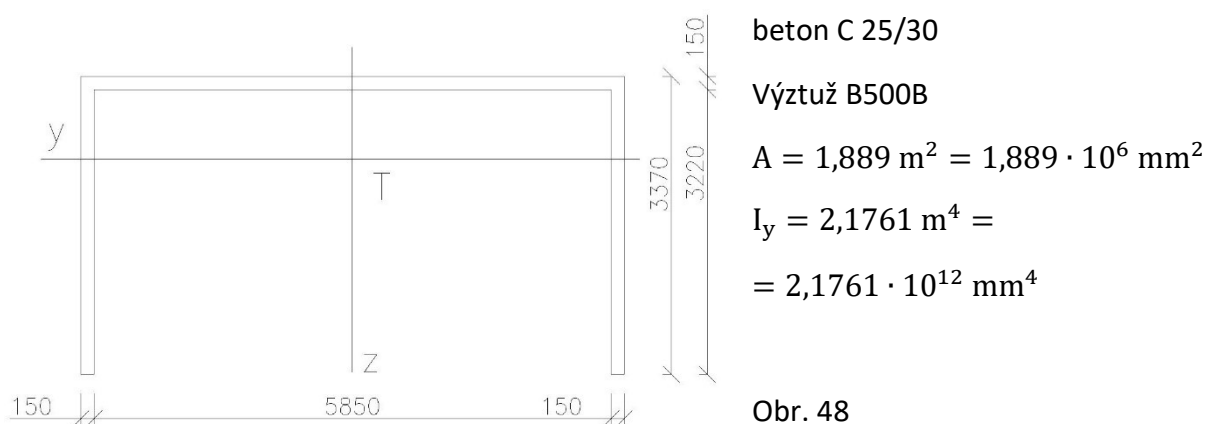
$$F_{w-} = 0,672 \cdot (-0,521) \cdot 150,768 = -52,776 \text{ kN}$$

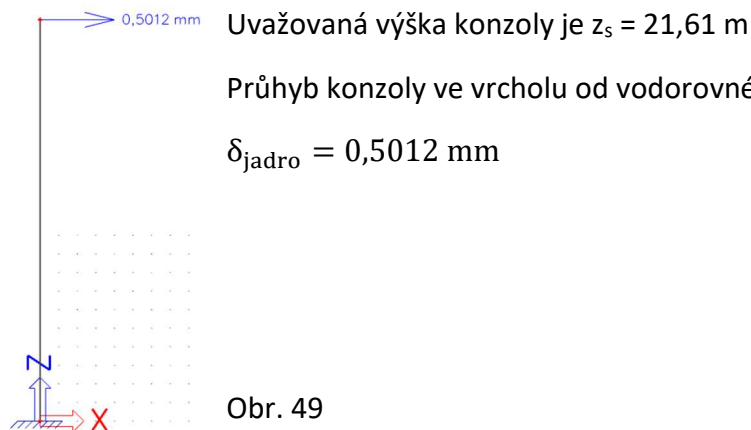
- Rozdělení zatížení příčným větrem

Zatížení příčným větrem je přenášeno příčným ztužidlem a ŽB truhlíkem schodiště. Je potřeba stanovit poměr rozdělení celkového zatížení do jednotlivých konstrukčních částí. Nejprve stanovíme těžiště ztužidel přenášejících vodorovné zatížení v příčném směru. Zatížíme zvlášť truhlík a příčné ztužidlo stejným vodorovným zatížením 10 kN ve vrcholu konstrukce a vypočítáme vodorovný průhyb  $\delta_i$  v daném místě. Výpočty průhybů budou provedeny v programu SCIA Engineer 20.0.

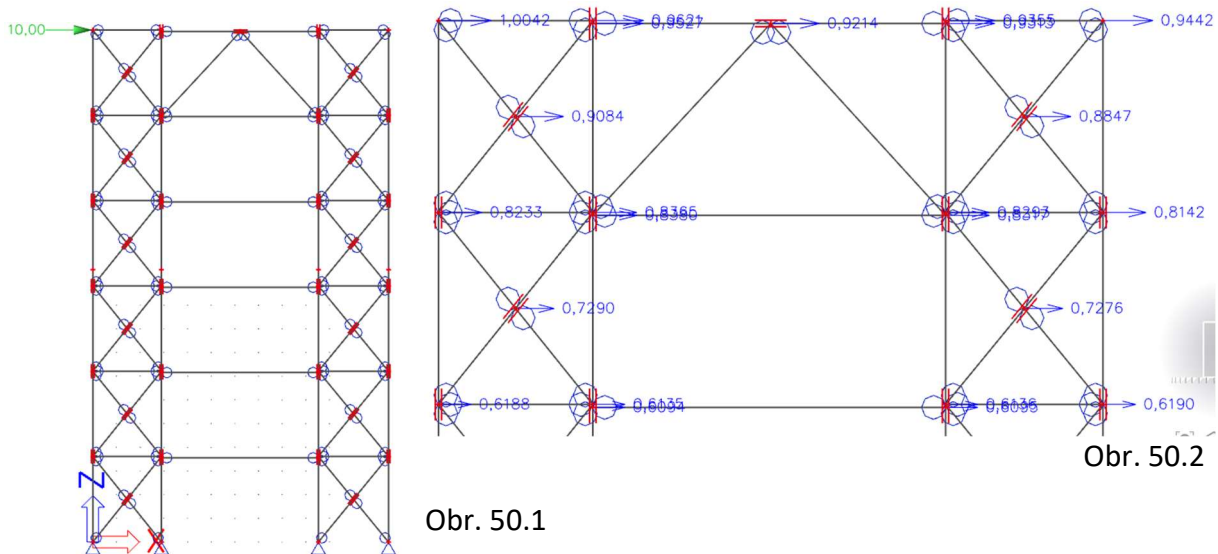
- ŽB jádro

ŽB jádro bude zmodelováno jako vetknuta konzola na výšku budovy. Průřezové charakteristiky konzoly jsou totožné skutečnému průřezu truhlíku – viz obr. níže. Těžiště a moment setrvačnosti jsou stanoveny v programu AutoCAD 2018.





- Příčné ztužení



Pro zohlednění tuhosti stropů v modelu u průvlaků se uvažuje 50x násobek plochy průřezu a momentu setrvačnosti.

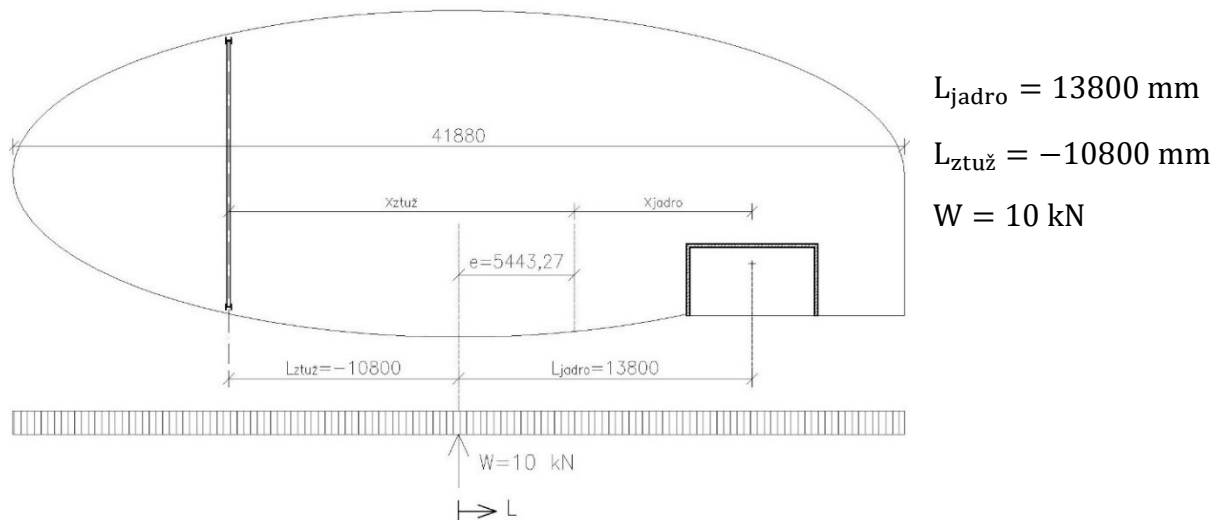
Na obr. 50.1 můžeme vidět statické schéma příčného svislého ztužení budovy zatíženého vodorovnou silou 10 kN, stejně jako v případě ŽB jádra. Vodorovný průhyb ve vrcholu budovy spočítáme jako aritmetický průměr hodnot přemístění krajního levého a krajního pravého uzlů střechy.

$$\delta_{\text{ztuž}} = \frac{(1,0042 + 0,9442)}{2} = 0,9742 \text{ mm}$$

- Rozdělení zatížení (nesouměrný případ)

Stanovíme, jakou část zatížení příčným větrem na sebe vezme ztužidlo, které bude podrobně navrženo později. Uvažuje se, že výslednice zatížení větrem působí uprostřed šířky budovy.

Vzdálenost těžiště ztužidla a jádra od výslednice zatížení se zavádí s ohledem na znaménko – kladný směr je vpravo – viz obr. 51.



