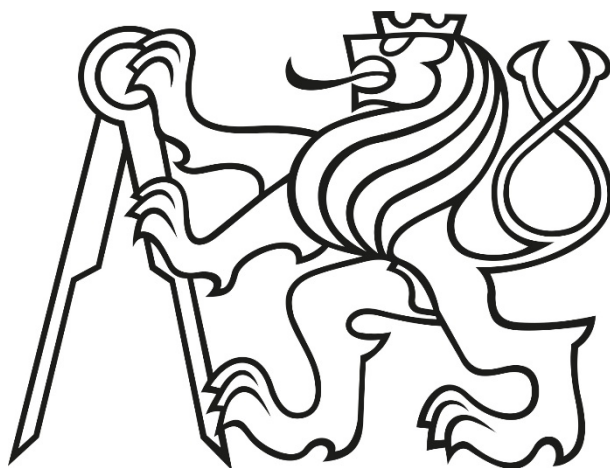


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

K134 – KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Rok vypracování: 2017
Vypracoval: Jaroslav Kučera
Vedoucí práce: Ing. Kamila Cábová, Ph.D



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Požární návrh ocelové konstrukce výstavní části autosalonu

Fire design of steel structure of showroom

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Požární bezpečnost staveb

Vedoucí práce: Ing. Kamila Cábová, Ph.D

Jaroslav Kučera

Praha 2017





ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Kučera	Jméno: Jaroslav	Osobní číslo: 423016
Zadávací katedra: K134 - Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Požární bezpečnost staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Požární návrh ocelové konstrukce výstavní části autosalonu	
Název bakalářské práce anglicky: Fire design of steel structure of showroom	
Pokyny pro vypracování: 1. Koncept požárně bezpečnostního řešení výstavní části objektu 2. Návrh ocelové konstrukce výstavní části budovy za běžné teploty 3. Stanovení teploty plynu pomocí vhodného požárního scénáře 4. Posouzení prvků konstrukce při požáru	
Seznam doporučené literatury: normy ČSN 73 0802, ČSN 73 0804, ČSN EN 1991, ČSN EN 1993 Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, František Wald a kol., 2015	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Kamila Cábová, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.

27.2.2017 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
------------------------------------	---

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Požární návrh ocelové konstrukce vybrané části autosalonu“ vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonu (autorský zákon).

V dne

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Kamile Cábové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování práce věnovala.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá výstavní částí autosalonu a je rozdělena na dvě části. V první části je proveden návrh a posouzení ocelových prvků za běžné teploty. Jedná se o nosnou část střešního pláště, vaznici, prolamovaný nosník, nosník pnutý mezi sloupy, vnitřní kruhový sloup a přípoj nosníku na sloup. Druhá část se věnuje požárnímu řešení. Výstavní část autosalonu je uvažována jako jeden požární úsek. Pro tento úsek je zjištěn stupeň požární bezpečnosti. Práce věnuje pozornost zejména posouzení prolamovaného nosníku a vnitřního kruhového sloupu. Tyto dva prvky jsou posouzeny za požáru na požadovanou požární odolnost. Teplotní analýza je provedena pomocí modelu lokálního požáru a podle normové teplotní křivky. Pro kruhový sloup je navržena vhodná požární ochrana.

Klíčová slova

Autosalon; Návrh za běžné teploty; Posouzení za požáru; Prolamovaný nosník; Kruhový sloup; Model lokálního požáru

Annotation

This bachelor thesis is focused on the car showroom. The document has two parts. The first part contains the design and assessment of steel elements at normal temperature. These elements include a supporting part of the roof, roof beam, castellated girder, beam between columns, circular column inside the building and beam-to-column connection. In the second part there is fire solutions of the structure. The showroom consists only of one fire section. For this section fire risk is calculated. The main attention is paid for the assessment of castellated girder and circular column. These two elements are evaluated at elevated temperature to meet requested fire resistance. Thermal analysis is performed by the model of local fire and by the standard temperature curve. Fire protection is proposed for the column.

Keywords

Car showroom; Design at ambient temperature; Assessment at elevated temperature; Castellated girder; Circular column; Model of local fire

Obsah bakalářské práce:

ČÁST A - Konstrukční řešení vybrané části objektu za běžné teploty

ČÁST B - Konstrukční řešení vybrané části objektu za požáru

Příloha č. 1 – CD s elektronickou verzí bakalářské práce

Příloha č. 2 – Výkres č. 1: Dispoziční výkres výstavní části autosalonu

Příloha č. 3 – Výkres č. 2: Řez A-A' výstavní částí autosalonu

Příloha č. 4 – Výkres č. 3: Detail D2 – Přípoj nosníku na sloup



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Část A

Konstrukční řešení vybrané části objektu za běžné teploty

Bakalářská práce

Jaroslav Kučera

Praha 2017

Obsah

1	Úvod	4
1.1	Popis řešeného objektu	4
2	Zatížení střešního pláště	5
2.1	Zatížení stálé	5
2.2	Zatížení proměnné	5
2.2.1	Zatížení sněhem	5
2.2.2	Zatížení větrem	6
3	Střešní trapézový plech	8
3.1	Zatěžovací stavy	8
3.1.1	Kombinace zatěžovacích stavů	8
3.1.2	Vnitřní síly	10
3.2	Návrh a posouzení	10
3.2.1	Návrh trapézového plechu	10
3.2.2	Posouzení trapézového plechu	10
4	Vaznice	11
4.1	Zatěžovací stavy	12
4.1.1	Kombinace zatěžovacích stavů	12
4.1.2	Vnitřní síly	13
4.2	Návrh a posouzení	13
4.2.1	Návrh vaznice	13
4.2.2	Posouzení vaznice	14
5	Prolamovaný nosník	14
5.1	Zatěžovací stavy	15
5.1.1	Kombinace zatěžovacích stavů	15
5.1.2	Vnitřní síly	16
5.2	Návrh a posouzení	17
5.2.1	Návrh prolamovaného nosníku	17
5.2.2	Posouzení prolamovaného nosníku	18
6	Nosník pnutý mezi sloupy	25
6.1	Zatěžovací stavy	25
6.1.1	Kombinace zatěžovacích stavů	26
6.1.2	Vnitřní síly	26
6.2	Návrh a posouzení	26
6.2.1	Návrh nosníku	26
6.2.2	Posouzení nosníku	27
7	Vnitřní kruhový sloup	28
7.1	Zatížení sloupu	28
7.2	Návrh sloupu	29
7.3	Vnitřní síly	29

7.3.1	Výslednice sil.....	29
7.3.2	Vnitřní síly (MSÚ a MSP).....	30
7.4	Posouzení sloupu	32
8	Přípoj nosníku na sloup	34
8.1	Návrh a posouzení	35
8.1.1	Návrh přípoje	35
8.1.2	Posouzení přípoje.....	36
9	Závěr	37
9.1	Přehled návrhů	37
9.2	Použitá literatura.....	38

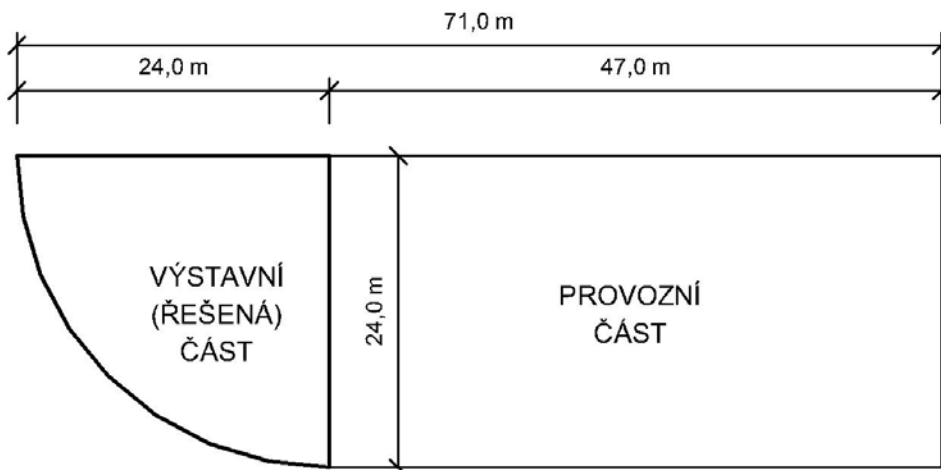
1 Úvod

Tato část práce je zaměřena na návrh a posouzení vybraných konstrukčních prvků za běžné teploty. Jedná se především o části ocelové konstrukce zastřešení ve výstavní části autosalonu (showroom).

1.1 Popis řešeného objektu

Název stavby: Autosalon – Výstavní část

Místo stavby: Plzeň – Borská pole

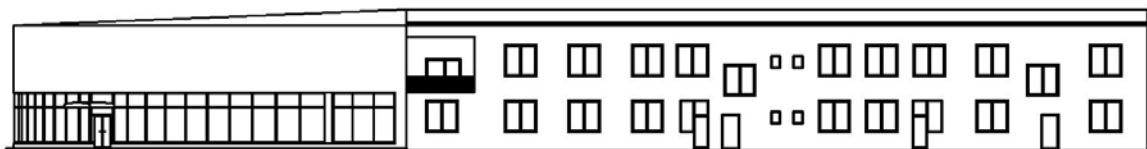


Obrázek 1: Schéma řešeného objektu

Objekt autosalonu je rozdělený na dvě části – provozní a výstavní. Tato práce je zaměřena pouze na výstavní část. Řešený úsek se půdorysně podobá čtvrtkruhu, ale nosná ocelová konstrukce je zde ve tvaru mnohoúhelníku.

Na objektu se nachází plochá střecha, spádovaná jedním směrem (na obr. 1 směrem ke spodnímu okraji a zakřivené části). Nosnou část střešního pláště tvoří trapézový plech. Tento plech je kotven k plnostěnným válcovaným vaznicím, které jsou připojeny k prolamovaným válcovaným nosníkům. Prolamované nosníky jsou pnuty mezi ocelovými sloupy s kruhovým průřezem. Výjimku tvoří tři prolamované nosníky, které jsou na jedné straně připojeny k dalšímu válcovanému nosníku a až pomocí něho je zatížení přeneseno na sloup.

Fasáda výstavní části prvního nadzemního podlaží je prosklená (lze vidět na obr. 2). Provozní část je od řešené části oddělena zděnou stěnou, která tak zajišťuje i ztužení celého objektu. Další ztužení je řešeno pomocí táhel ve střešní rovině a obvodové stěně.



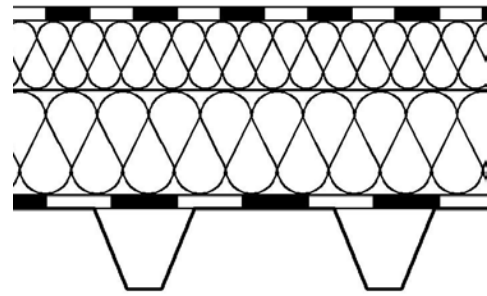
Obrázek 2: Čelní pohled

2 Zatížení střešního pláště

2.1 Zatížení stálé

Skladba střešního pláště (obr. 3):

- Hydroizolace; tl. 1,5 mm
- Tepelná izolace - vrchní; tl. 80 mm
- Tepelná izolace - spodní; tl. 120 mm
- Parotěsnicí vrstva; tl. 0,15 mm
- Trapézový plech



Obrázek 3: Skladba střešního pláště

Vlastní tíha střešního pláště:

	tl. [mm]	g_k [kN.m ⁻²]	γ [-]	g_d [kN.m ⁻²]
Hydroizolace – fólie z PVC-P 76; 1,85 kg/m ²	1,5	0,019	1,35	0,026
Tepelná izolace – desky z minerální vlny, vrchní vrstva; 175 kg/m ³	80	0,140	1,35	0,189
Tepelná izolace – desky z minerální vlny, spodní vrstva; 160 kg/m ³	120	0,192	1,35	0,259
Parotěsnicí vrstva – fólie lehkého typu z nízkohustotního polyethylenu; 120 g/m ²	0,15	0,001	1,35	0,001
Trapézový plech TR 92/275/0,88; 10,47 kg/m ²	92,5	0,105	1,35	0,142
Celkem stálé		0,457		0,617

Minimální stálé zatížení střešního pláště (výstavba – pouze tíha trapézového plechu):

	g_k [kN.m ⁻²]	γ [-]	g_d [kN.m ⁻²]
Minimální stálé	0,105	1,35	0,142

2.2 Zatížení proměnné

2.2.1 Zatížení sněhem

Výpočet podle [1]. Charakteristická hodnota plošného zatížení sněhem:

$$\mu_i = 0,8 \quad \text{- tvarový součinitel } (\alpha = 2,3^\circ)$$

$$C_e = 1,0 \quad \text{- součinitel expozice (normální typ krajiny)}$$

$$C_t = 1,0 \quad \text{- tepelný součinitel}$$

$$s_k = 0,7 \text{ kN.m}^{-2} \quad \text{- char. hodnota zatížení sněhem na zemi (sněhová oblast I)}$$

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,7 = \mathbf{0,560 \text{ kN.m}^{-2}}$$

2.2.2 Zatížení větrem

Výpočet podle [2]. Základní rychlost větru:

$$v_{b,0} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad - \text{ výchozí základní rychlost větru (větrná oblast II)}$$

$$c_{\text{dir}} = 1,0 \quad - \text{ součinitel směru větru}$$

$$c_{\text{season}} = 1,0 \quad - \text{ součinitel ročního období}$$

$$v_b = c_{\text{dir}} * c_{\text{season}} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Základní tlak větru:

$$\rho = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad - \text{ měrná hmotnost vzduchu}$$

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(z) = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 390,6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

Maximální dynamický tlak:

- kategorie terénu III (plocha s vegetací nebo budovami)

$$z_0 = 0,300 \text{ m} \quad - \text{ délka drsnosti}$$

$$z_{\text{min}} = 5 \text{ m} \quad - \text{ minimální výška}$$

$$z = 8 \text{ m} \quad - \text{ výška konstrukce nad terénem}$$

$$c_e(z) = 1,5 \quad - \text{ součinitel expozice odečtený z grafu}$$

$$q_p = c_e(z) * q_b(z) = 1,5 * 390,6 = 585,9 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = \mathbf{0,586 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Tlak větru na vnější povrch:

Jelikož jsou návětrné plochy větší než 10 m^2 , je uvažován pouze součinitel $c_{pe,10}$.

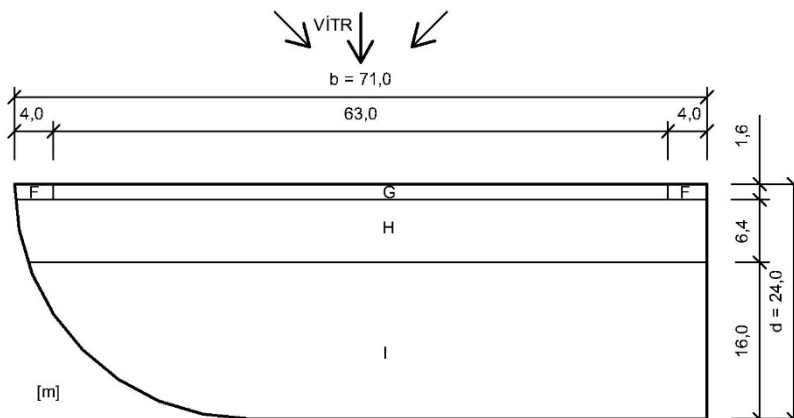
Sklon střechy je $2,3^\circ$ - plochá střecha (s ohledem na použitou skladbu střešního pláště).

$$w_{e,k} = q_p(z_e) * c_{pe,10} = 0,586 * c_{pe,10}$$

Příčný vítr:

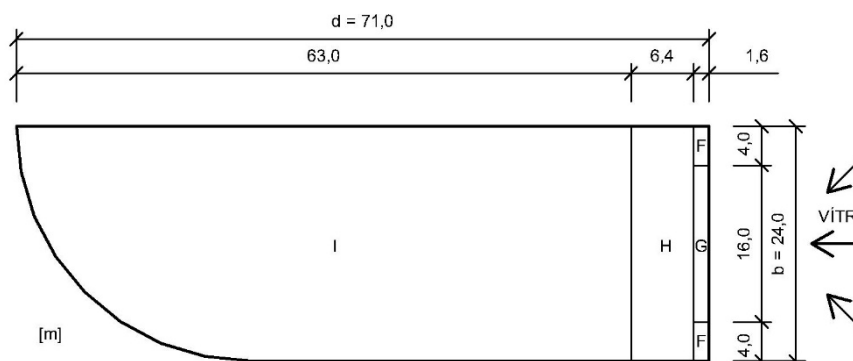
$$h = 8 \text{ m}; b = 71 \text{ m} \text{ (rozměr kolmo na směr větru)}$$

$$e = \min(b; 2 * h) = \min(71 \text{ m}; 2 * 8) = \min(71 \text{ m}; 16 \text{ m}) = 16 \text{ m}$$



Obrázek 4: Příčný vítr

Podélný vítr:

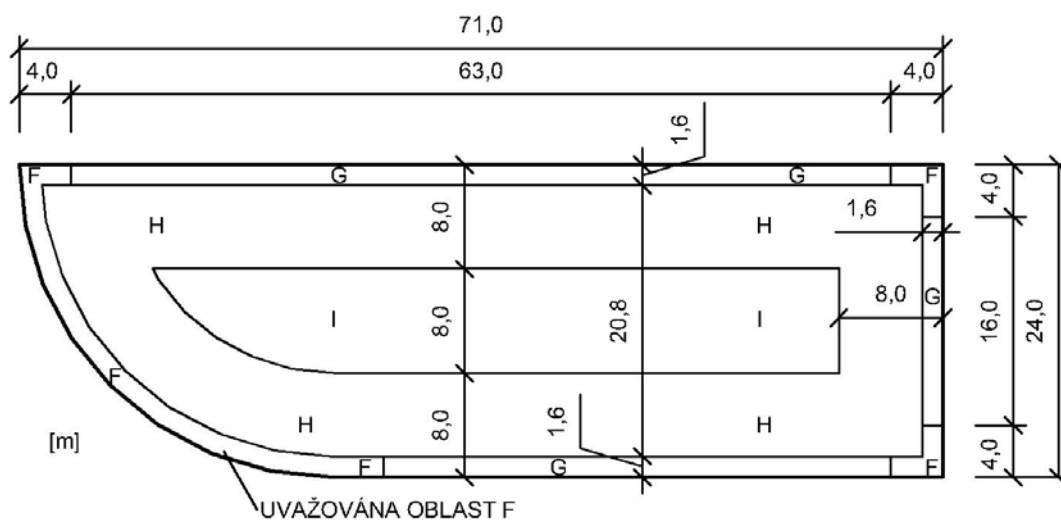
 $h = 8 \text{ m}; b = 24 \text{ m}$ (rozměr kolmo na směr větru) $e = \min(b; 2 * h) = \min(24 \text{ m}; 2 * 8) = \min(24 \text{ m}; 16 \text{ m}) = 16 \text{ m}$ 

Obrázek 5: Podélný vítr

Rozdělení oblastí na střeše:

Tabulka 1: Hodnoty vnějších tlaků

Oblast	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$ [-]	$W_{e,k}$ [kN.m ⁻²]	$C_{pe,10}$ [-]	$W_{e,k}$ [kN.m ⁻²]	$C_{pe,10}$ [-]	$W_{e,k}$ [kN.m ⁻²]	$C_{pe,10}$ [-]	$W_{e,k}$ [kN.m ⁻²]
Příčný	-1,8	-1,055	-1,2	-0,703	-0,7	-0,410	±0,2	±0,117
Podélný	-1,8	-1,055	-1,2	-0,703	-0,7	-0,410	±0,2	±0,117

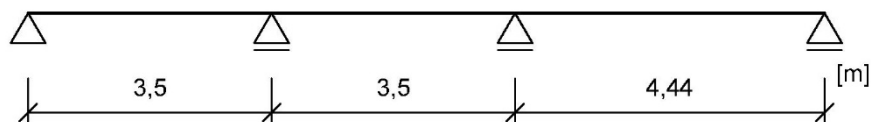


Obrázek 6: Rozdělení oblastí na střeše

V místě zakřiveného půdorysu (řešená část autosalonu) je uvažována při hraně střechy oblast F. Jedná se o předpoklad na straně bezpečnosti, kdy může v tomto místě dojít k nepředvídatelnému chování větru. Přesnější výpočet zatížení větrem není obsahem této práce.

3 Střešní trapézový plech

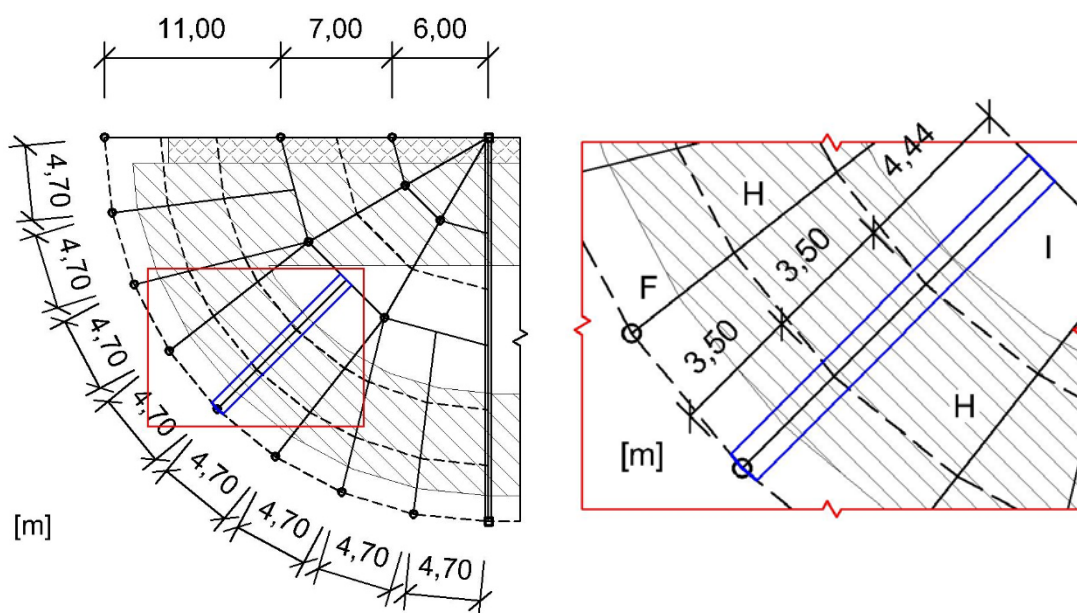
Trapézový plech je navržen a posouzen v nejnepříznivější oblasti střešního pláště. Jedná se o spojitý nosník o třech polích s různým rozpětím (3,5 m, 3,5 m, 4,44 m). Trapézový plech je v místě podpor uložen na vaznicích.



Obrázek 7: Statické schéma trapézového plechu

3.1 Zatěžovací stavy

Vzhledem k tomu, že pole spojitého nosníku nejsou o stejných rozpětích, nelze trapézový plech posoudit pomocí statických tabulek výrobců. Z tohoto důvodu je idealizovaný nosník vymodelován v programu Scia Engineer 14. Pomocí tří kombinací zatěžovacích stavů jsou získány průběhy vnitřních sil na spojitém nosníku (na 1 m běžný). Délky a působení jednotlivých spojitých zatížení od větru jsou odečteny z obr. 6. Pro MSÚ je počítáno s návrhovými hodnotami a pro MSP s charakteristickými hodnotami zatížení.



Obrázek 8: Schéma zatížení trapézového plechu

3.1.1 Kombinace zatěžovacích stavů

KZS1 – (MSÚ) Minimální stálé zatížení + sání větru

Vzhledem k půdorysnému tvaru řešeného objektu je uvažováno, že v místě posouzení trapézového plechu dochází ke shodným zatížením od podélného i příčného větru. Z tohoto důvodu není kombinace se sáním větru rozdělena na příčný a podélný vítr.