Obr. 51

Dále vypočítáme polohu svislé osy těžiště ztužení budovy vůči výslednice větru  $W$ .

$$e = \frac{\sum_i L_i \frac{1}{\delta_i}}{\sum_i \frac{1}{\delta_i}} = \frac{L_{\text{jadro}} \frac{1}{\delta_{\text{jadro}}} + L_{\text{ztuž}} \frac{1}{\delta_{\text{ztuž}}}}{\frac{1}{\delta_{\text{jadro}}} + \frac{1}{\delta_{\text{ztuž}}}} = \frac{13800 \cdot \frac{1}{0,5012} + (-10800) \frac{1}{0,9742}}{\frac{1}{0,5012} + \frac{1}{0,9742}}$$

$$e = 5443,27 \text{ mm}$$

Pro namáhání příhradového ztužidla a jádra platí:

$$x_{\text{jadro}} = L_{\text{jadro}} - e = 13800 - 5443,27 = 8356,73 \text{ mm}$$

$$x_{\text{ztuž}} = -(-L_{\text{ztuž}} + e) = -(10800 + 5443,27) = -16243,27 \text{ mm}$$

$$W_i = W \left( \frac{\frac{1}{\delta_i}}{\sum_i \frac{1}{\delta_i}} + e \frac{\frac{1}{\delta_i} x_i}{\sum_i \frac{1}{\delta_i} x_i^2} \right)$$

Namáhání ŽB jádra:

$$W_{\text{jadro}} = W \left( \frac{\frac{1}{\delta_{\text{jadro}}}}{\frac{1}{\delta_{\text{jadro}}} + \frac{1}{\delta_{\text{ztuž}}}} + e \frac{\frac{1}{\delta_{\text{jadro}}} x_{\text{jadro}}}{\frac{1}{\delta_{\text{jadro}}} x_{\text{jadro}}^2 + \frac{1}{\delta_{\text{ztuž}}} x_{\text{ztuž}}^2} \right)$$

$$W_{\text{jadro}} = 10 \cdot \left( \frac{\frac{1}{0,5012}}{\frac{1}{0,5012} + \frac{1}{0,9742}} + 5443,27 \cdot \frac{\frac{1}{0,5012} \cdot 8356,73}{\frac{1}{0,5012} \cdot 8356,73^2 + \frac{1}{0,9742} \cdot (-16243,27)^2} \right)$$

$$W_{\text{jadro}} = 8,816 \text{ kN}$$

Namáhání příhradového příčného ztužení:

$$W_{ztuž} = W \left( \frac{\frac{1}{\delta_{ztuž}}}{\frac{1}{\delta_{jadro}} + \frac{1}{\delta_{ztuž}}} + e \frac{\frac{1}{\delta_{ztuž}} x_{ztuž}}{\frac{1}{\delta_{jadro}} x_{jadro}^2 + \frac{1}{\delta_{ztuž}} x_{ztuž}^2} \right)$$

$$W_{ztuž} = 10 \cdot \left( \frac{\frac{1}{0,9742}}{\frac{1}{0,5012} + \frac{1}{0,9742}} + 5443,27 \cdot \frac{\frac{1}{0,9742} \cdot (-16243,27)}{\frac{1}{0,5012} \cdot 8356,73^2 + \frac{1}{0,9742} \cdot (-16243,27)^2} \right)$$

$$W_{ztuž} = 1,184 \text{ kN}$$

Poměr rozdělení zatížení od příčného větru:

$$\frac{W_{jadro}}{W} = \frac{8,816}{10} = 0,8816 \text{ (88,16 \%)}$$

$$\frac{W_{ztuž}}{W} = \frac{1,184}{10} = 0,1184 \text{ (11,84 \%)}$$

Pro tuhé pootočení stropních desek musí platit:

$$W_{jadro} x_{jadro} + W_{ztuž} x_{ztuž} = W e$$

$$8,816 \cdot 8356,73 + 1,184 \cdot (-16243,27) = 10 \cdot 5443,27$$

$$54432,7 = 54432,7 \rightarrow \text{rovnost platí}$$

Zatížení větrem připadající na příčné ztužidlo:

- 1. patro

$$F_{w+} = 55,75 \cdot 0,1184 = 6,603 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = -36,307 \cdot 0,1184 = -4,300 \text{ kN}$$

- 2. patro

$$F_{w+} = 55,596 \cdot 0,1184 = 6,584 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = -36,207 \cdot 0,1184 = -4,288 \text{ kN}$$

- 3. patro

$$F_{w+} = 58,423 \cdot 0,1184 = 6,919 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = -38,048 \cdot 0,1184 = -4,506 \text{ kN}$$

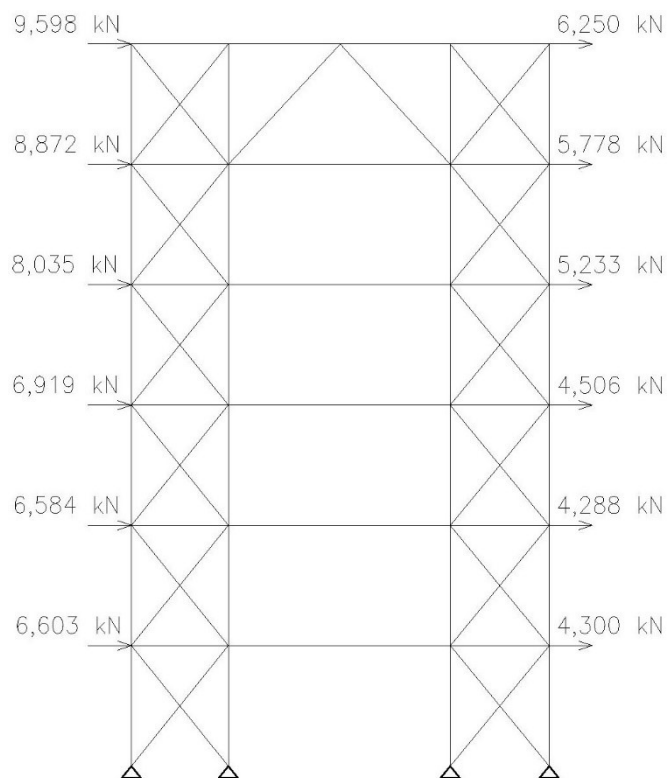
- 4. patro

$$F_{w+} = 67,846 \cdot 0,1184 = 8,035 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = -44,184 \cdot 0,1184 = -5,233 \text{ kN}$$

- 5. patro

$$F_{w+} = 74,913 \cdot 0,1184 = 8,872 \text{ kN}$$



Obr. 52



$$F_{w-} = -48,787 \cdot 0,1184 = -5,778 \text{ kN}$$

○ Střecha

$$F_{w+} = 81,038 \cdot 0,1184 = 9,598 \text{ kN}$$

$$F_{w-} = -52,776 \cdot 0,1184 = -6,250 \text{ kN}$$

## 6.2.2 Vnitřní síly ztužení

Stanovíme vnitřní síly příčného ztužení zatíženého vodorovně větrem (obr. 52) a svisle stálým a proměnným zatížením od střechy a pater. Profily krajních sloupů uvažujeme jako u sloupů C2, vnitřních jako u sloupů C1. Zatížení od stropnic S1, S2 a S3 převezmeme z kapitol 4.1, 4.2 a 4.3. U krajních stropnic je bezpečně uvažována stejná zatěžovací šířka jako u S3.

Pro užité zatížení běžných podlaží zase aplikujeme redukční součinitel stanoveny v kapitole 6.1.1.3.

$$\alpha_n = 0,82$$

Budou použity následující kombinace zatěžovacích stavů pro návrh ztužení:

1. Maximální svislé stálé a proměnné zatížení + zatížení větrem zleva
2. Maximální svislé stálé a proměnné zatížení + zatížení větrem zprava
3. Svislé minimální stálé (bez podlahy a podhledu) + zatížení větrem zleva
4. Svislé minimální stálé (bez podlahy a podhledu) + zatížení větrem zprava

Díky kombinaci 3 a 4 ověříme, vzniká-li tah v patkách sloupů. Tyto kombinace uvažují stav, kdy je hotový skelet včetně vybetonovaných stropních desek, namontovaného obvodového pláště a zařízení TZB, avšak podlahy běžných podlaží a podhledy zatím nejsou realizovány. Navíc pro minimální stálé zatížení se uvažuje součinitel  $\gamma_G = 1,0$ .

- Přehled zatížení dle kombinace (charakteristické hodnoty)
  - **Kombinace 1 a 2**

*Stropnice S1 – běžné patro:*

$$g_{S1,k} = 13,456 \text{ kN/m}$$

$$R_{g,S1,k} = \frac{1}{2} g_{S1,k} L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot 13,456 \cdot 7,2 = \mathbf{48,441 \text{ kN}}$$

$$q_{S1,příčka,k} = 1,105 \text{ kN/m}$$

$$q_{S1,užité,k} = 11,05 \alpha_n = 11,05 \cdot 0,82 = 9,061 \text{ kN/m}$$

$$R_{q,S1,k} = \frac{1}{2} (q_{S1,příčka,k} + q_{S1,užité,k}) L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot (1,105 + 9,061) \cdot 7,2 = \mathbf{36,598 \text{ kN}}$$

*Stropnice S1 – střecha:*

$$g_{sp,k} = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S1,sp,k} = g_{sp,k} \cdot 2,21 = 0,76 \cdot 2,21 = 1,68 \text{ kN/m}$$

$$g_{S1,k} = 13,456 - g_{S1,p,k} + g_{S1,sp,k} = 13,456 - 3,921 + 1,68 = 11,215 \text{ kN/m}$$

$$R_{g,S1,k} = \frac{1}{2} g_{S1,k} L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot 11,215 \cdot 7,2 = \mathbf{40,374 \text{ kN}}$$

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

$$q_{S1,střecha,k} = q_{střecha,k} \cdot 2,21 = 0,75 \cdot 2,21 = 1,658 \text{ kN/m}$$

$$R_{q,S1,k} = \frac{1}{2} q_{S1,střecha,k} L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot 1,658 \cdot 7,2 = \mathbf{5,967 \text{ kN}}$$

*Stropnice S2 – běžné patro:*

$$g_{S2,k} = 12,337 \text{ kN/m}$$

$$R_{g,S2,k} = \frac{1}{2} g_{S2,k} L_{S2} = \frac{1}{2} \cdot 12,337 \cdot 6 = \mathbf{37,012 \text{ kN}}$$

$$q_{S2,příčka,k} = 1,105 \text{ kN/m}$$

$$q_{S2,užitné,k} = 11,05 \alpha_n = 11,05 \cdot 0,82 = 9,061 \text{ kN/m}$$

$$R_{q,S2,k} = \frac{1}{2} (q_{S2,příčka,k} + q_{S2,užitné,k}) L_{S2} = \frac{1}{2} \cdot (1,105 + 9,061) \cdot 6 = \mathbf{30,498 \text{ kN}}$$