Obecně: $f_{d,ZS1} = f_{gk,min} * \gamma_g + f_{qk,vitr} * \gamma_q$

V oblasti F (0,0 m; 1,6 m):

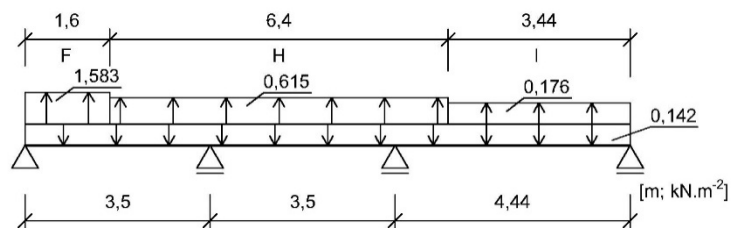
$$f_{d,ZS1,F} = 0,105 * 1,35 - 1,055 * 1,5 = -1,441 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

V oblasti H (1,6 m; 8,0 m):

$$f_{d,ZS1,H} = 0,105 * 1,35 - 0,410 * 1,5 = -0,473 \text{ kN.m}^{-2}$$

V oblasti I (8,0 m; 11,44 m):

$$f_{d,ZS1,I} = 0,105 * 1,35 - 0,117 * 1,5 = -0,034 \text{ kN.m}^{-2}$$



Obrázek 9: Schéma zatížení KZS1

KZS2 - (MSÚ) Maximální stálé zatížení + sníh + případný tlak větru ($\psi_0 = 0,6$)

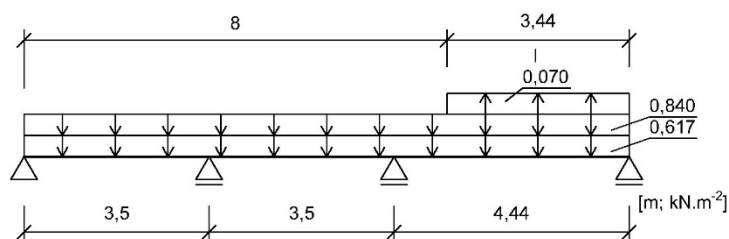
Obecně: $f_{d,ZS2} = f_{gk,max} * \gamma_g + f_{qk,snih} * \gamma_q + f_{qk,vitr} * \psi_0$

V oblasti F, H (0,0 m; 8,0 m):

$$f_{d,ZS2,F,H} = 0,457 * 1,35 + 0,560 * 1,5 = 1,457 \text{ kN.m}^{-2}$$

V oblasti I (8,0 m; 11,44 m):

$$f_{d,ZS2,I} = 0,457 * 1,35 + 0,560 * 1,5 + 0,117 * 0,6 = 1,527 \text{ kN.m}^{-2}$$

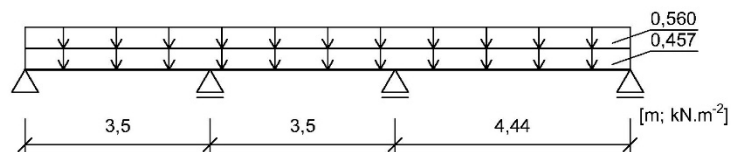


Obrázek 10: Schéma zatížení KZS2

KZS3 - (MSP) Maximální stálé zatížení + sníh

Obecně: $f_{k,ZS3} = f_{gk,max} + f_{qk,snih}$

$$f_{k,ZS3} = 0,457 + 0,560 = 1,017 \text{ kN.m}^{-2}$$

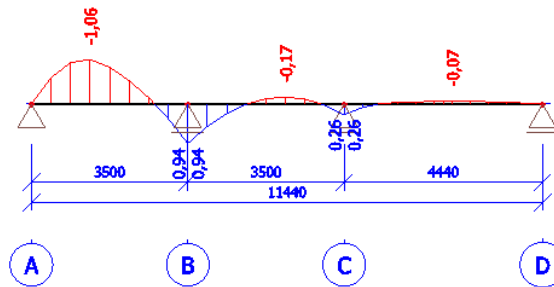


Obrázek 11: Schéma zatížení KZS3

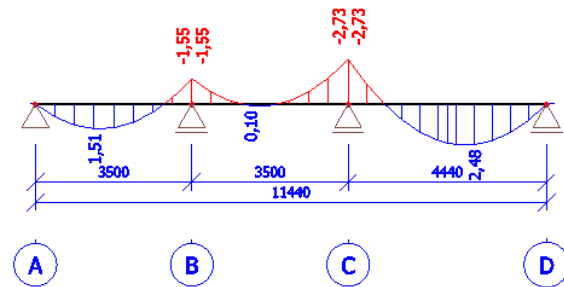
3.1.2 Vnitřní síly

- Grafické výstupy programu Scia Engineer 14

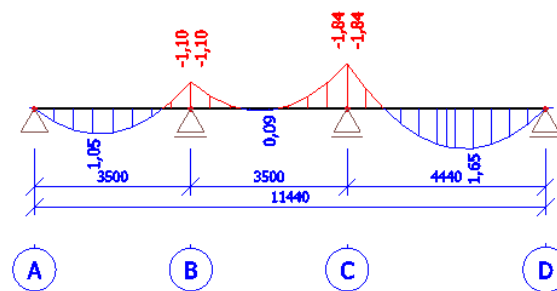
Ohybové momenty od jednotlivých KZS [kNm/m']



Obrázek 12: Ohybový moment KZS1



Obrázek 13: Ohybový moment KZS2



Obrázek 14: Ohybový moment KZS3

3.2 Návrh a posouzení

3.2.1 Návrh trapézového plechu

Návrh: **TR 92/275/0,88**, pozitivní poloha, S320

$E = 210 \text{ GPa}$

Kladný moment

Záporný moment

$f_{yk} = 320 \text{ MPa}$

$W_{y,eff+} = 23,15 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$W_{y,eff-} = 24,21 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$m = 10,47 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

$I_{y,eff+} = 1,550 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$I_{y,eff-} = 1,477 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

3.2.2 Posouzení trapézového plechu

MSÚ – Mezní stav únosnosti:

Maximální kladný ohybový moment – KZS2 (obr. 13)

$M_{Ed+} = 2,480 \text{ kNm}$

$$M_{Rd+} = W_{y,eff+} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 23,15 \cdot 10^3 \cdot \frac{320}{1,0} = 7,408 \text{ kNm}$$

$M_{Ed+} = 2,480 \text{ kNm} < M_{Rd+} = 7,408 \text{ kNm}$

-> VYHOVUJE

Maximální záporný ohybový moment – KZS2 (obr. 13)

$$M_{Ed-} = 2,730 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd-} = W_{y,eff+} * \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 24,21 * 10^3 * \frac{320}{1,0} = 7,747 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed-} = 2,730 \text{ kNm} < M_{Rd-} = 7,747 \text{ kNm}$$

-> VYHOVUJE

MSP – Mezní stav použitelnosti:

Posuzováno je pole s největším rozpětím (4,44 m). Průhyb je počítán na 1 m běžný trapézového plechu, jako součet dvou ovlivňujících složek – charakteristické spojitě zatížení (obr. 11) a ohybový moment při vnitřní podpoře (obr. 14).

$$f_k = 1,017 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$M_{Ek} = -1,840 \text{ kNm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{f_k * l^4}{E * I_{y,eff+}} + 0,06415 * \frac{M_{Ek} * l^2}{E * I_{y,eff+}}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{1,017 * 4440^4}{210 * 10^3 * 1,550 * 10^6} + 0,06415 * \frac{-1,840 * 10^6 * 4440^2}{210 * 10^3 * 1,550 * 10^6} = 8,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{4440}{200} = 22,2 \text{ mm}$$

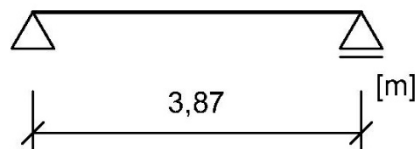
$$\delta = 8,7 \text{ mm} < \delta_{lim} = 22,2 \text{ mm}$$

-> VYHOVUJE

Navržený trapézový plech TR 92/275/0,88, pozitivní poloha VYHOVUJE na oba mezní stavy.

4 Vaznice

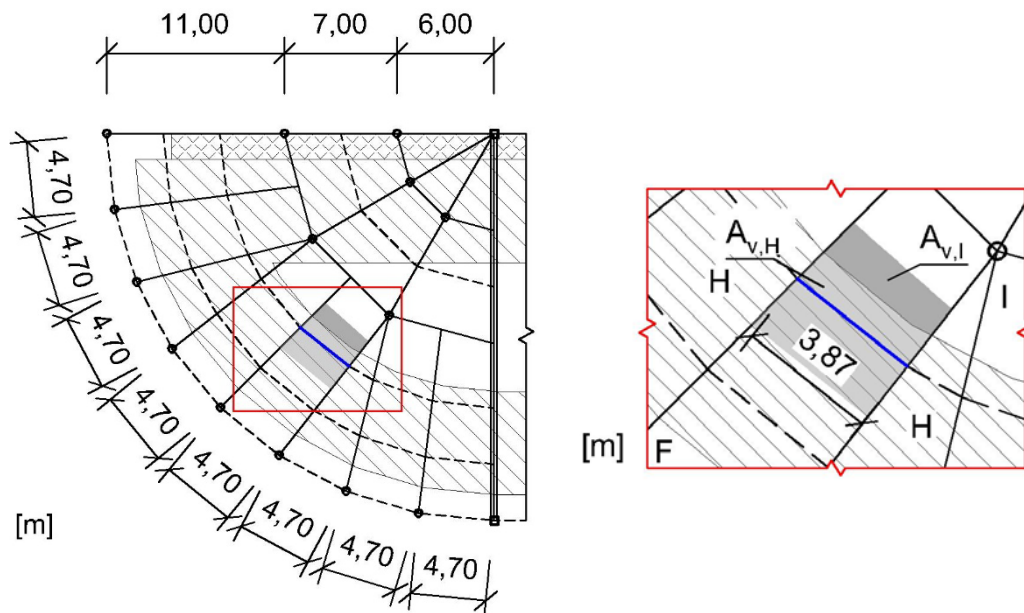
Vaznice je navržena a posouzena v nejnepříznivější oblasti střešního pláště (maximální účinek tlaku větru + největší zatěžovací šířka). Ve výpočtu je vaznice uvažována jako prostý nosník o rozpětí 3,87 m. Vaznice jsou provedeny z plnostěnných válcovaných ocelových profilů a v místě podpor jsou uloženy na prolamovaných nosnících.



Obrázek 15: Statické schéma vaznice

4.1 Zatěžovací stavy

Zatěžovací plocha působící na vaznici má nepravidelný tvar, a proto je pomocí programu AutoCAD zjištěna celková zatěžovací plocha od oblasti H a I. Tyto plochy jsou poděleny rozpětím vaznice, čímž je zjištěna přibližná zatěžovací šířka od jednotlivých oblastí a dále je tak zatížení od střešního pláště převedeno na konstantní spojitě. Pomocí tří kombinací zatěžovacích stavů jsou získány velikosti vnitřních sil na spojitěm nosníku. Pro MSÚ je počítáno s návrhovými hodnotami zatížení.



Obrázek 16: Schéma zatěžovacích ploch vaznice

Zatěžovací plocha H:	$A_{v,H} = 9,260 \text{ m}^2$
Zatěžovací šířka H (ZŠH):	$9,260 / 3,870 = 2,393 \text{ m}$
Zatěžovací plocha I:	$A_{v,I} = 5,590 \text{ m}^2$
Zatěžovací šířka I (ZŠI):	$5,590 / 3,870 = 1,444 \text{ m}$
Zatěžovací šířka celková (ZŠ):	$2,393 + 1,444 = 3,837 \text{ m}$
Odhad vlastní tíhy - 10 kg.m^{-1} :	$0,1 \text{ kN.m}^{-1}$

4.1.1 Kombinace zatěžovacích stavů

KZS1 - (MSÚ) Minimální stálé zatížení + sání větru

$$f_{d,ZS1} = f_{gk,min} * \gamma_g * Z\check{S} + \text{vl. tíha} * \gamma_g + f_{qk,vitr,H} * \gamma_q * Z\check{S}H + f_{qk,vitr,I} * \gamma_q * Z\check{S}I$$

$$f_{d,ZS1} = 0,105 * 1,35 * 3,837 + 0,1 * 1,35 - 0,410 * 1,5 * 2,393 - 0,117 * 1,5 * 1,444$$

$$f_{d,ZS1} = -1,046 \text{ kN.m}^{-1}$$

KZS2 – (MSÚ) Maximální stálé zatížení + sníh + případný tlak větru ($\psi_0 = 0,6$)

$$f_{d,ZS2} = (f_{gk,max} * \gamma_g + f_{qk,snih} * \gamma_q) * Z\check{S} + vl. \text{ tíha} * \gamma_g + f_{qk,vitr,I} * \psi_0 * Z\check{S}I$$

$$f_{d,ZS2} = (0,457 * 1,35 + 0,560 * 1,5) * 3,837 + 0,1 * 1,35 + 0,117 * 0,6 * 1,444$$

$$f_{d,ZS2} = 5,827 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

4.1.2 Vnitřní síly

KZS1

$$M_{Ed,ZS1} = \frac{1}{8} * f_{d,ZS1} * l^2 = \frac{1}{8} * (-1,046) * 3,870^2 = -1,958 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,ZS1} = \frac{1}{2} * f_{d,ZS1} * l = \frac{1}{2} * (-1,046) * 3,870 = -2,024 \text{ kN}$$

KZS2

$$M_{Ed,ZS2} = \frac{1}{8} * f_{d,ZS2} * l^2 = \frac{1}{8} * 5,827 * 3,870^2 = 10,909 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,ZS2} = \frac{1}{2} * f_{d,ZS2} * l = \frac{1}{2} * 5,827 * 3,870 = 11,275 \text{ kN}$$

4.2 Návrh a posouzení

4.2.1 Návrh vaznice

Návrh pomocí MSÚ – rozhodující je KZS2, kde vzniká největší ohybový moment a posouvající síla. Předpokládáme válcovaný plnostěnný vazník z oceli S355, kterému je díky trapézovému plechu zabráněno v klopení.