*Stropnice S2 – střecha:*

$$g_{sp,k} = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S2,sp,k} = g_{sp,k} \cdot 2,21 = 0,76 \cdot 2,21 = 1,68 \text{ kN/m}$$

$$g_{S2,k} = 12,337 - g_{S2,p,k} + g_{S2,sp,k} = 12,337 - 3,921 + 1,68 = 10,096 \text{ kN/m}$$

$$R_{g,S2,k} = \frac{1}{2} g_{S2,k} L_{S2} = \frac{1}{2} \cdot 10,096 \cdot 6 = \mathbf{30,289 \text{ kN}}$$

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

$$q_{S2,střecha,k} = q_{střecha,k} \cdot 2,21 = 0,75 \cdot 2,21 = 1,658 \text{ kN/m}$$

$$R_{q,S2,k} = \frac{1}{2} q_{S2,střecha,k} L_{S2} = \frac{1}{2} \cdot 1,658 \cdot 6 = \mathbf{4,973 \text{ kN}}$$

*Stropnice S3 – běžné patro:*

$$g_{S3,k} = 10,009 \text{ kN/m}$$

$$R_{g,S3,l,k} = \frac{1}{2} g_{S3,k} L_S = \frac{1}{2} \cdot 10,009 \cdot 6 = 30,026 \text{ kN} - \text{po levé straně od ztužení}$$

$$R_{g,S3,p,k} = \frac{1}{2} g_{S3,k} L_{S3} = \frac{1}{2} \cdot 10,009 \cdot 7,2 = 36,032 \text{ kN} - \text{po pravé straně od ztužení}$$

$$R_{g,S3,k} = R_{g,S3,l,k} + R_{g,S3,p,k} = 30,026 + 36,032 = \mathbf{66,058 \text{ kN}}$$

$$q_{S3,příčka,k} = 0,623 \text{ kN/m}$$

$$q_{S3,užitné,k} = 6,225\alpha_n = 6,225 \cdot 0,82 = 5,105 \text{ kN/m}$$

$$R_{q,S3,l,k} = \frac{1}{2}(q_{S3,příčka,k} + q_{S3,užitné,k})L_S = \frac{1}{2} \cdot (0,623 + 5,105) \cdot 6 = 17,181 \text{ kN}$$

$$R_{q,S3,p,k} = \frac{1}{2}(q_{S3,příčka,k} + q_{S3,užitné,k})L_{S3} = \frac{1}{2} \cdot (0,623 + 5,105) \cdot 7,2 = 20,617 \text{ kN}$$

$$R_{q,S3,k} = R_{q,S3,l,k} + R_{q,S3,p,k} = 17,181 + 20,617 = \mathbf{37,798 \text{ kN}}$$

*Stropnice S3 – střecha:*

$$g_{sp,k} = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{S3,sp,k} = g_{sp,k} \cdot 1,245 = 0,76 \cdot 1,245 = 0,946 \text{ kN/m}$$

$$g_{S3,k} = 10,009 - g_{S3,p,k} - g_{op1,k} + g_{S3,sp,k} = 10,009 - 2,209 - 2,29 + 0,946 = 6,456 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$R_{g,S3,l,k} = \frac{1}{2}g_{S3,k}L_S = \frac{1}{2} \cdot 6,456 \cdot 6 = 19,368 \text{ kN}$$

$$R_{g,S3,p,k} = \frac{1}{2}g_{S3,k}L_{S3} = \frac{1}{2} \cdot 6,456 \cdot 7,2 = 23,242 \text{ kN}$$

$$R_{g,S3,k} = R_{g,S3,l,k} + R_{g,S3,p,k} = 19,368 + 23,242 = \mathbf{42,611 \text{ kN}}$$

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

$$q_{S3,střecha,k} = q_{střecha,k} \cdot 1,245 = 0,75 \cdot 1,245 = 0,934 \text{ kN/m}$$

$$R_{q,S3,l,k} = \frac{1}{2}q_{S3,střecha,k}L_S = \frac{1}{2} \cdot 0,934 \cdot 6 = 2,801 \text{ kN}$$

$$R_{q,S3,p,k} = \frac{1}{2}q_{S3,střecha,k}L_{S3} = \frac{1}{2} \cdot 0,934 \cdot 7,2 = 3,362 \text{ kN}$$

$$R_{q,S3,k} = R_{q,S3,l,k} + R_{q,S3,p,k} = 2,801 + 3,362 = \mathbf{6,163 \text{ kN}}$$

*Vlastní tíha průvlaků:*

$$g_{P1,k} = 0,491 \text{ kN/m} - \text{vnitřní průvlak IPE 330}$$

$$g_{IPE220,k} = 0,262 \text{ kN/m} - \text{krajní průvlak IPE 220}$$

*Vlastní tíha sloupů:*

$$g_{C1,h,k} = 0,613 \text{ kN/m} - \text{vnitřní sloup horní HEB 200}$$

$$g_{C1,d,k} = 1,031 \text{ kN/m} - \text{vnitřní sloup spodní HEB 280}$$

$$g_{C2,h,k} = 0,426 \text{ kN/m} - \text{krajní sloup horní HEB 160}$$

$g_{C2,d,k} = 0,613 \text{ kN/m}$  – krajní sloup spodní HEB 200

*Vlastní tíha diagonál:*

$g_{D1,k} = 0,316 \text{ kN/m}$  – diagonály horních pater TR 168 X 8,0

$g_{D2,k} = 0,454 \text{ kN/m}$  – diagonály spodních pater TR 194 X 10,0

- **Kombinace 3 a 4**

*Stropnice S1 – běžné patro:*

$g_{S1,k} = 13,456 - g_{S1,p,k} - g_{S1,knauf,k} = 13,456 - 3,921 - 1,105 = 8,430 \text{ kN/m}$

$R_{g,S1,k} = \frac{1}{2} g_{S1,k} L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot 8,430 \cdot 7,2 = \mathbf{30,349 \text{ kN}}$

*Stropnice S1 – střecha:*

$g_{S1,k} = 11,215 - g_{S1,knauf,k} = 11,215 - 1,105 = 10,11 \text{ kN/m}$

$R_{g,S1,k} = \frac{1}{2} g_{S1,k} L_{S1} = \frac{1}{2} \cdot 10,11 \cdot 7,2 = \mathbf{36,396 \text{ kN}}$

*Stropnice S2 – běžné patro:*

$g_{S2,k} = 12,337 - g_{S2,p,k} - g_{S2,knauf,k} = 12,337 - 3,921 - 1,105 = 7,312 \text{ kN/m}$

$R_{g,S2,k} = \frac{1}{2} g_{S2,k} L_{S2} = \frac{1}{2} \cdot 7,312 \cdot 6 = \mathbf{21,936 \text{ kN}}$

*Stropnice S2 – střecha:*

$g_{S2,k} = 10,096 - g_{S2,knauf,k} = 10,096 - 1,105 = 8,991 \text{ kN/m}$

$R_{g,S2,k} = \frac{1}{2} g_{S2,k} L_{S2} = \frac{1}{2} \cdot 8,991 \cdot 6 = \mathbf{26,974 \text{ kN}}$

*Stropnice S3 – běžné patro:*

$g_{S3,k} = 10,009 - g_{S3,p,k} - g_{S3,knauf,k} = 10,009 - 2,209 - 0,623 = 7,178 \text{ kN/m}$

$R_{g,S3,l,k} = \frac{1}{2} g_{S3,k} L_S = \frac{1}{2} \cdot 7,178 \cdot 6 = 21,533 \text{ kN}$

$R_{g,S3,p,k} = \frac{1}{2} g_{S3,k} L_{S3} = \frac{1}{2} \cdot 7,178 \cdot 7,2 = 25,840 \text{ kN}$

$R_{g,S3,k} = R_{g,S3,l,k} + R_{g,S3,p,k} = 21,533 + 25,840 = \mathbf{47,373 \text{ kN}}$

*Stropnice S3 – střecha:*

$g_{S3,k} = 10,096 - g_{S3,knauf,k} = 6,456 - 0,623 = 5,834 \text{ kN/m}$

$R_{g,S3,l,k} = \frac{1}{2} g_{S3,k} L_S = \frac{1}{2} \cdot 5,834 \cdot 6 = 17,501 \text{ kN}$

$$R_{g,S3,p,k} = \frac{1}{2} g_{S3,k} L_{S3} = \frac{1}{2} \cdot 5,834 \cdot 7,2 = 21,001 \text{ kN}$$

$$R_{g,S3,k} = R_{g,S3,l,k} + R_{g,S3,p,k} = 17,501 + 21,001 = \mathbf{38,502 \text{ kN}}$$

*Vlastní tíha průvlaků, sloupů a diagonál:*

Stejně, jako u kombinace 1 a 2.

Obsah jednotlivých lineárních kombinací a součinitelů pro výpočet návrhových hodnot zatížení můžeme vidět na obr. níže.