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{Ed} = 11,193 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 11,569 \text{ kN}$$

Minimální průřezový modul (předpoklad třídy 1):

$$W_{pl,y,min} = \frac{M_{Ed} * \gamma_{M0}}{\chi_{LT} * f_y} = \frac{10,909 * 10^6 * 1,0}{1,0 * 355} = 30,730 * 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrh pomocí ocelářských tabulek: **Profil IPE 120** (průřez třídy 1)

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

$$m = 10,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \quad (\text{zanedbatelná odchylka oproti odhadu})$$

$$W_{pl,y} = 60,73 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_{vz} = 631 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3,178 * 10^6 \text{ mm}^4$$

4.2.2 Posouzení vaznice

MSÚ – Mezní stav únosnosti:

Návrhový moment únosnosti

$$M_{pl,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,0 * 60,73 * 10^3 * \frac{355}{1,0} = 21,559 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 10,909 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 21,559 \text{ kNm}$$

-> VYHOVUJE

Návrhová smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{631 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 129,329 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 11,275 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 129,329 \text{ kN}$$

-> VYHOVUJE

MSP – Mezní stav použitelnosti:

Průhyb střešních vaznic od celkového zatížení není omezen. Posuzován je pouze průhyb od proměnného zatížení – zatížení sněhem, pomocí průhybu na prostém nosníku, zatíženém rovnoměrným spojitým zatížením. Pro MSP je počítáno s charakteristickou hodnotou zatížení.

$$f_k = f_{qk,snih} * Z\check{S} = 0,560 * 3,837 = 2,149 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{f_k * l^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{2,149 * 3870^4}{210 * 10^3 * 3,178 * 10^6} = 9,4 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{3870}{200} = 19,4 \text{ mm}$$

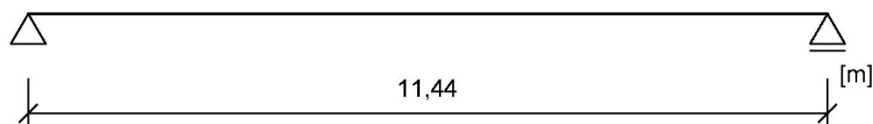
$$\delta = 9,4 \text{ mm} < \delta_{lim} = 19,4 \text{ mm}$$

-> VYHOVUJE

Navržený profil IPE 120 VYHOVUJE na oba mezní stavy.

5 Prolamovaný nosník

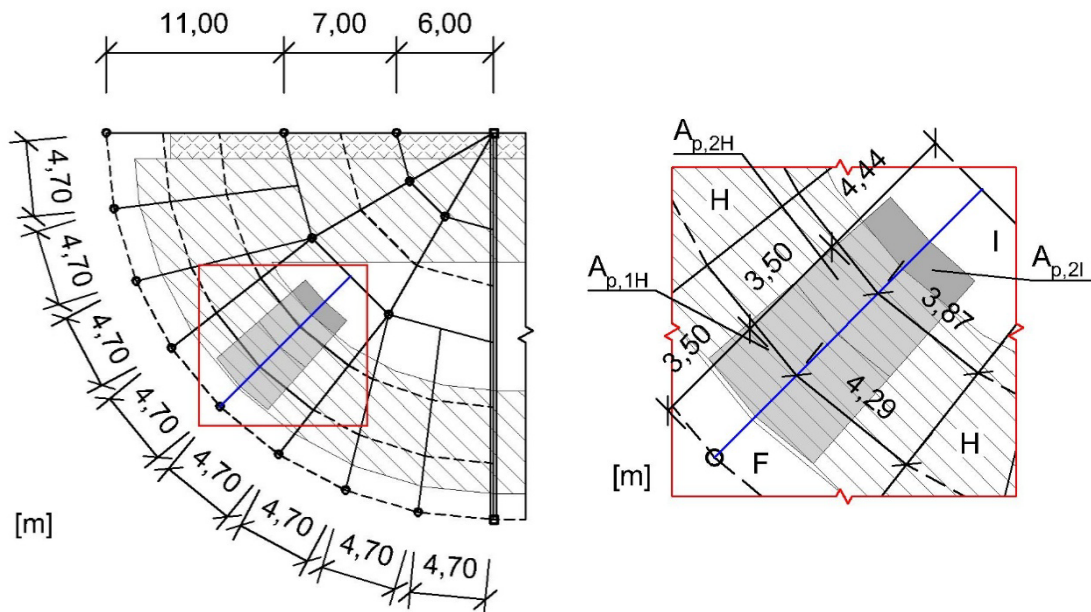
Prolamovaný nosník je navržen a posouzen v nejnepříznivější oblasti střešního pláště a je uvažován jako prostý nosník o rozpětí 11,44 m. Nosník je na jedné straně připojen ke kruhovému sloupu a na druhé (vnitřní) straně k dalšímu nosníku.



Obrázek 17: Statické schéma prolamovaného nosníku

5.1 Zatěžovací stavy

Zatížení působící na prolamovaný nosník se skládá ze zatížení od vaznic (osamělé síly) a z vlastní tíhy nosníku (spojité zatížení). Velikost působících osamělých sil vychází ze zatěžovacích ploch jednotlivých vaznic a jejich vlastní tíhy. Na prolamovaný nosník jsou v poli uloženy celkem 4 vaznice. Dle schématu je uvažováno, že zatížení od sousedních vaznic je symetrické. Velikosti působících ploch na vaznice od oblastí H a I jsou zjištěny pomocí programu AutoCAD. Nosník je vymodelován v programu Scia Engineer 14. Pomocí dvou kombinací zatěžovacích stavů jsou získány průběhy vnitřních sil na prostém nosníku. Pro MSÚ bylo počítáno s návrhovými hodnotami.



Obrázek 18: Schéma zatěžovacích ploch prolamovaného nosníku

Vaznice IPE 120 (10,4 kg/m): $f_{v,k} = 0,104 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

$$f_{v,d} = f_{v,k} \cdot \gamma_g = 0,104 \cdot 1,35 = 0,140 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Osamělá síla F_1 $A_{p,1H} = 14,960 \text{ m}^2 = A_{p,1}$

Osamělá síla F_2 $A_{p,2H} = 10,810 \text{ m}^2$

$$A_{p,2I} = 4,210 \text{ m}^2$$

$$A_{p,2} = A_{p,2H} + A_{p,2I} = 10,810 + 4,210 = 15,020 \text{ m}^2$$

Odhad vlastní tíhy – 30 kg.m⁻¹: $0,3 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

5.1.1 Kombinace zatěžovacích stavů

KZS1 – (MSÚ) Minimální stálé zatížení + sání větru

$$f_{d,ZS1} = \text{vl. tíha (odhad)} \cdot \gamma_g = 0,300 \cdot 1,35 = 0,405 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

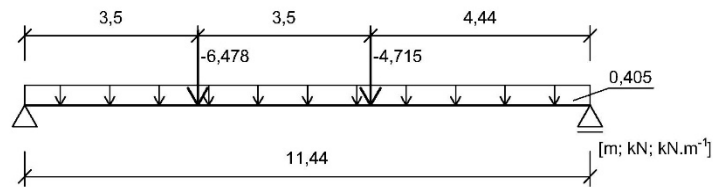
$$F_{1d,ZS1} = (A_{p,1} \cdot f_{gk,\min} + 4,290 \cdot f_{v,k}) \cdot \gamma_g + A_{p,1} \cdot f_{qk,\text{vitr},H} \cdot \gamma_q$$

$$F_{1d,ZS1} = (14,960 \cdot 0,105 + 4,290 \cdot 0,104) \cdot 1,35 - 14,960 \cdot 0,410 \cdot 1,5 = -6,478 \text{ kN}$$

$$F_{2d,ZS1} = (A_{p,2} * f_{gk,min} + 3,870 * f_{v,k}) * \gamma_g + (A_{p,2H} * f_{qk,vitr,H} + A_{p,2I} * f_{qk,vitr,I}) * \gamma_q$$

$$F_{2d,ZS1} = (15,02 * 0,105 + 3,87 * 0,104) * 1,35 - (10,81 * 0,410 + 4,21 * 0,117) * 1,5$$

$$F_{2d,ZS1} = -4,715 \text{ kN}$$



Obrázek 19: Schéma zatížení KZS1

KZS2 - (MSÚ) Maximální stálé zatížení + sníh + případný tlak větru ($\psi_0 = 0,6$)

$$f_{d,ZS2} = \text{vl. tíha (odhad)} * \gamma_g = 0,300 * 1,35 = 0,405 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$F_{1d,ZS2} = (A_{p,1} * f_{gk,max} + 4,290 * f_{v,k}) * \gamma_g + A_{p,1} * f_{qk,snih} * \gamma_q$$

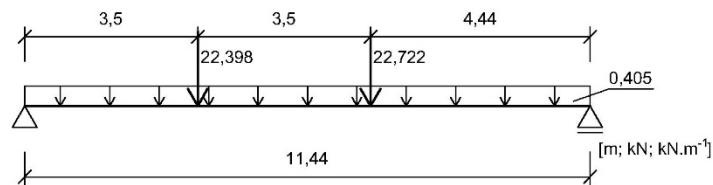
$$F_{1d,ZS2} = (14,960 * 0,457 + 4,290 * 0,104) * 1,35 + 14,960 * 0,560 * 1,5$$

$$F_{1d,ZS2} = 22,398 \text{ kN}$$

$$F_{2d,ZS2} = (A_{p,2} * f_{gk,max} + 3,870 * f_{v,k}) * \gamma_g + A_{p,2} * f_{qk,snih} * \gamma_q + A_{p,2I} * f_{qk,vitr,I} * \psi_0$$

$$F_{2d,ZS2} = (15,02 * 0,457 + 3,87 * 0,104) * 1,35 + 15,02 * 0,560 * 1,5 + 4,21 * 0,117 * 0,6$$

$$F_{2d,ZS2} = 22,722 \text{ kN}$$

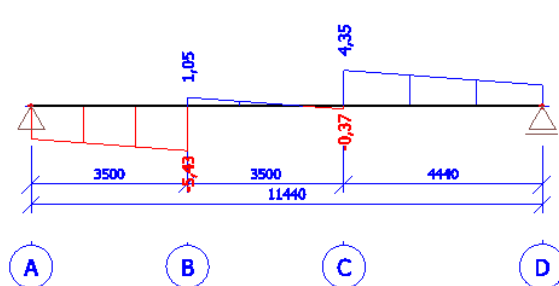


Obrázek 20: Schéma zatížení KZS2

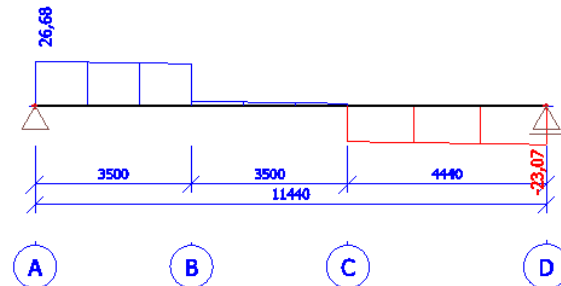
5.1.2 Vnitřní síly

- Grafické výstupy programu Scia Engineer 14

Posouvající síly od jednotlivých KZS [kN]

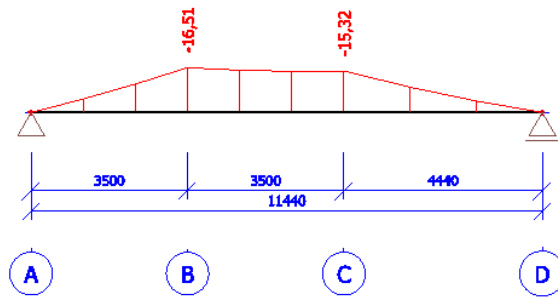


Obrázek 21: Posouvající síla KZS1

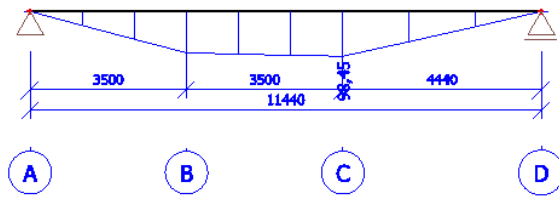


Obrázek 22: Posouvající síla KZS2

Ohybové momenty od jednotlivých KZS [kNm]



Obrázek 23: Ohybový moment KZS1



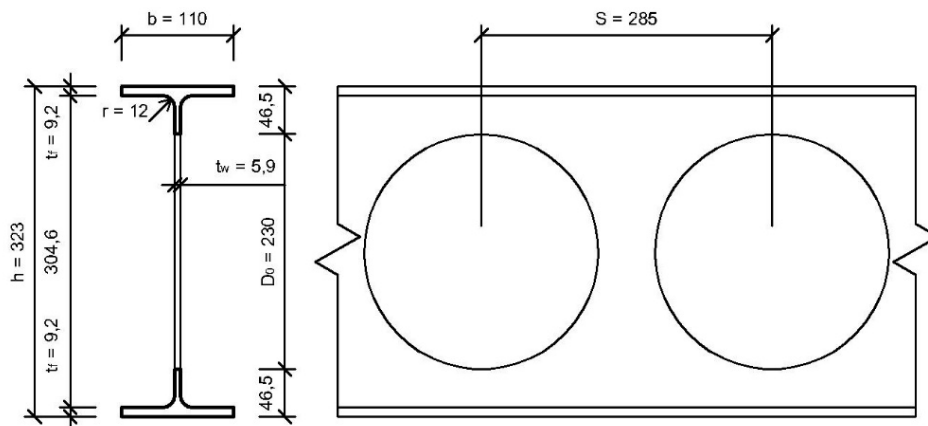
Obrázek 24: Ohybový moment KZS2

5.2 Návrh a posouzení

5.2.1 Návrh prolamovaného nosníku

Návrh pomocí MSÚ – rozhodující je KZS2, kde vzniká největší ohybový moment (obr. 24) a posouvající síla (obr. 22). Předpokládáme nosník s kruhovými otvory z oceli S355.