Jméno	Kombinace 1 návrhové
Popis	
Typ	Lineární - únosnost
Metoda momentu od zvětšenéh...	<input type="checkbox"/> ne
Obsah kombinace	
Vlastní tíha [-]	1,35
1,2 Stropnice S1 g - patro [-]	1,35
1,2 Stropnice S1 q - patro [-]	1,50
1,2 Stropnice S1 g - strecha [-]	1,35
1,2 Stropnice S1 q - strecha [-]	1,50
1,2 Stropnice S2 g - patro [-]	1,35
1,2 Stropnice S2 q - patro [-]	1,50
1,2 Stropnice S2 g - strecha [-]	1,35
1,2 Stropnice S2 q - strecha [-]	1,50
1,2 Stropnice S3 g - patro [-]	1,35
1,2 Stropnice S3 q - patro [-]	1,50
1,2 Stropnice S3 g - strecha [-]	1,35
1,2 Stropnice S3 q - strecha [-]	1,50
Vítr zleva [-]	1,50

Obr. 53.1

Jméno	Kombinace 2 návrhové
Popis	
Typ	Lineární - únosnost
Metoda momentu od zvětšenéh...	<input type="checkbox"/> ne
Obsah kombinace	
Vlastní tíha [-]	1,35
1,2 Stropnice S1 g - patro [-]	1,35
1,2 Stropnice S1 q - patro [-]	1,50
1,2 Stropnice S1 g - strecha [-]	1,35
1,2 Stropnice S1 q - strecha [-]	1,50
1,2 Stropnice S2 g - patro [-]	1,35
1,2 Stropnice S2 q - patro [-]	1,50
1,2 Stropnice S2 g - strecha [-]	1,35
1,2 Stropnice S2 q - strecha [-]	1,50
1,2 Stropnice S3 g - patro [-]	1,35
1,2 Stropnice S3 q - patro [-]	1,50
1,2 Stropnice S3 g - strecha [-]	1,35
1,2 Stropnice S3 q - strecha [-]	1,50
Vítr zprava [-]	1,50

Obr. 53.2

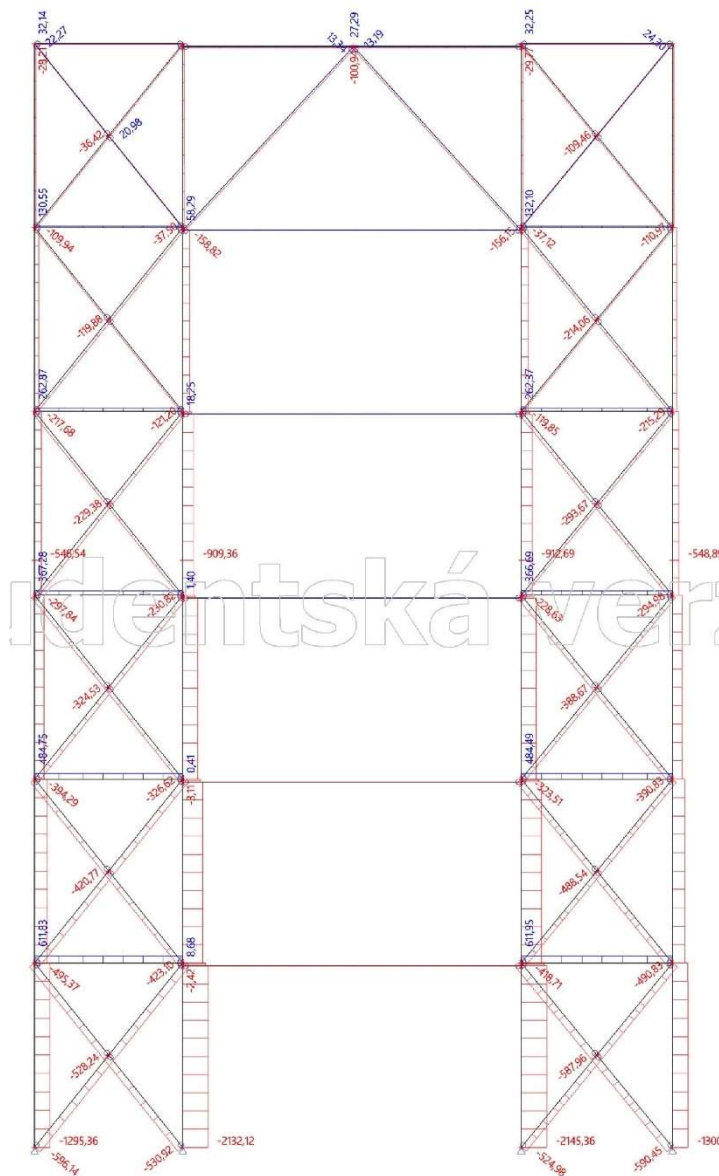
Jméno	Kombinace 3 návrhové
Popis	
Typ	Lineární - únosnost
Metoda momentu od zvětšenéh...	<input type="checkbox"/> ne
Obsah kombinace	
Vlastní tíha [-]	1,00
3,4 Stropnice S1 g - patro [-]	1,00
3,4 Stropnice S1 g - strecha [-]	1,00
3,4 Stropnice S2 g - patro [-]	1,00
3,4 Stropnice S2 g - strecha [-]	1,00
3,4 Stropnice S3 g - patro [-]	1,00
3,4 Stropnice S3 g - strecha [-]	1,00
Vítr zleva [-]	1,50

Obr. 53.3

Jméno	Kombinace 4 návrhové
Popis	
Typ	Lineární - únosnost
Metoda momentu od zvětšenéh...	<input type="checkbox"/> ne
Obsah kombinace	
Vlastní tíha [-]	1,00
3,4 Stropnice S1 g - patro [-]	1,00
3,4 Stropnice S1 g - strecha [-]	1,00
3,4 Stropnice S2 g - patro [-]	1,00
3,4 Stropnice S2 g - strecha [-]	1,00
3,4 Stropnice S3 g - patro [-]	1,00
3,4 Stropnice S3 g - strecha [-]	1,00
Vítr zprava [-]	1,50

Obr. 53.4

Obálka návrhových normálových sil od výše uvedených čtyř kombinací je na obr. 54 (z výpočtu podle SCIA Engineer 20.0). Nesymetrie výsledků u hlavních veličin v důsledku numerického řešení je < 1%.



Tah v patkách sloupů ztužidla v žádné z uvažovaných kombinací nevzniká.

Stejně, jako sloupy C1 a C2 navržené v kapitole 6.1 mají sloupy příčného ztužení montážní styk nad podlahou 4. podlaží a mají tedy spodní a horní montážní díl.

Vnitřní sloupy příčného ztužení jsou označeny jako C3, krajní jako C4. Jako rozhodující jsou uvažovány normálové síly v montážním styku (pro horní dílec) a v patce sloupu (pro spodní dílec).

Vnitřní sloupy C3:

$$N_{C3,d,d} = 2145,36 \text{ kN}$$

$$N_{C3,h,d} = 912,69 \text{ kN}$$

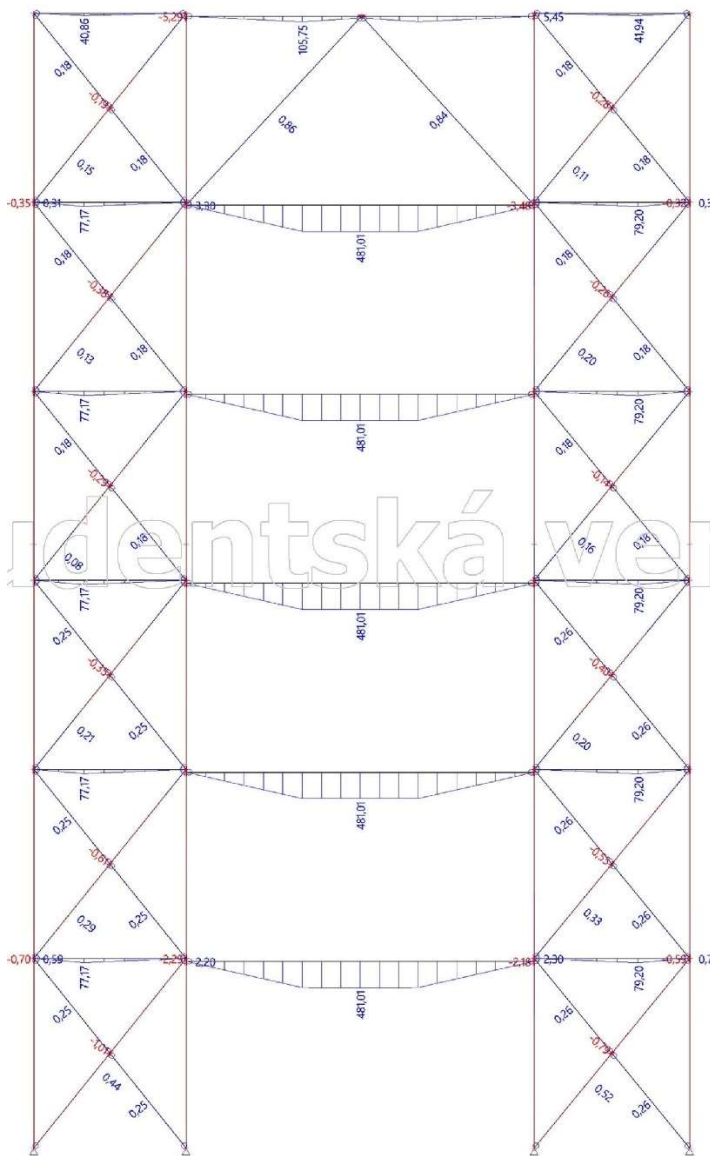
Krajní sloupy C4:

$$N_{C4,d,d} = 1300,78 \text{ kN}$$

$$N_{C4,h,d} = 548,89 \text{ kN}$$

Obr. 54

Obálka návrhových ohybových momentů  $M_y$ :



Doplňkový ohybový moment ze spojitosti sloupů dosahuje drobných hodnot. Sloupy proto budou navrženy jen na vzpěrný tlak, interakce tlaku a ohybu vzhledem na nepatrný moment nebude vyčíslována, neboť sloupy C3 a C4 budou mít na tento moment dostatečnou rezervu. Posudek s interakcí by byl obdobný, jako u C1 a C2.

Moment od excentricity připojení průvlaků a stropnic v rámci příhradového ztužidla bude též zanedbán.

Obr. 55

## 6.2.3 Sloup C3

Materiálové charakteristiky jsou totožné sloupům C1 a C2.

### 6.2.3.1 Návrh a posouzení horní části sloupu

#### NÁVRH HEB 180

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak 1.

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

$$i_y = 76,6 \text{ mm}$$

$$i_z = 45,7 \text{ mm}$$

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$A_{\text{HEB}} = 6525 \text{ mm}^2$$

- Posouzení horní části sloupu

- Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{\text{cr},y} = h_{\text{kv}} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{\text{cr},y}}{i_y} = \frac{3600}{76,6} = 46,997$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{46,997}{76,399} = 0,615$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 180/180 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 14 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose y → křivka vzpěrné pevnosti b.

Odtud  $\chi_y = 0,829$

- Součinitel vzpěrnosti k ose z

$$L_{\text{cr},z} = h_{\text{kv}} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{\text{cr},z}}{i_z} = \frac{3600}{45,7} = 78,775$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{78,775}{76,399} = 1,031$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 180/180 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 14 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose z → křivka vzpěrné pevnosti c.

Odtud  $\chi_z = 0,523$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\text{min}} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,829 ; 0,523) = 0,523$$



$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,523 \cdot 6525 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 1211,464 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 1211,464 \text{ kN} > N_{C3,h,d} = 912,690 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití 75,3 \%}$$

**HEB 180 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

### 6.2.3.2 Návrh a posouzení spodní části sloupu

#### NÁVRH HEB 240

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak 1.

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

$$i_y = 103,1 \text{ mm}$$

$$i_z = 60,8 \text{ mm}$$

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

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

$$A_{HEB} = 10600 \text{ mm}^2$$

- Posouzení horní části sloupu
  - Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{cr,y} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3600}{103,1} = 34,918$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{34,918}{76,399} = 0,457$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 240/240 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 17 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose y → křivka vzpěrné pevnosti b.

Odtud  $\chi_y = 0,903$

- Součinitel vzpěrnosti k ose z

$$L_{cr,z} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3600}{60,8} = 59,211$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{59,211}{76,399} = 0,775$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 240/240 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 17 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose z → křivka vzpěrné pevnosti c.

Odtud  $\chi_z = 0,678$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,903 ; 0,678) = 0,678$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,678 \cdot 10600 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 2551,314 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 2551,314 \text{ kN} > N_{C3,d,d} = 2145,360 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 84,1 \%$$

**HEB 240 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

## 6.2.4 Sloup C4

Materiálové charakteristiky jsou totožné sloupům C1, C2 a C3.

### 6.2.4.1 Návrh a posouzení horní části sloupu

#### NÁVRH HEB 140

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak 1.

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$i_y = 59,3 \text{ mm}$$

$$i_z = 35,8 \text{ mm}$$

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

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

$$A_{HEB} = 4296 \text{ mm}^2$$

- Posouzení horní části sloupu
  - Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{cr,y} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3600}{59,3} = 60,708$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{60,708}{76,399} = 0,795$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 140/140 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 12 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose  $y \rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti b.

Odtud  $\chi_y = 0,728$

- Součinitel vzpěrnosti k ose  $z$

$$L_{cr,z} = h_{kv} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3600}{35,8} = 100,559$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{100,559}{76,399} = 1,316$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 140/140 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 12 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose  $z \rightarrow$  křivka vzpěrné pevnosti c.

Odtud  $\chi_z = 0,382$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,728 ; 0,382) = 0,382$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,382 \cdot 4296 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 582,581 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 582,581 \text{ kN} > N_{C4,h,d} = 548,890 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 94,2 \%$$

**HEB 140 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

#### 6.2.4.2 Návrh a posouzení spodní části sloupu

##### NÁVRH HEB 200

- Průřezové charakteristiky

Třída průřezu pro tlak 1.

$$t_f = 15 \text{ mm}$$

$$i_y = 85,4 \text{ mm}$$

$$i_z = 50,6 \text{ mm}$$

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

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

$$A_{\text{HEB}} = 7808 \text{ mm}^2$$

- Posouzení horní části sloupu
  - Součinitel vzpěrnosti k ose y

$$L_{\text{cr},y} = h_{\text{kv}} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{\text{cr},y}}{i_y} = \frac{3600}{85,4} = 42,155$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{42,155}{76,399} = 0,552$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 200/200 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 15 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose y → křivka vzpěrné pevnosti b.

Odtud  $\chi_y = 0,86$

- Součinitel vzpěrnosti k ose z

$$L_{\text{cr},z} = h_{\text{kv}} = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{\text{cr},z}}{i_z} = \frac{3600}{50,6} = 71,146$$

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{71,146}{76,399} = 0,931$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

Válcovaný průřez – ocel S355,

$$h/b = 200/200 = 1 < 1,2,$$

$t_f = 15 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ , vybočení kolmo k ose z → křivka vzpěrné pevnosti c.

Odtud  $\chi_z = 0,582$

- Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\chi_{\text{min}} = \min(\chi_y ; \chi_z) = \min(0,86 ; 0,582) = 0,582$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} A_{HEB} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left(0,582 \cdot 7808 \cdot \frac{355}{1,0}\right) / 1000 = 1613,211 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 1613,211 \text{ kN} > N_{C4,d,d} = 1300,78 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 80,6 \%$$

### **HEB 200 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

## 6.2.5 Diagonály D1 a D2

V této kapitole navrhne diagonály příčného ztužení. Budou navrženy 2 druhy profilů: pro 1. až 3. NP a 4. až 6. NP. Podle obálky na obr. 54 vzniká ve všech diagonálech kromě posledního patra pouze tlak (převažuje vliv stlačení sloupů nad účinky větru). V posledním patře u zkřížených diagonál může v jednotlivých kombinacích vznikat buď tlak + tah anebo tlak v obou zkřížených prutech. První případ způsobuje menší vzpěrnou délku pro vybočení kolmo k rovině než případ tlaku v obou prutech.

Pro dimenzi diagonál D1 v 1. až 3. NP se použije největší tlaková osová síla vznikající v 1. NP:

$$N_{D1,d} = 596,14 \text{ kN}$$

Pro dimenzi diagonál D2 v 4. až 6. NP se použije největší tlaková osová síla vznikající v 4. NP:

$$N_{D2,d} = 297,84 \text{ kN}$$

U zkřívených prutů platí následující vzpěrné délky, kde L je délka diagonály:

$$L_{cr} = L/2 - \text{vybočení v rovině,}$$

$$L_{cr} = L - \text{vybočení kolmo k rovině pro případ, že oba pruty jsou tlačené (náš případ).}$$

Budou použity za studena tvarované kruhové trubky, které mají stejné průřezové charakteristiky pro obě roviny. Proto rozhoduje vybočení prutů kolmo k jejich rovině.

- **Materiál**

Ocel S235,  $t \leq 40 \text{ mm}$ .

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{uk} = 360 \text{ MPa}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

- **Návrh a posouzení diagonály D1**

### **NÁVRH TR 178 X 8**

$$A = 4273 \text{ mm}^2$$

$$i = 60,2 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo k rovině ztužení:

$$L_{cr} = L_{D1} = 4662 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4662}{60,2} = 77,442$$

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

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{77,442}{93,9} = 0,825$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

dutý průřez – tvarovaný za studena – ocel S235 → křivka vzpěrné pevnosti c

$$\text{Odtud } \chi = 0,647$$

$$N_{b,Rd} = \chi A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left( 0,647 \cdot 4273 \cdot \frac{235}{1,0} \right) / 1000 = 649,688 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 649,688 \text{ kN} > N_{D1,d} = 596,14 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 91,8 \%$$

#### **TR 178 X 8 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

- Návrh a posouzení diagonály D2

#### **NÁVRH TR 127 X 8**

$$A = 2991 \text{ mm}^2$$

$$i = 42,2 \text{ mm}$$

Součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo k rovině ztužení:

$$L_{cr} = L_{D2} = 4662 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4662}{42,2} = 110,474$$

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

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{110,474}{93,9} = 1,177$$

Stanovíme křivku vzpěrné pevnosti:

dutý průřez – tvarovaný za studena – ocel S235 → křivka vzpěrné pevnosti c

$$\text{Odtud } \chi = 0,445$$

$$N_{b,Rd} = \chi A \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = \left( 0,445 \cdot 2991 \cdot \frac{235}{1,0} \right) / 1000 = 312,784 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 312,784 \text{ kN} > N_{D2,d} = 297,840 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 95,2 \%$$

**TR 127 X 8 VE VZPĚRNÉM TLAKU VYHOVUJE**

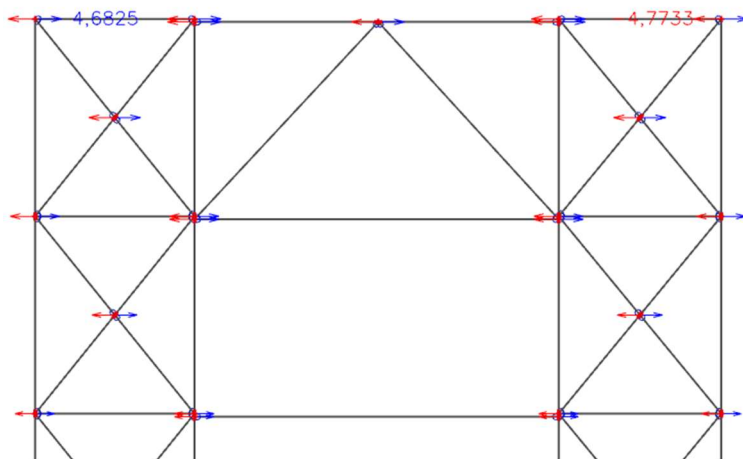
## 6.2.6 Vodorovný průhyb

Maximální vodorovný průhyb ztužidla od charakteristického zatížení nesmí překročit hodnotu  $H/500$ , kde  $H$  je celková výška budovy.

$H = 21610$  mm – uvažována výška budovy ve výpočetním modelu

$$\Delta_{\text{lim}} = \frac{H}{500} = \frac{21610}{500} = 43,22 \text{ mm}$$

Maximální vodorovný průhyb dle obálky přemístění uzlů od charakteristického zatížení. Jsou použité profily navržené v kapitole 6.2. Obálka zahrnuje podobné kombinace použité při návrhu sloupů a diagonál ztužidla.



$$\Delta_{\text{max}} = 4,7733 \text{ mm} < \Delta_{\text{lim}} = 43,22 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

Obr. 56

## 7 Přípoje konstrukce

Z konstrukčních důvodů při kreslení dílenských výkresů krajní průvlaky mezi sloupy C1 a C2 (průvlaky P3), C3 a C4 budou zvětšený na profil stropnic S1 připojených na dané průvlaky – tzn. IPE 240. V dané kapitole budou navrženy přípoje zobrazené podrobně v dílenské výkresové dokumentaci.

## 7.1 Přípoj stropnic S1 a S2 na průvlak P1

Navrhne přípoj stropnic S1 a S2 na vnitřní průvlak P1 IPE 330 nacházející se v rovině příčného ztužení. Ke stropnicím bude přivařena čelní deska, která následně bude přišroubována šrouby ke stojině průvlaku. Bezpečně uvažujeme, že z obou stran průvlaku působí akce stropnice S1. Čelní deska, stropnice a průvlak jsou z oceli S355.