Návrh: Symetrický prolamovaný nosník s kruhovými otvory **IPE 220**



Obrázek 25: Prolamovaný nosník

Průřezové charakteristiky:

$$M_{Ed} = 98,450 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 26,680 \text{ kN}$$

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

$$G = 80,7 \text{ GPa}$$

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

$$m = 27,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

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

$$h = 323 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,9 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,2 \text{ mm}$$

$$D_0 = 230 \text{ mm}$$

$$S = 285 \text{ mm}$$

$$y_e = 8,9 \text{ mm}$$

$$H = h - 2 \cdot y_e = 323 - 2 \cdot 8,9 = 305,2 \text{ mm}$$

$$A_T = 1295 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 3,952 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$I_{y,osl} = 6,057 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,osl} = 2,047 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 9,711 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 5,024 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

5.2.2 Posouzení prolamovaného nosníku

MSÚ – Mezní stav únosnosti:

Plastická únosnost

$$M_{pl,Rd} = A_T * H * \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1295 * 305,2 * \frac{355}{1,0} = 140,308 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 98,450 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 140,308 \text{ kNm}$$

-> VYHOVUJE

Únosnost ve smyku

Vertikální smyk:

$$V_{pl,Rd} = 0,9 * \sum A_{TW} * \frac{f_{yk}/\gamma_{M0}}{\sqrt{3}} = 1,04 * A_{TW} * \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1,04 * 220,1 * \frac{355}{1,0} = 81,261 \text{ kN}$$

$$A_{TW} = \left(\frac{h}{2} - \frac{D_0}{2} - t_f \right) * t_w = \left(\frac{323}{2} - \frac{230}{2} - 9,2 \right) * 5,9 = 220,1 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = 26,680 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 81,261 \text{ kN}$$

-> VYHOVUJE

Posouzení, zda rozhoduje vodorovný smyk:

$$S \geq D_0 * \frac{h - 2 * y_e}{D_0 - 2 * y_e}$$

$$S = 285 \text{ mm} < 230 * \frac{323 - 2 * 8,9}{230 - 2 * 8,9} = 330 \text{ mm}$$

-> VODOROVNÝ SMYK JE ROZHODUJÍCÍ

Vodorovný smyk:

$$V_{pl,Rd} = (S - D_0) * t_w * \frac{f_{yk}/\gamma_{M0}}{\sqrt{3}} = (285 - 230) * 5,9 * \frac{355/1,0}{\sqrt{3}} = 66,509 \text{ kN}$$

$$V_h = \frac{S}{(h - 2 * y_e)} * V_{Ed} = \frac{285}{(323 - 2 * 8,9)} * 26,680 * 10^3 = 24,914 \text{ kN}$$

$$V_h = 24,914 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 66,509 \text{ kN}$$

-> VYHOVUJE

Interakce smyku a ohybu

Pokud je smyk malý (působící smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti pásu), není třeba interakci posuzovat.

$$V_{Ed} = 26,680 \text{ kN} < \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{66,509}{2} = 33,255 \text{ kN}$$

-> NENÍ POTŘEBA POSUOVAT INTERAKCI SMYKU A OHYBU

Stabilita nosníku při ohybu (klopení)

Trapézový plech nebrání ztrátě stability nosníku při ohybu (konzervativní předpoklad). Horní pásnici je bráněno v klopení v místě uložení vaznic (největší vzdálenost mezi vaznicemi je 4,44 m).

Zatřívění průřezu:

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

Stojina

$$c = h - 2 * (r + t_f) - D_0 = 323 - 2 * (12 + 9,2) - 230 = 50,6 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 5,9 \text{ mm}$$

$$c/t = 50,6/5,9 = 8,6 < 72 * \varepsilon = 72 * 0,814 = 58,6 \quad - \text{ stojina třídy 1}$$

Pásnice

$$c = (b - 2 * r - t_w)/2 = (110 - 2 * 12 - 5,9)/2 = 40,1 \text{ mm}$$

$$t = t_f = 9,2 \text{ mm}$$

$$c/t = 40,1/9,2 = 4,4 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 7,3 \quad - \text{ pásnice třídy 1}$$

-> PRŮŘEZ TŘÍDY 1

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Výpočet podle kritického momentu při klopení:

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_{z,osl} * G * I_t}}{L}$$

$$L = 4440 \text{ mm} \quad - \text{ největší vzdálenost mezi vaznicemi držící horní pás}$$

Bezrozměrný kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} * \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

Zatížení působí ve středu smyku, průřez je symetrický k vodorovné ose – uplatňován pouze součinitel C_1 .

Tvar momentového obrazce – poměr koncových momentů (obr. 24):

$$\psi = \frac{0}{98,450} = 0$$

Okrajové podmínky uložení:

$$k_z = 1,0 \quad - \text{ v ohybu – kloubové uložení}$$

$$k_w = 1,0 \quad - \text{ v kroucení – není zabráněno deplanaci}$$

$$C_{1,0} = 1,77 \quad - \text{ pro: } \psi = 0; k_z = 1,0$$

$$C_{1,1} = 1,85 \quad - \text{ pro: } \psi = 0; k_z = 1,0$$

Bezrozměrný parametr kroucení:

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 4440} * \sqrt{\frac{210 * 10^3 * 5,024 * 10^{10}}{80,7 * 10^3 * 9,771 * 10^4}} = 0,818$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) * k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77) * 0,818 = 1,835$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,835}{1,0} * \sqrt{1 + 0,818^2} = 2,371$$

Kritický moment:

$$M_{cr} = 2,371 * \frac{\pi * \sqrt{210 * 10^3 * 2,047 * 10^6 * 80,7 * 10^3 * 9,771 * 10^4}}{4440} = 97,673 \text{ kNm}$$

Volba křivky vzpěru:

Pro běžné průřezy válcované a svařované průřezy:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (největší hodnota); } \beta = 0,75 \text{ (nejmenší hodnota)}$$

$$h/b = 323/110 = 2,9 > 2 \quad - \text{ křivka klopení c - } \alpha_{LT} = 0,49$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_{yk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,952 * 10^5 * 355}{97,673 * 10^6}} = 1,198$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 * [1 + 0,49 * (1,198 - 0,4) + 0,75 * 1,198^2] = 1,234$$

Součinitel klopení:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,234 + \sqrt{1,234^2 - 0,75 * 1,198^2}} = 0,526$$

Výsledné posouzení na ohyb:

$$M_{Ed} = 98,450 \text{ kNm} > M_{b,Rd} = 0,526 * 3,952 * 10^5 * \frac{355}{1,0} = 73,796 \text{ kNm}$$

-> NEVYHOVUJE

Ve výpočtu bylo konzervativně uvažováno, že horní (tlačená) pásnice je držena pouze pomocí vaznic. Ve skutečnosti ale bude prolamovanému nosníku bráněno v klopení pomocí trapézového plechu – není potřeba navrhovat výztuhy.

Únosnost stojiny mezi otvory v ohybu a vzpěru (boulení)

$$M = 0,45 * D_0 * V_h = 0,45 * 230 * 24,914 * 10^3 = 2,576 \text{ kNm}$$

$$W = \frac{1}{6} * t_w * (S - 0,436 * D_0)^2 = \frac{1}{6} * 5,9 * (285 - 0,436 * 230)^2 = 3,355 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$M_{el} = W * f_{yd} = 3,355 * 10^4 * 355 = 11,910 \text{ kNm}$$

$$C_1 = 5,097 + 0,1464 * \left(\frac{D_0}{t_w}\right) - 0,00174 * \left(\frac{D_0}{t_w}\right)^2$$

$$C_1 = 5,097 + 0,1464 * \left(\frac{230}{5,9}\right) - 0,00174 * \left(\frac{230}{5,9}\right)^2 = 8,160$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625 * \left(\frac{D_0}{t_w}\right) - 0,000683 * \left(\frac{D_0}{t_w}\right)^2$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625 * \left(\frac{230}{5,9}\right) - 0,000683 * \left(\frac{230}{5,9}\right)^2 = 2,840$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0853 * \left(\frac{D_0}{t_w}\right) - 0,00108 * \left(\frac{D_0}{t_w}\right)^2$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0853 * \left(\frac{230}{5,9}\right) - 0,00108 * \left(\frac{230}{5,9}\right)^2 = 5,329$$

$$M_{max} = \left[C_1 * \left(\frac{S}{D_0}\right) - C_2 * \left(\frac{S}{D_0}\right)^2 - C_3 \right] * M_{el}$$

$$M_{max} = \left[8,160 * \left(\frac{285}{230}\right) - 2,840 * \left(\frac{285}{230}\right)^2 - 5,329 \right] * 11,910 * 10^6 = 5,022 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M = 2,576 \text{ kNm} < M_{max} = 5,022 \text{ kNm}}$$

-> VYHOVUJE

Není potřeba otvory vyztužit (olemovat).

Únosnost pásů T (interakce normálové síly a momentu) - Sahmelova metoda

Průřezové parametry pásu T:

$$\phi = 25^\circ$$

$$t'_f = \frac{t_f}{\cos \phi} = \frac{9,2}{\cos 25^\circ} = 10,15 \text{ mm}$$

$$L' = \left[\frac{(h/2 - t_f)}{\cos \phi} \right] - \frac{D_0}{2} = \left[\frac{(323/2 - 9,2)}{\cos 25^\circ} \right] - \frac{230}{2} = 53,04 \text{ mm}$$

$$A' = b * t'_f + L' * t_w = 110 * 10,15 + 53,04 * 5,9 = 1429 \text{ mm}^2$$

$$y' = \frac{A'}{2 * b} = \frac{1429}{2 * 110} = 6,50 \text{ mm}$$

Únosnosti průřezu:

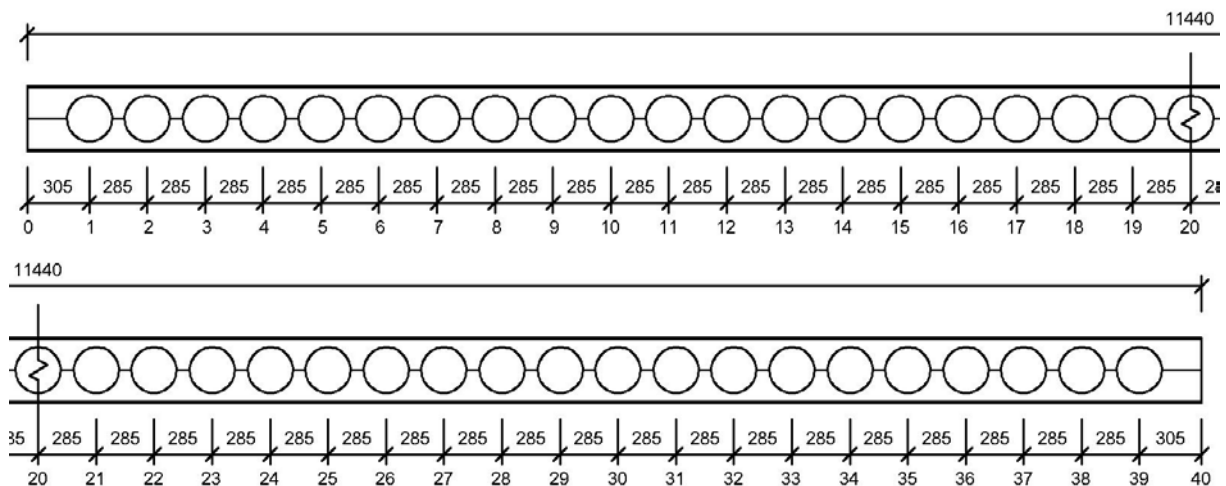
$$P_{pl} = A' * f_{yd} = 1429 * \frac{355}{1,0} = 507,295 \text{ kN}$$

$$(S_h + S_s)' = b * y' * \frac{y'}{2} + b * (t'_f - y') * \frac{t'_f - y'}{2} + L' * t_w * \left(t'_f - y' + \frac{L'}{2} \right)$$