- Materiál

Materiál šroubu 5.6

Základní materiál – ocel S355,  $t \leq 40$  mm.

$$f_{yb} = 300 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Návrh a posouzení šroubů ve stříhu

#### NÁVRH 4 X ŠROUBY M16, ČELNÍ DESKY TL. 8 MM

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$t_w = 7,5 \text{ mm}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ – z\acute{a}vit ve st\acute{r}ihu}$$

$$n = 2 \text{ – po\check{c}et st\acute{r}ih\acute{u}}$$

$P_{S1,d} = 2 \cdot 119,947 = 239,895 \text{ kN}$  – celkové zatížení přípoje od reakcí stropnic z obou stran průvlaku P1.

Únosnost ve stříhu pro 1 šroub:

$$F_{V,Rd,1} = 0,6f_{ub}A_s n / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 500 \cdot 157 \cdot 2 / 1,25 = 75360 \text{ N} = 75,36 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu všech šroubů:

$$F_{V,Rd} = F_{V,Rd,1} \cdot 4 = 75,36 \cdot 4 = 301,44 \text{ kN} > P_{S1,d} = 239,895 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 79,6 \%$$

- Návrh a posouzení šroubů v otláčení

Navrhujeme rozteče šroubů:

$$e_1 = 40 \text{ mm (min. doporu\cena hodnota 40 mm)}$$

$$p_1 = 60 \text{ mm (min. doporu\cena hodnota 55 mm)}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm (min. doporu\cena hodnota 30 mm)}$$

$$p_2 = 55 \text{ mm (min. doporu\cena hodnota 55 mm)}$$

$$t = \min(2t_p ; t_w) = \min(2 \cdot 8 ; 7,5) = \min(16 ; 7,5) = 7,5 \text{ mm}$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7, 2,5\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot 30}{18} - 1,7, 2,5\right) = 2,5$$



$$\alpha_b = \min \begin{pmatrix} e_1/(3d_0) \\ (p_1/(3d_0)) - 0,25 \\ f_{ub}/f_u \\ 1 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 40/(3 \cdot 18) \\ (60/(3 \cdot 18)) - 0,25 \\ 500/510 \\ 1 \end{pmatrix} = 0,741$$

Únosnost v otláčení pro 1 šroub:

$$F_{b,Rd,1} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,741 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 7,5 / 1,25 = 90667 \text{ N} = 90,667 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení všech šroubů:

$$F_{b,Rd} = F_{b,Rd,1} \cdot 4 = 90,667 \cdot 4 = 362,667 \text{ kN} > P_{S1,d} = 239,895 \text{ kN} \rightarrow$$

→ **OK, využití 66,1 %**

- Návrh a posouzení svařovaného přípoje stropnice a čelní desky

#### **NÁVRH OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ SVAR $a = 4 \text{ MM}$**

Bude použita tzv. zpřesněná metoda – případ bočních svarů,  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ .

$a = 4 \text{ mm}$  – účinná tloušťka svaru

$L = 134 \text{ mm}$  – účinná délka svaru

$\beta_w = 0,9$  – pro S355

Namáhaní svařovaného přípoje je:

$$P_{S1,d} = 119,947 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{P_{S1,d}}{2aL} = \frac{119,947 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 134} = 111,891 \text{ MPa}$$

Musí platit:

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

$$\sqrt{3 \cdot 111,891^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

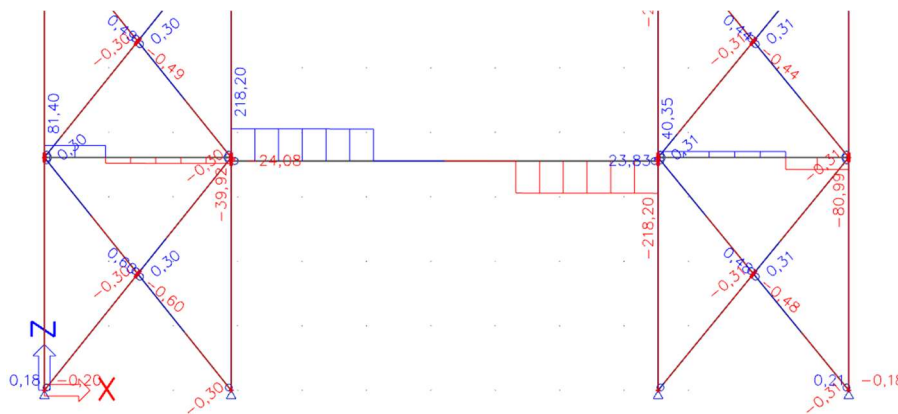
$193,801 \text{ MPa} < 453,333 \text{ MPa} \rightarrow$  **OK, využití 42,8 %**

Aby stropnice při montáži šlo vložit mezi průvlaky jejich výrobní délka bude zmenšena o 2 mm (záporná tolerance).

#### **PŘÍPOJ VYHOVUJE**

## 7.2 Přípoj průvlaku P1 a krajního průvlaku IPE 240 na sloup C3

Bude realizován podobný přípoj, jako v kapitole 7.1. Zatížení přípojí odečteme z obálky návrhových posouvajících sil na obr. níže. Pro účely montáže u průvlaku P1 se vloží vložka tl. 8 mm mezi stojinou sloupu a čelní deskou.



$$V_{vn,Ed} = 218,20 \text{ kN}$$

$$V_{kr,Ed} = 39,92 \text{ kN}$$

Obr. 57

Materiál šroubů a základní materiál jsou stejné, jako v předchozí kapitole.

- Návrh a posouzení šroubů ve stříhu

Ve stříhu posoudíme zvlášť přípoj po levé a po pravé straně sloupu.

#### NÁVRH 4 X ŠROUBY M20, ČELNÍ DESKY TL. 8 MM

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

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

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \text{ – závit ve stříhu}$$

$$V_{vn,Ed} = 218,20 \text{ kN} \text{ – posouvající síla na vnitřním průvlaku P1 rozhoduje}$$

Únosnost ve stříhu pro 1 šroub:

$$F_{v,Rd,1} = 0,6f_{ub}A_s n/\gamma_{M2} = 0,6 \cdot 500 \cdot 245 \cdot 1/1,25 = 58800 \text{ N} = 58,8 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu všech šroubů:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} \cdot 4 = 58,8 \cdot 4 = 235,2 \text{ kN} > V_{vn,Ed} = 218,20 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 92,8 \%$$

$$F_{v,Rd} = 235,2 \text{ kN} > V_{kr,Ed} = 39,92 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 17,0 \%$$

- Návrh a posouzení šroubů v otláčení

$$V_{Ed} = V_{vn,Ed} + V_{kr,Ed} = 218,20 + 39,92 = 258,12 \text{ kN}$$

Navrhne rozteče šroubů:

$$e_1 = 50 \text{ mm} \text{ (min. doporučena hodnota } 50 \text{ mm)}$$

$$p_1 = 70 \text{ mm} \text{ (min. doporučena hodnota } 70 \text{ mm)}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm} \text{ (min. doporučena hodnota } 40 \text{ mm)}$$

$$p_2 = 70 \text{ mm} \text{ (min. doporučena hodnota } 70 \text{ mm)}$$

$$t = \min(2t_p; t_w) = \min(2 \cdot 8; 10) = \min(16; 10) = 10 \text{ mm}$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \frac{2,8 \cdot 40}{22} - 1,7\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot 40}{22} - 1,7\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1/(3d_0)}{(p_1/(3d_0)) - 0,25}; \frac{f_{ub}/f_u}{1}\right) = \min\left(\frac{50/(3 \cdot 22)}{(70/(3 \cdot 22)) - 0,25}; \frac{500/510}{1}\right) = 0,758$$

Únosnost v otláčení pro 1 šroub:

$$F_{b,Rd,1} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,758 \cdot 510 \cdot 20 \cdot 10 / 1,25 = 154\,545 \text{ N} = 154,545 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení všech šroubů:

$$F_{b,Rd} = F_{b,Rd,1} \cdot 4 = 154,545 \cdot 4 = 618,182 \text{ kN} > V_{Ed} = 258,12 \text{ kN} \rightarrow$$

→ **OK, využití 41,8 %**

- Návrh a posouzení svařovaného přípoje průvlaku a čelní desky

#### **NÁVRH OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ SVAR $a = 4 \text{ MM}$**

Bude použita tzv. zpřesněná metoda – případ bočních svarů,  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ .

$a = 4 \text{ mm}$  – účinná tloušťka svaru

$L = 164 \text{ mm}$  – účinná délka svaru

$\beta_w = 0,9$  – pro S355

Namáhání svařovaného přípoje (rozhoduje  $V_{vn,Ed}$ ) je:

$$V_{vn,Ed} = 218,20 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{vn,Ed}}{2aL} = \frac{218,20 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 164} = 166,311 \text{ MPa}$$

Musí platit:

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

$$\sqrt{3 \cdot 166,311^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$288,059 \text{ MPa} < 453,333 \text{ MPa} \rightarrow$  **OK, využití 63,5 %**

Po jiné straně sloupu se provede stejný svar, který bezpečně vyhoví.

#### **PŘÍPOJ VYHOVUJE**

### 7.3 Příklad připojení krajního průvlaku IPE 240 na sloup C4

Bude realizován podobný přípoj, jako v kapitole 7.1 a 7.2. Zatížení přípojů odečteme z obálky návrhových posouvajících sil – viz obr. 57. Stejně jako u vnitřního průvlaku pro krajní průvlak se použije vložka tl. 8 mm mezi stojinou sloupu a čelní deskou.

Materiál šroubů a základní materiál jsou stejné, jako v předchozí kapitole.

- Návrh a posouzení šroubů ve stříhu

#### NÁVRH 2 X ŠROUBY M20, ČELNÍ DESKA TL. 8 MM

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

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

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \text{ – závit ve stříhu}$$

$$n = 1 \text{ – počet stříhů}$$

$$V_{Ed} = 81,40 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu pro 1 šroub:

$$F_{v,Rd,1} = 0,6f_{ub}A_s n / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 500 \cdot 245 \cdot 1 / 1,25 = 58800 \text{ N} = 58,8 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu všech šroubů:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} \cdot 2 = 58,8 \cdot 2 = 117,6 \text{ kN} > V_{Ed} = 81,40 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 69,2 \%$$

- Návrh a posouzení šroubů v otláčení

Navrhujeme rozteče šroubů:

$$e_1 = 50 \text{ mm (min. doporučena hodnota 50 mm)}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm (min. doporučena hodnota 40 mm)}$$

$$p_2 = 70 \text{ mm (min. doporučena hodnota 70 mm)}$$

$$t = \min(t_p; t_w) = \min(8; 9) = 8 \text{ mm}$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot 40}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1 / (3d_0)}{f_{ub} / f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{50 / (3 \cdot 22)}{500 / 510}; 1\right) = 0,758$$

Únosnost v otláčení pro 1 šroub:

$$F_{b,Rd,1} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,758 \cdot 510 \cdot 20 \cdot 8 / 1,25 = 123\,636 \text{ N} = 123,636 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení všech šroubů:

$$F_{b,Rd} = F_{b,Rd,1} \cdot 2 = 123,636 \cdot 2 = 247,273 \text{ kN} > V_{Ed} = 81,40 \text{ kN} \rightarrow$$

→ **OK, využití 32,9 %**

- Návrh a posouzení svařovaného přípoje průvlaku a čelní desky

#### NÁVRH OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ SVAR $a = 4 \text{ MM}$

Bude použita tzv. zpřesněná metoda – případ bočních svarů,  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ .

$a = 4 \text{ mm}$  – účinná tloušťka svaru

$L = 94 \text{ mm}$  – účinná délka svaru

$\beta_w = 0,9$  – pro S355

Namáhání svařovaného přípoje je:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2aL} = \frac{81,40 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 94} = 108,245 \text{ MPa}$$

Musí platit:

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

$$\sqrt{3 \cdot 108,245^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

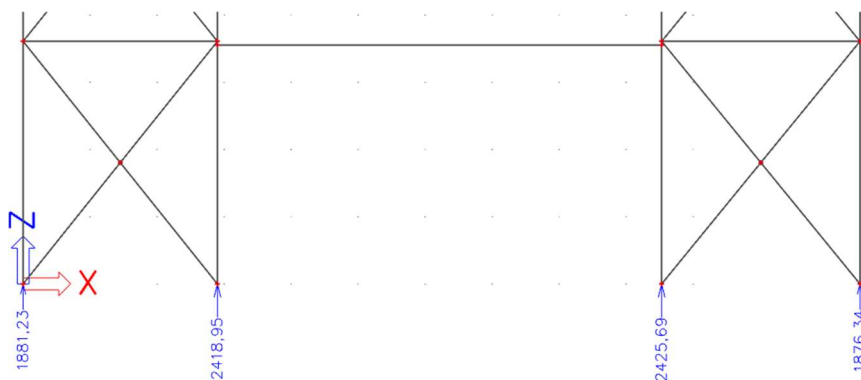
$187,485 \text{ MPa} < 453,333 \text{ MPa} \rightarrow$  **OK, využití 41,4 %**

#### PŘÍPOJ VYHOVUJE

## 7.4 Kotvení sloupu C4

V dané kapitole navrhne kotvení krajního sloupu C4 příčného ztužidla. Kotvení je realizováno pomocí kloubové patky. Celý skelet budovy je uložen na železobetonový suterén. Sloup je přivařen k patnímu plechu, který je následně ukotven pomocí čtyř závitových tyčí M20 do ŽB desky a průvlaku suterénu. Závitové tyče jsou provázány s vodorovnou výztuží ŽB konstrukce suterénu. Kotvení je namáháno vodorovnou a svislou reakcí, které odečteme

z obálek návrhových reakcí podpor.



Obr. 58

Maximální svislý tlak vznikající v patce sloupu C4:

$$R_{s,C4,Ed} = N_{Ed} = 1881,23 \text{ kN}$$

$h_c = 600 \text{ mm}$  – celková výška ŽB průvlaku + desky

$b_c = 500 \text{ mm}$  – šířka ŽB průvlaku

### NÁVRH PATNÍ PLECH 450 X 450 MM TLOUŠŤKY 30 MM

$$a = 450 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$t_p = 30 \text{ mm}$$

$$a_1 = \min(3a ; a + h_c) = \min(3 \cdot 450 ; 450 + 600) = \min(1350; 1050) = 1050 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(b_c ; 3b ; b + h_c) = \min(500 ; 3 \cdot 450 ; 450 + 600) = \min(500; 1350; 1050)$$

$$b_1 = 500 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{1050 \cdot 500}{450 \cdot 450}} = 1,61$$

Uvažujeme výšku podlití 50 mm, což je 0,1x násobek šířky ŽB průvlaku suterénu a menší, než 0,2x násobek šířky. Součinitel vlivu podlití  $\beta_j = 2/3$ .

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  – beton C25/30

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{jd} = \beta_j \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,61 \cdot 25}{1,5} = 17,891 \text{ MPa}$$

Patní plech je z oceli S355, pro  $t_p \leq 40 \text{ mm}$ ,  $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$ .

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yk}}{3f_{jd}\gamma_{M0}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 17,891 \cdot 1,0}} = 77,155 \text{ mm}$$

Účinnou plochu patního plechu spočítáme v programu AutoCAD 2018.

$$A_{eff} = 122\,538,279 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} f_{jd} = (122\,538,279 \cdot 17,891)/1000 = 2192,282 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 2192,282 \text{ kN} > R_{s,C4,Ed} = N_{Ed} = 1881,23 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 85,8 \%$$

Ověříme, je-li potřeba navrhnout smykovou zarážku přenášející vodorovné zatížení v patce sloupu. Vodorovné síly se přenesou třením ve spáře mezi betonem a ocelí, pokud platí že:

$$V_{Ed} \leq \mu N_{Ed}$$

$$\mu = 0,2$$

Posoudíme pro kotvení sloupu C4 na základě 4 návrhových kombinací uvedených v kapitole 6.2.2.

	$R_{v,C4,Ed} = V_{Ed}$ [kN]	$R_{s,C4,Ed} = N_{Ed}$ [kN]	$\mu N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed} \leq \mu N_{Ed}$
Kombinace 1	245,67	1456,44	291,288	ANO
Kombinace 2	315,67	1881,23	376,246	ANO
Kombinace 3	47,36	291,51	58,302	ANO
Kombinace 4	117,36	716,3	143,26	ANO

Tab. 45 – síly v kotvení sloupu C4

Smyková zarážka není potřeba, avšak z konstrukčních důvodů se použije úpalek HEB 120 s celkovou délkou 150 mm, který bude přivařen k patnímu plechu a zabetonován do ŽB konstrukci suterénu.

### **KOTVENÍ SLOUPU C4 VYHOVUJE**

## 7.5 Kotvení sloupu C3

V dané kapitole navrhujeme kotvení vnitřního sloupu C3 příčného ztužidla. Návrh bude proveden dle stejného principu jako v předchozí kapitole 7.4.

Maximální svislý tlak vznikající v patce sloupu C3:

$$R_{s,C3,Ed} = N_{Ed} = 2425,69 \text{ kN}$$

$$h_c = 800 \text{ mm} - \text{celková výška ŽB průvlaku} + \text{desky}$$

$$b_c = 600 \text{ mm} - \text{šířka ŽB průvlaku}$$

### **NÁVRH PATNÍ PLECH 500 X 500 MM TLOUŠŤKY 32 MM**

$$a = 500 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$t_p = 32 \text{ mm}$$

$$a_1 = \min(3a ; a + h_c) = \min(3 \cdot 500 ; 500 + 800) = \min(1500 ; 1300) = 1300 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(b_c ; 3b ; b + h_c) = \min(600 ; 3 \cdot 500 ; 500 + 800) = \min(600 ; 1500 ; 1300)$$

$$b_1 = 600 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{1300 \cdot 600}{500 \cdot 500}} = 1,766$$

Uvažujeme výšku podlití 60 mm, což je 0,1x násobek šířky ŽB průvlaku suterénu a menší, než 0,2x násobek šířky. Součinitel vlivu podlití  $\beta_j = 2/3$ .

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$  – beton C25/30

$\gamma_c = 1,5$

$$f_{jd} = \beta_j \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,766 \cdot 25}{1,5} = 19,626 \text{ MPa}$$

Patní plech je z oceli S355, pro  $t_p \leq 40 \text{ mm}$ ,  $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$ .

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yk}}{3f_{jd}\gamma_{M0}}} = 32 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 19,626 \cdot 1,0}} = 78,575 \text{ mm}$$

Účinnou plochu patního plechu spočítáme v programu AutoCAD 2018.

$$A_{eff} = 146\,493,269 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} f_{jd} = (146\,493,269 \cdot 19,626) / 1000 = 2875,097 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 2875,097 \text{ kN} > R_{s,C3,Ed} = N_{Ed} = 2425,69 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 84,4 \%$$

Ověříme, je-li potřeba navrhnout smykovou zarážku přenášející vodorovné zatížení v patce sloupu. Vodorovné síly se přenesou třením ve spáře mezi betonem a ocelí, pokud platí že:

$$V_{Ed} \leq \mu N_{Ed}$$

$$\mu = 0,2$$

Posoudíme pro kotvení sloupu C3 na základě 4 návrhových kombinací uvedených v kapitole 6.2.2.

	$R_{v,C3,Ed} = V_{Ed} \text{ [kN]}$	$R_{s,C3,Ed} = N_{Ed} \text{ [kN]}$	$\mu N_{Ed} \text{ [kN]}$	$V_{Ed} \leq \mu N_{Ed}$
Kombinace 1	232,64	2089,16	417,832	ANO
Kombinace 2	277,6	2425,69	485,138	ANO
Kombinace 3	55,37	498,2	99,64	ANO
Kombinace 4	100,33	834,73	166,946	ANO

Tab. 46 – síly v kotvení sloupu C3

Smyková zarážka není potřeba, avšak z konstrukčních důvodů se použije úpalek HEB 120 s celkovou délkou 160 mm, který bude přivařen k patnímu plechu a zabetonován do ŽB konstrukci suterénu.