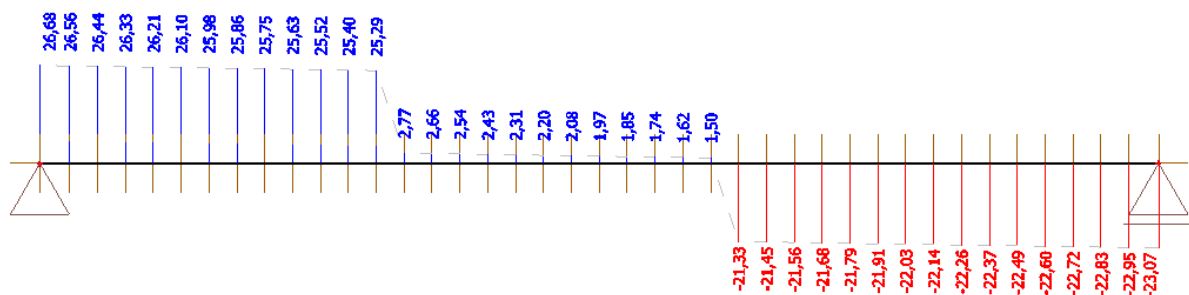
$$= 110 * 6,5 * \frac{6,5}{2} + 110 * (10,15 - 6,5) * \frac{10,15 - 6,5}{2} + 53,04 * 5,9 * \left(10,15 - 6,5 + \frac{53,04}{2} \right) = 1,328 * 10^5 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl} = W'_{pl} * f_{yd} = (S_h + S_s)' * f_{yd} = 1,328 * 10^5 * \frac{355}{1,0} = 47,144 \text{ kNm}$$

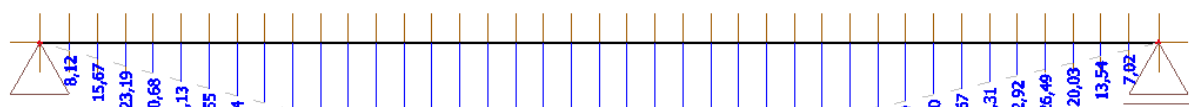
$$V_{pl} = L' * t_w * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 53,04 * 5,9 * \frac{355/1,0}{\sqrt{3}} = 64,139 \text{ kN}$$



Obrázek 26: Místa pro výpočet interakce



Obrázek 27: Posouvající síla v místech pro výpočet [kN]



Obrázek 28: Ohybový moment v místech pro výpočet [kNm]

Vnitřní síly (obr. 27 a obr. 28) jsou převzaty z programu Scia Engineer 14, do kterého byly vloženy řezy v místech přesně podle obr. 26.

V místě i jsou počítány vnitřní síly dle:

$$N_i = \frac{M_{Ed,i}}{H} \text{ [kN]}$$

$$P_i = N_i * \cos \phi - \frac{V_{Ed,i}}{2} * \sin \phi \text{ [kN]}$$

$$M_i = N_i * (y - y_e) + \frac{V_{Ed,i}}{2} * \left(\frac{h}{2} - y\right) * \tan \phi \text{ [kNm]}$$

Tabulka 2: Vnitřní síly v místech pro výpočet

i	V_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	N_i [kN]	P_i [kN]	M_i [kNm]	$\leq 1,0$	i	V_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	N_i [kN]	P_i [kN]	M_i [kNm]	$\leq 1,0$
0	26,68	0,00	0,00	5,64	0,64	0,02	21	1,85	96,81	317,20	287,09	9,50	0,77
1	26,56	8,12	26,61	18,50	0,17	0,04	22	1,74	97,32	318,87	288,63	9,56	0,77
2	26,44	15,67	51,34	40,95	0,91	0,10	23	1,62	97,80	320,45	290,08	9,61	0,78
3	26,33	23,19	75,98	63,30	1,66	0,16	24	1,50	98,24	321,89	291,41	9,65	0,78
4	26,21	30,68	100,52	85,57	2,40	0,22	25	-21,33	95,36	312,45	287,68	9,92	0,78
5	26,10	38,13	124,93	107,71	3,14	0,28	26	-21,45	89,26	292,46	269,59	9,32	0,73
6	25,98	45,55	149,25	129,77	3,87	0,34	27	-21,56	83,14	272,41	251,44	8,72	0,68
7	25,86	52,94	173,46	151,74	4,60	0,40	28	-21,68	76,97	252,20	233,15	8,11	0,63
8	25,75	60,29	197,54	173,59	5,33	0,46	29	-21,79	70,78	231,91	214,79	7,50	0,58
9	25,63	67,62	221,56	195,39	6,06	0,51	30	-21,91	64,55	211,50	196,31	6,89	0,53
10	25,52	74,91	245,45	217,06	6,78	0,57	31	-22,03	58,29	190,99	177,75	6,28	0,48
11	25,40	82,16	269,20	238,61	7,50	0,63	32	-22,14	52,00	170,38	159,10	5,66	0,43
12	25,29	89,39	292,89	260,10	8,21	0,69	33	-22,26	45,67	149,64	140,32	5,04	0,38
13	2,77	91,54	299,93	271,25	8,96	0,72	34	-22,37	39,31	128,80	121,46	4,41	0,33
14	2,66	92,31	302,46	273,56	9,04	0,73	35	-22,49	32,92	107,86	102,51	3,78	0,28
15	2,54	93,05	304,88	275,78	9,12	0,74	36	-22,60	26,49	86,80	83,44	3,15	0,23
16	2,43	93,76	307,21	277,91	9,19	0,74	37	-22,72	20,03	65,63	64,28	2,52	0,18
17	2,31	94,44	309,44	279,96	9,26	0,75	38	-22,83	13,54	44,36	45,03	1,88	0,13
18	2,20	95,08	311,53	281,88	9,32	0,75	39	-22,95	7,02	23,00	25,70	1,24	0,08
19	2,08	95,69	313,53	283,72	9,39	0,76	40	-23,07	0,00	0,00	4,87	0,55	0,02
20	1,97	96,26	315,40	285,43	9,45	0,76							

Pro každý bod musí platit interakční vztah:

$$\frac{P_i}{P_{pl}} + \frac{M_i}{M_{pl}} \leq 1$$

Veškerá posuzovaná místa (obr. 26) splňují interakční vztah. Podle tab. 2 je v místě nejnejpříznivější kombinace celkového ohybového momentu a posouvající síly využití průřezu 78 %.

-> VYHOVUJE

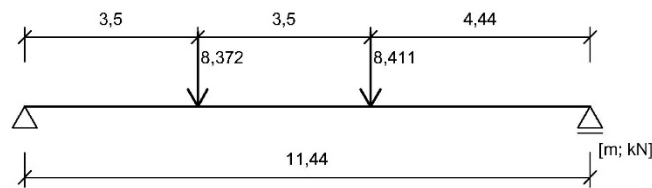
MSP – Mezní stav použitelnosti:

Průhyb

Vzhledem k tomu, že výpočet průhybu na prolamovaném nosníku je komplikovaný, je posuzován přibližně z výpočtu běžného momentového účinku na oslabeném průřezu. Průhyb prolamovaného střešního nosníku od celkového zatížení není omezen. Posuzován je pouze průhyb od proměnného zatížení – zatížení sněhem, pomocí průhybu na prostém nosníku, zatíženém osamělými silami. Pro MSP je počítáno s charakteristickou hodnotou zatížení.

$$F_{1k} = A_{p,1} * f_{qk,snih} = 14,960 * 0,560 = 8,372 \text{ kN}$$

$$F_{2k} = A_{p,2} * f_{qk,snih} = 15,020 * 0,560 = 8,411 \text{ kN}$$



Obrázek 29: Schéma zatížení od sněhu

$$\delta_1 = \frac{F_{1k} * 3500 * (3500 + 4440)}{27 * E * I_{y,osl} * l} * \sqrt{3 * 3500 * (l + 3500 + 4440)^3} =$$

$$= \frac{8,372 * 10^3 * 3500 * (3500 + 4440)}{27 * 210 * 10^3 * 6,057 * 10^7 * 11440} * \sqrt{3 * 3500 * (11440 + 3500 + 4440)^3}$$

$$\delta_1 = 16,4 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = \frac{F_{2k} * (3500 + 3500) * 4440}{27 * E * I_{y,osl} * l} * \sqrt{3 * (3500 + 3500) * (l + 4440)^3} =$$

$$= \frac{8,411 * 10^3 * (3500 + 3500) * 4440}{27 * 210 * 10^3 * 6,057 * 10^7 * 11440} * \sqrt{3 * (3500 + 3500) * (11440 + 4440)^3}$$

$$\delta_2 = 19,3 \text{ mm}$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 16,4 + 19,3 = 35,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{11440}{250} = 45,8 \text{ mm}$$

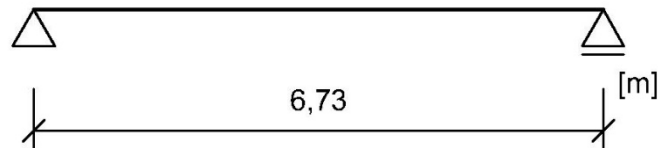
$$\delta = 35,7 \text{ mm} < \delta_{lim} = 45,8 \text{ mm}$$

-> VYHOVUJE

Navržený prolamovaný nosník vyhovuje všem posudkům, s výjimkou posouzení stability nosníku při ohybu (klopení), kde ovšem není uvažováno s držením horní pásnice nosníku za pomoci trapézového plechu. S uvažováním skutečnosti, že trapézový plech brání v klopení prolamovaného nosníku, VYHOVUJE nosník veškerým posudkům MSÚ i MSP.

6 Nosník pnutý mezi sloupy

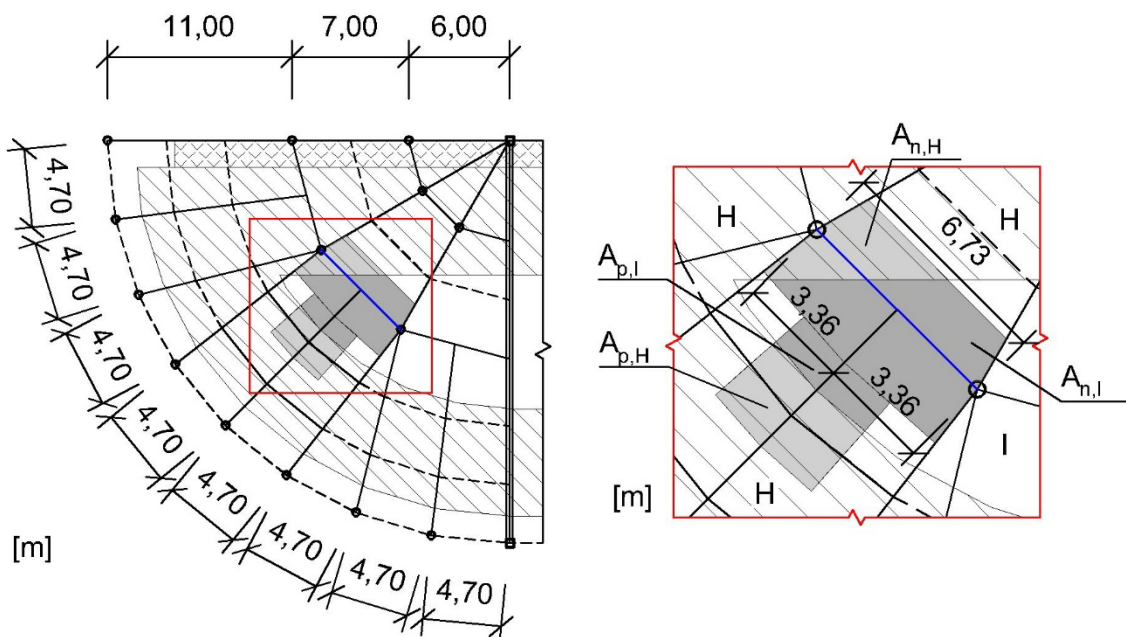
Navržen a posouzen je nosník, na který je uložen prolamovaný nosník z kap. 5. Nosník je na obou koncích připojen na kruhové sloupy a je uvažován jako prostě uložený o rozpětí 6,73 m.



Obrázek 30: Statické schéma nosníku pnutého mezi sloupy

6.1 Zatěžovací stavy

Zatížení působící na nosník se skládá ze zatížení od prolamovaného nosníku (osamělá síla uprostřed rozpětí nosníku), ze zatížení od střešního pláště (spojité zatížení) a z vlastní tíhy nosníku (spojité zatížení). Velikost zatížení pro MSÚ od prolamovaného nosníku je převzato z obr. 22 (reakce v podpoře). Zatěžovací plochy od jednotlivých oblastí mají nepravidelný tvar, a proto jsou jejich velikosti změřeny pomocí programu AutoCAD. Velikost spojitěho zatížení působícího od střešního pláště je získána sečtením celkového zatížení od uložených trapézových plechů a následným vydělením rozpětím nosníku.