### **KOTVENÍ SLOUPU C3 VYHOVUJE**

## 7.6 Přípoj diagonály D1 na krajní průvlak IPE 240

Diagonály trubkového průřezu jsou zakončeny přivařenými kruhovými čelními víčky. Na víčka jsou připojeny dva styčnickové plechy tvořícími vidlici pro šroubovaný přípoj ke styčnickovému plechu přivařenému na průvlak. Plechy vidlice jsou připojeny tupými jednostrannými svary



(podrobněji – viz dílenská dokumentace). Přípoj bude posouzen na maximální návrhovou normálovou sílu (tlak) vznikající v diagonálách v přízemí budovy. Tah v diagonálách řešené v dílenské dokumentaci části ztužidla nevzniká. Ve výkresu detailů přípoje v 1. patře nejsou kotované, protože jsou identické přípojům diagonál na průvlak v přízemí.

$$N_{Ed} = 504,7 \text{ kN}$$

- **Materiál**

Materiál šroubu 6.8

Styčnickový plech a dvojice přípojných plechů – ocel S235,  $t \leq 40 \text{ mm}$ .

$$f_{yb} = 480 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 600 \text{ MPa}$$

$$f_{uk} = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

- **Návrh a posouzení šroubů ve stříhu**

**NÁVRH 4 X ŠROUBY M20, STYČNÍKOVÝ PLECH TL. 15 MM, PLECHY VIDLICE TL. 10 MM.**

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$t_{p1} = 15 \text{ mm}$$

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$t_{p2} = 10 \text{ mm}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \text{ – z\u00e1vit ve st\u0159ihu}$$

$$n = 2 \text{ – po\u010det st\u0159ih\u016f}$$

Únosnost ve stříhu pro 1 šroub:

$$F_{v,Rd,1} = 0,6f_{ub}A_s n/\gamma_{M2} = 0,6 \cdot 600 \cdot 245 \cdot 2/1,25 = 141\,120 \text{ N} = 141,12 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu všech šroubů:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} \cdot 4 = 141,12 \cdot 4 = 564,48 \text{ kN} > N_{Ed} = 504,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využit\u00ed } 89,4 \%$$

- **Návrh a posouzení šroubů v otláčení**

Navrhujeme rozteče šroubů:

$$e_1 = 50 \text{ mm (min. doporu\u010dena hodnota 50 mm)}$$

$$p_1 = 70 \text{ mm (min. doporu\u010dena hodnota 70 mm)}$$

$$e_2 = 40 \text{ mm (min. doporu\u010dena hodnota 40 mm)}$$

$$p_2 = 70 \text{ mm (min. doporu\u010dena hodnota 70 mm)}$$

$$t = \min(2t_{p2}; t_{p1}) = \min(2 \cdot 10; 15) = \min(20; 15) = 15 \text{ mm}$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7, 2,5\right) = \min\left(\frac{2,8 \cdot 40}{22} - 1,7, 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1/(3d_0)}{(p_1/(3d_0)) - 0,25}, \frac{f_{ub}/f_{uk}}{1}\right) = \min\left(\frac{50/(3 \cdot 22)}{(70/(3 \cdot 22)) - 0,25}, \frac{600/360}{1}\right) = 0,758$$

Únosnost v otlacení pro 1 šroub:

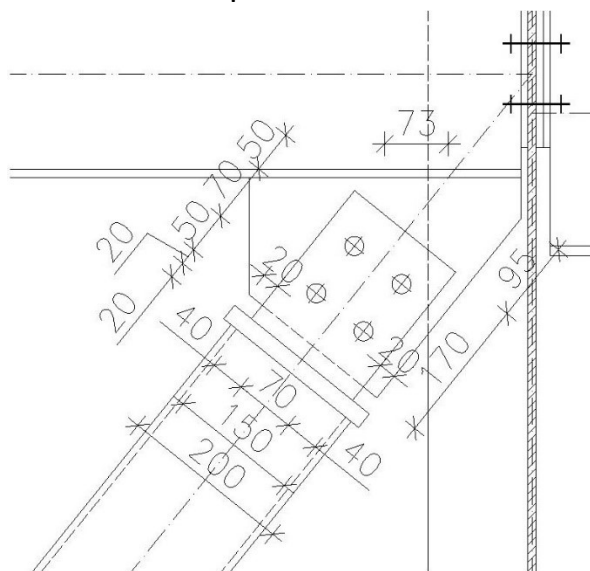
$$F_{b,Rd,1} = k_1 \alpha_b f_{uk} d t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,758 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 15 / 1,25 = 163\,636 \text{ N} = 163,636 \text{ kN}$$

Únosnost v otlacení všech šroubů:

$$F_{b,Rd} = F_{b,Rd,1} \cdot 4 = 163,636 \cdot 4 = 654,545 \text{ kN} > N_{Ed} = 504,7 \text{ kN} \rightarrow$$

→ **OK, využití 77,1 %**

- Návrh a posouzení svařovaného přípoje styčnickového plechu a průvlaku



**NÁVRH OBOUSTRANNÝ KOUTOVÝ SVAR a = 6 MM**

Namáhání svaru excentricky umístěného vůči působení síly v diagonále je:

$$N_{Ed,x} = N_{Ed} \cos \alpha = 504,7 \cdot \cos(51^\circ) = 317,618 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,y} = N_{Ed} \sin \alpha = 504,7 \cdot \sin(51^\circ) = 392,226 \text{ kN}$$

Obr. 59

Moment excentricity kolmé síly na rameni ke středu plechu ( $e = 73,366 \text{ mm} = 0,073 \text{ m}$ ):

$$M_{Ed} = N_{Ed,y} e = 392,226 \cdot 0,073 = 28,632 \text{ kNm}$$

Pro posouzení bude použita zjednodušená metoda:

$a = 6 \text{ mm}$  – účinná tloušťka svaru

$L = 308 \text{ mm}$  – účinná délka svaru

$\beta_w = 0,9$  – pro S355 (rozhoduje)

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,x}}{2aL} = \frac{317,618 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 308} = 85,936 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp 1} = \frac{N_{Ed,y}}{2aL} = \frac{392,226 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 308} = 106,122 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp 2} = \frac{M_{Ed}}{2 \frac{aL^2}{6}} = \frac{28,632 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{6 \cdot 308^2}{6}} = 150,911 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp 1} + \tau_{\perp 2} = 257,033 \text{ MPa}$$

Musí platit:

$$\sqrt{\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2} \leq f_{vw,d}$$

$$\sqrt{85,936^2 + 257,033^2} = 271,018 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,25} = 320 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK, využití } 84,7 \%$$

- Posouzení styčnickového plechu a dvojici přípojných plechů vidlice

Šířky posouzených průřezů vyplývají z obr. 59.

- Styčnickový plech – plný průřez (konzervativně v nejužším místě)

$$h_{p1} = 190 \text{ mm}$$

$$t_{p1} = 15 \text{ mm}$$

$$N_{pl,Rd} = h_{p1} t_{p1} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left( 190 \cdot 15 \cdot \frac{235}{1,0} \right) / 1000 = 669,75 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 669,75 \text{ kN} > N_{Ed} = 504,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 75,4 \%$$

- Styčnickový plech – oslabený průřez

$$h_{net} = h_{p1} - 2d_0 = 190 - 2 \cdot 22 = 146 \text{ mm}$$

$$t_{p1} = 15 \text{ mm}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 h_{net} t_{p1} \frac{f_{uk}}{\gamma_{M2}} = \left( 0,9 \cdot 146 \cdot 15 \cdot \frac{360}{1,25} \right) / 1000 = 567,648 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 567,648 \text{ kN} > N_{Ed} = 504,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 88,9 \%$$

- Dvojice přípojných plechů – plný průřez

$$h_{p2} = 150 \text{ mm}$$

$$t_{p2} = 10 \text{ mm}$$

$$N_{pl,Rd} = 2 h_{p2} t_{p2} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left( 2 \cdot 150 \cdot 10 \cdot \frac{235}{1,0} \right) / 1000 = 705 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 705 \text{ kN} > N_{Ed} = 504,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 71,6 \%$$

- Dvojice přípojných plechů – oslabený průřez

$$h_{net} = h_{p2} - 2d_0 = 150 - 2 \cdot 22 = 106 \text{ mm}$$

$$t_{p2} = 10 \text{ mm}$$

$$N_{u,Rd} = 2 \cdot 0,9 h_{net} t_{p2} \frac{f_{uk}}{\gamma_{M2}} = \left( 2 \cdot 0,9 \cdot 106 \cdot 10 \cdot \frac{360}{1,25} \right) / 1000 = 686,88 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 686,88 \text{ kN} > N_{Ed} = 504,7 \text{ kN} \rightarrow \text{OK, využití } 73,5 \%$$

### **PŘÍPOJ VYHOVUJE**

## 8 Použitá literatura

1. ČSN EN 1993-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha : ČNI, aktuální vydání.
2. ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha : ČNI, aktuální vydání.
3. ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha : ČNI, aktuální vydání.
4. ČSN EN 1994-1-1. Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha : ČNI, aktuální vydání.
5. Studnička J., Holický M., Marková J. Ocelové konstrukce 2, Zatížení. Praha : ČVUT, 2011.
6. Vraný T., Wald F. Ocelové konstrukce, Tabulky. Praha : ČVUT, 2009.
7. Jandera M., Eliášová M., Vraný T. Ocelové konstrukce 01 – Cvičení. Praha : ČVUT, 2015.
8. Macháček J., Studnička J. Ocelové konstrukce 20. Skriptum ČVUT, 2002.
9. Webové stránky a podklady firmy Stavebniny DEK a.s. [www.dek.cz](http://www.dek.cz) (Skladby podlah DEKFLOOR)
10. Webové stránky a podklady firmy Kingspan a.s. [www.kingspan.com](http://www.kingspan.com) (Katalog stěnových izolačních panelů)