Obrázek 31: Schéma zatěžovacích ploch nosníku

Osamělá síla F: $A_p = A_{p,H} + A_{p,I} = 9,150 + 4,240 = 13,390 \text{ m}^2$

Spojitě zatížení f: $A_{n,H} = 7,110 \text{ m}^2$

$$A_{n,I} = 17,950 \text{ m}^2$$

$$A_n = A_{n,H} + A_{n,I} = 7,110 + 17,950 = 25,060 \text{ m}^2$$

Odhad vlastní tíhy – $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ $0,3 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

6.1.1 Kombinace zatěžovacích stavů

KZS1 – (MSÚ) Maximální stálé zatížení + sních + případný tlak větru ($\psi_0 = 0,6$)

$$f_{d,vl} = vl. \text{ tíha (odhad)} * \gamma_g = 0,300 * 1,35 = 0,405 \text{ kN. m}^{-1}$$

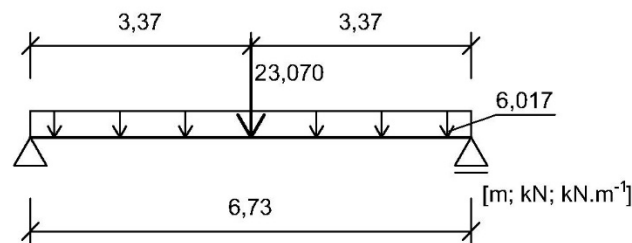
$$f_{d,stř} = \frac{A_n * f_{gk,max} * \gamma_g + A_n * f_{qk,snih} * \gamma_q + A_{n,I} * f_{qk,vitr,I} * \psi_0}{1}$$

$$f_{d,stř} = \frac{25,060 * 0,457 * 1,35 + 25,060 * 0,560 * 1,5 + 17,950 * 0,117 * 0,6}{6,730}$$

$$f_{d,stř} = 5,612 \text{ kN. m}^{-1}$$

$$f_d = f_{d,vl} + f_{d,stř} = 0,405 + 5,612 = 6,017 \text{ kN. m}^{-1}$$

F_d = reakce prolamovaného nosníku KZS2, kap. 5.1.2 = 23,070 kN



Obrázek 32: Schéma zatížení KZS1

6.1.2 Vnitřní síly

KZS1

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * f_d * l^2 + \frac{1}{2} * F_d * l = \frac{1}{8} * 6,017 * 6,730^2 + \frac{1}{4} * 23,070 * 6,730 = 72,881 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * f_d * l + \frac{1}{2} * F_d = \frac{1}{2} * 6,017 * 6,730 + \frac{1}{2} * 23,070 = 31,782 \text{ kN}$$

6.2 Návrh a posouzení

6.2.1 Návrh nosníku

Návrh je proveden pomocí MSÚ. Předpokládáme válcovaný plnostěnný nosník z oceli S235, kterému je díky trapézovému plechu zabráněno klopení.

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{Ed} = 72,881 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 31,782 \text{ kN}$$

Minimální průřezový modul (předpoklad třídy 1):

$$W_{ply,min} = \frac{M_{Ed} * \gamma_{M0}}{\chi_{LT} * f_y} = \frac{72,881 * 10^6 * 1,0}{1,0 * 235} = 310,132 * 10^3 \text{ mm}^3$$

Návrh pomocí ocelářských tabulek: **Profil IPE 240** (průřez třídy 1)

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

$$m = 30,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \quad (\text{zanedbatelná odchylka oproti odhadu})$$

$$W_{pl,y} = 366,6 * 10^3 \text{ mm}^3$$

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

$$I_y = 38,92 * 10^6 \text{ mm}^4$$

6.2.2 Posouzení nosníku

MSÚ – Mezní stav únosnosti:

Návrhový moment únosnosti

$$M_{pl,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,0 * 366,6 * 10^3 * \frac{235}{1,0} = 86,151 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 75,174 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 86,151 \text{ kNm}$$

-> VYHOVUJE

Návrhová smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1914 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 259,686 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 33,145 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 259,686 \text{ kN}$$

-> VYHOVUJE

MSP – Mezní stav použitelnosti:

Průhyb střešních vaznic od celkového zatížení není omezen. Posuzován je pouze průhyb od proměnného zatížení – zatížení sněhem. Ten je vypočten pomocí součtu průhybu na prostém nosníku od rovnoměrného spojitého zatížením a osamělé síly. Velikost osamělé síly je vypočtena z reakce v MSP prolamovaného nosníku na obr. 29. Pro MSP je počítáno s charakteristickou hodnotou zatížení.

$$f_k = f_{qk,sn\acute{e}h} * \frac{A_n}{l} = 0,560 * \frac{25,060}{6,730} = 2,085 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$F_k = \frac{8,372 * 3,5 + 8,411 * (3,5 + 3,5)}{11,44} = 7,708 \text{ kN}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{f_k * l^4}{E * I_y} + \frac{F_k * l^3}{48 * E * I_y}; \quad \delta_{lim} = \frac{l}{200} = \frac{6730}{200} = 33,65 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{2,085 * 6730^4}{210 * 10^3 * 38,92 * 10^6} + \frac{7,708 * 6730^3}{48 * 210 * 10^3 * 38,92 * 10^6} = 6,82 \text{ mm}$$

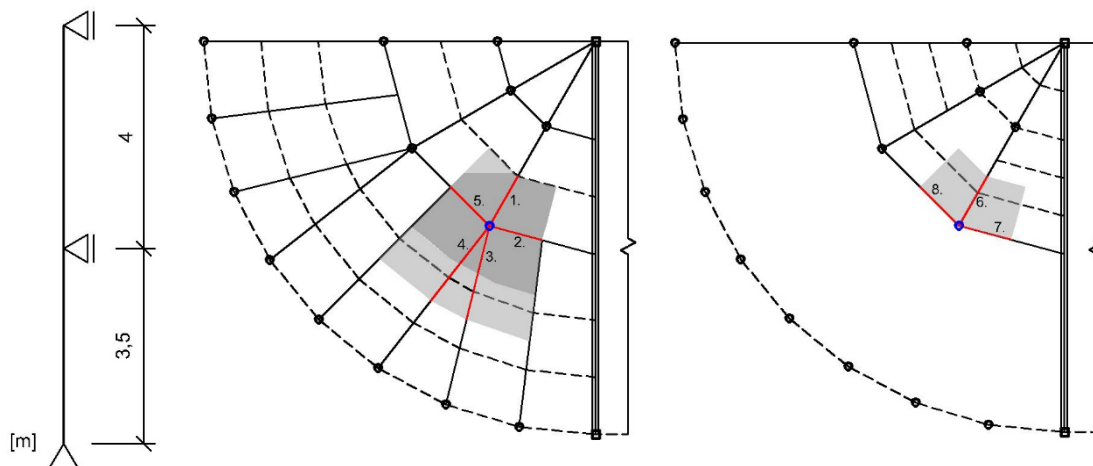
$$\delta = 6,82 \text{ mm} < \delta_{lim} = 33,65 \text{ mm}$$

-> VYHOVUJE

Navržený profil IPE 360 VYHOVUJE na oba mezní stavy.

7 Vnitřní kruhový sloup

Navrhnut a posouzen je vnitřní sloup kruhového průřezu, který je kloubově uložen na betonovou patku. Jedná se o nejmíce zatížený sloup v řešené části autosalonu. Ke sloupu jsou připojeny střešní nosníky (celkem 5 ks) a nosníky tvořící nosnou konstrukci druhého nadzemního podlaží (celkem 3 ks).



Obrázek 33: Statické schéma sloupu a nosníky kotvené ke sloupu

7.1 Zatížení sloupu

Pro jednotlivé nosníky připojené ke sloupu jsou vypočteny velikosti charakteristického zatížení, kterými na sloup působí. Pro střešní nosníky je uvažováno s vlastní tíhou nosníků, tíhou střešního pláště vycházejícího z části zatěžovací plochy pro jednotlivé nosníky (maximální stálé zatížení, pro proměnné tíha sněhu a případný tlak větru). Pro nosníky tvořící nosnou konstrukci druhého nadzemního podlaží je to vlastní tíha nosníků, tíha ocelobetonového stropu dle části zatěžovací plochy (odhad stálého a proměnného zatížení). Jednotlivé velikosti zatěžovacích ploch a délky nosníků, ze kterých jsou získány charakteristické velikosti sil, jsou odečteny z programu AutoCAD.

Odhad stálého zatížení stropu: $g_{k,\text{strop}} = 6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$

Užitné zatížení 2.NP (kanceláře): $q_{k,\text{strop}} = 2,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$

Tabulka 3: Charakteristické hodnoty zatížení od jednotlivých nosníků působících na sloup

Číslo nosníku - i	Stálé zatížení $F_{Gk,i}$ [kN]	Proměnné zatížení [kN]		
		Užitné $F_{Qk,\text{strop},i}$	Sníh $F_{Qk,\text{sníh},i}$	Vítr $F_{Qk,\text{vitr},i}$
1.	6,198	-	5,084	0,807
2.	12,781	-	11,372	1,740
3.	7,018	-	6,149	0,338
4.	6,965	-	6,084	0,333
5.	12,727	-	11,307	1,718
6.	77,664	31,11	-	-
7.	22,332	9,055	-	-
8.	22,332	9,055	-	-

7.2 Návrh sloupu

S ohledem na provedení přípojí nosníků ke sloupu (zejména pro nosníky 3 a 4 z obr. 33, které jsou kotveny blízko sebe) je pro posouzení sloupu uvažován průřez průměru 245 mm a hmotnosti 58 kg/m (tloušťka stěny průřezu 10 mm). Inženýrským odhadem podle tab. 3 lze předpokládat, že by z hlediska posouzení mezních stavů vyhověl i sloup menšího průřezu, proto je zvolena ocel s nižší hodnotou meze kluzu – S235.

Návrh: **Kruhová trubka 245x10** (průřez třídy 1 – tlak i ohyb)

Průřezové charakteristiky:

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

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

$$G = 80,7 \text{ GPa}$$

$$A = 7383 \text{ mm}^2$$

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$I = 5,106 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$m = 58,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$W_{pl} = 5,526 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$D = 245 \text{ mm}$$

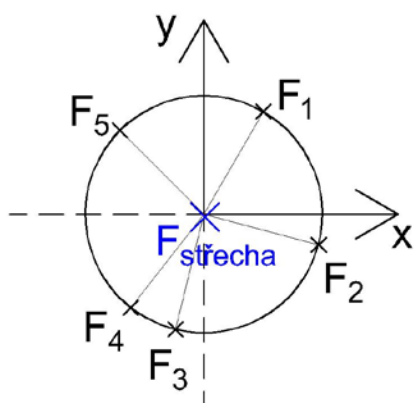
$$i = 83,2 \text{ mm}$$

7.3 Vnitřní síly

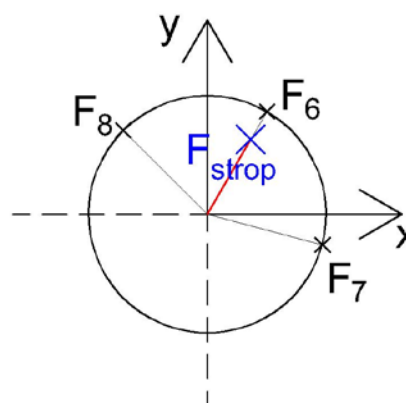
7.3.1 Výslednice sil

Normálová síla vychází ze součtu velikosti sil působících od jednotlivých nosníků a vlastní tíhy sloupu. Dále je uvažováno, že jednotlivé nosníky zatěžují sloup nesouměrně a tudíž ve sloupu vzniká ohybový moment. Pro zatížení od střechy a od stropu je tedy vypočteno těžiště (tab. 4), ve kterém působí součet jednotlivých zatížení od nosníků (zvlášť pro charakteristické a návrhové hodnoty).

Těžiště je zjištěno pomocí programu AutoCAD, ve kterém je počátek souřadného systému umístěn do osy sloupu a jednotlivé velikosti zatížení od nosníků působí ve vzdálenosti X a Y od osy sloupu (obr. 34 a obr. 35). Tyto vzdálenosti jsou odměřeny z programu, vynásobeny velikostí zatížení od jednotlivých nosníků a jejich součet je vydělen součtem celkového zatížení (od střechy/od stropu).



Obrázek 34: Schéma pro výpočet těžiště výslednice zatížení od střechy



Obrázek 35: Schéma pro výpočet těžiště výslednice zatížení od stropu

Velikosti zatěžovacích sil pro střechu jsou počítány dle:

$$\text{Charakteristické: } F_{i,k} = F_{Gk,i} + F_{Qk,snřh,i} + F_{Qk,vřtr,i} * \psi_0$$

$$\text{Návrhové: } F_{i,d} = F_{Gk,i} * \gamma_G + F_{Qk,snřh,i} * \gamma_Q + F_{Qk,vřtr,i} * \psi_0$$

- případný tlak větru ($\psi_0 = 0,6$)

Velikosti zatěžovacích sil pro strop jsou počítány dle:

$$\text{Charakteristické: } F_{i,k} = F_{Gk,i} + F_{Qk,strop,i}$$

$$\text{Návrhové: } F_{i,d} = F_{Gk,i} * \gamma_G + F_{Qk,strop,i} * \gamma_Q$$

Tabulka 4: Výpočet výslednic zatížení

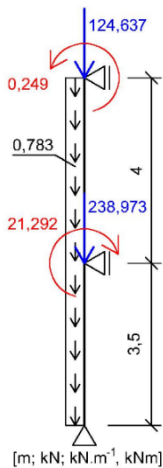
Síly	i	Charakteristické hodnoty					Návrhové hodnoty					
		$F_{i,k}$ [kN]	x_i [mm]	y_i [mm]	$F_{i,k} \cdot x_i$	$F_{i,k} \cdot y_i$	$F_{i,d}$ [kN]	x_i [mm]	y_i [mm]	$F_{i,d} \cdot x_i$	$F_{i,d} \cdot y_i$	
Od střechy	1	11,766	61	106	718	1247	16,478	61	106	1005	1747	
	2	25,197	118	-32	2973	-806	35,357	118	-32	4172	-1131	
	3	13,370	-29	-119	-388	-1591	18,902	-29	-119	-548	-2249	
	4	13,249	-76	-96	-1007	-1272	18,728	-76	-96	-1423	-1798	
	5	25,065	-87	87	-2181	2181	35,173	-87	87	-3060	3060	
	Σ	88,648			115	-241	124,637			146	-371	
	$F_{střecha}$	88,648	1,3	-2,7			124,637	1,2	-3,0			
Od stropu	6	108,774	61	106	6635	11530	151,511	61	106	9242	16060	
	7	31,387	118	-32	3704	-1004	43,731	118	-32	5160	-1399	
	8	31,387	-87	87	-2731	2731	43,731	-87	87	-3805	3805	
	Σ	171,548			7608	13257	238,973			10597	18466	
		F_{strop}	171,548	44,3	77,3			238,973	44,3	77,3		

S ohledem na polohy výslednic z obr. 34, obr. 35 a tab. 4 je uvažováno, že největší ohybový moment bude vznikat ve směru od osy sloupu k výslednici zatížení od stropu (v MSÚ i MSP).

7.3.2 Vnitřní síly (MSÚ a MSP)

V programu Scia Engineer 14 je sloup vmodelován a zatížen pomocí dvou kombinací zatěžovacích stavů (pro MSÚ a MSP). Pro MSÚ je počítáno s návrhovými hodnotami a pro MSP s charakteristickými hodnotami zatížení.

Ohybový moment, vznikající od mimostředně umístěných výslednic je v programu získán vždy pomocí dvou osamělých momentů, umístěných v místě uložení střešních nosníků (ve výšce 7,5 m) a v místě uložení stropních nosníků (ve výšce 3,5 m). Jejich velikost je vypočtena vynásobením velikosti výslednice sil a ramena, vycházejícího z jejího těžiště (při pohledu kolmo na směr vzniku největšího ohybového momentu je to vzdálenost od působíště výslednice sil k ose sloupu).

KZS1 – (MSÚ) Maximální stálé zatížení + sníh + případný tlak větru ($\psi_0 = 0,6$)[m; kN; kN.m⁻¹, kNm]Obrázek 36:
Schéma zatížení
MSÚ

Maximální excentricita – největší velikost momentu:

$$e_{\text{strop,d}} = \sqrt{44,3^2 + 77,3^2} = 89,1 \text{ mm}$$

Excentricita od střechy – odměřena z programu AutoCAD:

$$e_{\text{střecha,d}} = 2,0 \text{ mm}$$

Vlastní tíha sloupu:

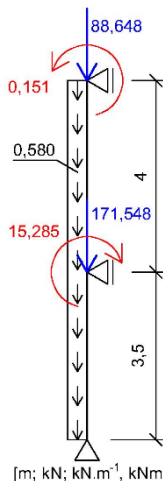
$$f_d = \text{vl. tíha} * \gamma_g = 0,580 * 1,35 = 0,783 \text{ kN.m}^{-1}$$

Osamělý moment od střešního zatížení:

$$M_{\text{střecha,d}} = F_{\text{střecha,d}} * e_{\text{střecha,d}} = 124,637 * 2,0 * 10^{-3} = 0,249 \text{ kNm}$$

Osamělý moment od stropního zatížení:

$$M_{\text{strop,d}} = F_{\text{strop,d}} * e_{\text{strop,d}} = 238,973 * 89,1 * 10^{-3} = 21,292 \text{ kNm}$$

KZS2 – (MSP) Maximální stálé zatížení + sníh + případný tlak větru ($\psi_0 = 0,6$)[m; kN; kN.m⁻¹, kNm]Obrázek 37:
Schéma zatížení
MSP

Maximální excentricita – největší velikost momentu:

$$e_{\text{strop,k}} = \sqrt{44,3^2 + 77,3^2} = 89,1 \text{ mm}$$

Excentricita od střechy – odměřena z programu AutoCAD:

$$e_{\text{střecha,k}} = 1,7 \text{ mm}$$

Vlastní tíha sloupu:

$$f_k = \text{vl. tíha} = 0,580 = 0,580 \text{ kN.m}^{-1}$$

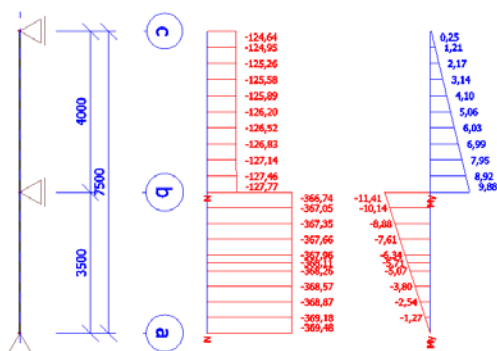
Osamělý moment od střešního zatížení:

$$M_{\text{střecha,k}} = F_{\text{střecha,k}} * e_{\text{střecha,k}} = 88,648 * 1,7 * 10^{-3} = 0,151 \text{ kNm}$$

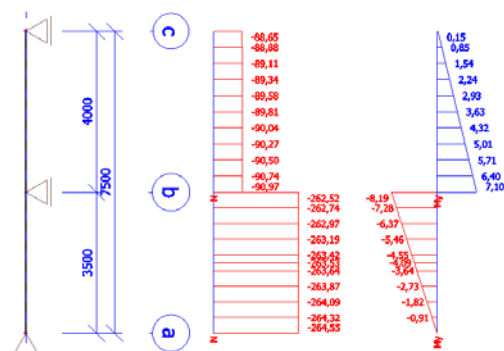
Osamělý moment od stropního zatížení:

$$M_{\text{strop,k}} = F_{\text{strop,k}} * e_{\text{strop,k}} = 238,973 * 89,1 * 10^{-3} = 15,285 \text{ kNm}$$

- Grafické výstupy programu Scia Engineer 14



Obrázek 38: Vnitřní síly MSÚ [kN, kNm]



Obrázek 39: Vnitřní síly MSP [kN, kNm]

7.4 Posouzení sloupu

MSÚ – Mezní stav únosnosti:

O únosnosti rozhoduje stabilita prutu – vliv smyku lze zanedbat. Sloup je posouzen ve dvou místech – pro horní a dolní pole sloupu (různé vzpěrné délky), v místě největšího ohybového momentu v příslušném poli + normálová síla v tomto místě.

Horní pole sloupu:

Rozhodující vnitřní síly dle obr. 38:

$$M_{Ed,h} = 9,880 \text{ kNm} \quad - \text{ návrhový ohybový moment v horním poli}$$

$$N_{Ed,h} = -127,770 \text{ kN} \quad - \text{ návrhová normálová síla v horním poli}$$

Vzpěrná délka – kloubové uložení:

$$L_{cr,h} = L_h * \beta = 4,0 * 1,0 = 4,0 \text{ m} \quad - \text{ vzpěrná délka pro horní pole}$$

Štíhlost:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

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

$$\lambda_h = \frac{L_{cr,h}}{i} = \frac{4000}{83,2} = 48,1 \rightarrow \bar{\lambda}_h = \frac{\lambda_h}{\lambda_1} = \frac{48,1}{93,9} = 0,515$$

Součinitel vzpěrnosti – křivka vzpěrné pevnosti a:

$$\bar{\lambda}_h = 0,515 \rightarrow \chi_h = 0,920$$

Interakce tlaku s ohybem:

$$\alpha_h = \frac{0,249}{9,880} = 0,03$$

$$C_{my} = 0,90 + 0,10 * \alpha_h = 0,90 + 0,10 * 0,03 = 0,90$$

$$k = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_h - 0,2) * \frac{N_{Ed,h}}{\chi_h * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,h}}{\chi_h * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,90 * \left(1 + (0,515 - 0,2) * \frac{127,770 * 10^3}{0,920 * 7383 * 235 / 1,0} \right) \\ 0,90 * \left(1 + 0,8 * \frac{127,770 * 10^3}{0,920 * 7383 * 235 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,923 \\ 0,958 \end{array} \right\} = 0,923$$

Uzavřený průřez $\rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed,h}}{\chi_h * N_{Rk}} + k * \frac{M_{Ed,h}}{\chi_{LT} * M_{Rk}}$$

$$\frac{127,770 * 10^3}{0,920 * 7383 * 235} + 0,923 * \frac{9,880 * 10^6}{1,0 * 5,526 * 10^5 * 235} = \mathbf{0,150 < 1,0}$$

-> VYHOVUJE

Spodní pole sloupu:

Rozhodující vnitřní síly dle obr. 38:

$M_{Ed,s} = -11,410 \text{ kNm}$ - návrhový ohybový moment ve spodním poli

$N_{Ed,s} = -366,740 \text{ kN}$ - návrhová normálová síla ve spodním poli

Vzpěrná délka - kloubové uložení:

$L_{cr,s} = L_s * \beta = 3,5 * 1,0 = 3,5 \text{ m}$ - vzpěrná délka pro spodní pole

Štíhlost:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

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

$$\lambda_s = \frac{L_{cr,s}}{i} = \frac{3500}{83,2} = 42,1 \rightarrow \bar{\lambda}_s = \frac{\lambda_s}{\lambda_1} = \frac{42,1}{93,9} = 0,448$$

Součinitel vzpěrnosti - křivka vzpěrné pevnosti a:

$\bar{\lambda}_s = 0,448 \rightarrow \chi_s = 0,939$

Interakce tlaku s ohybem:

$$\alpha_s = \frac{0,0}{11,410} = 0,0$$

$C_{my} = 0,90 + 0,10 * \alpha_s = 0,90 + 0,10 * 0,0 = 0,90$

$$k = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_s - 0,2) * \frac{N_{Ed,s}}{\chi_s * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,s}}{\chi_s * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,90 * \left(1 + (0,448 - 0,2) * \frac{366,740 * 10^3}{0,939 * 7383 * 235 / 1,0} \right) \\ 0,90 * \left(1 + 0,8 * \frac{366,740 * 10^3}{0,939 * 7383 * 235 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \{0,950, 1,062\} = 0,950$$

Uzavřený průřez $\rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed,s}}{\chi_s * N_{Rk}} + k * \frac{M_{Ed,s}}{\chi_{LT} * M_{Rk}} = \frac{366,740 * 10^3}{0,939 * 7383 * 235} + 0,950 * \frac{11,410 * 10^6}{1,0 * 5,526 * 10^5 * 235} = 0,309 < 1,0$$

-> VYHOVUJE

MSP – Mezní stav použitelnosti:

Posuzována je deformace v horním a spodním poli sloupu. O velikosti deformace rozhodují ohybové momenty v jednotlivých polích (obr. 39).

Horní pole sloupu:

$$M_{Ek,h1} = 0,151 \text{ kNm}$$

$$M_{Ek,s2} = 7,100 \text{ kNm}$$

$$\delta_h = 0,06415 * \frac{M_{Ek,h1} * L_h^2}{E * I} + 0,06415 * \frac{M_{Ek,h2} * L_h^2}{E * I}$$

$$\delta_h = 0,06415 * \frac{0,151 * 10^6 * 4000^2}{210 * 10^3 * 5,106 * 10^7} + 0,06415 * \frac{7,100 * 10^6 * 4000^2}{210 * 10^3 * 5,106 * 10^7} = 0,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim,h} = \frac{l}{150} = \frac{4000}{150} = 26,7 \text{ mm}$$

$$\delta_h = 0,7 \text{ mm} < \delta_{lim,h} = 26,7 \text{ mm}$$

-> VYHOVUJE

Spodní pole sloupu:

$$M_{Ek,s1} = 8,190 \text{ kNm}$$

$$\delta_s = 0,06415 * \frac{M_{Ek,s1} * L_s^2}{E * I} = 0,06415 * \frac{8,190 * 10^6 * 3500^2}{210 * 10^3 * 5,106 * 10^7} = 0,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim,s} = \frac{l}{150} = \frac{3500}{150} = 23,3 \text{ mm}$$

$$\delta_s = 0,6 \text{ mm} < \delta_{lim,s} = 23,3 \text{ mm}$$

-> VYHOVUJE

Navržený profil Kruhové trubky 245x10 VYHOVUJE na oba mezní stavy.

8 Přípoj nosníku na sloup

Navržen je přípoj nosníku pnutého mezi sloupy (IPE 240 z kap. 6) na vnitřní kruhový sloup (kruhová trubka 245x10 z kap. 7). Přípoj je proveden pomocí přivařeného plechu jako kloubový. Na sloupu je navařen plech, který je šroubově připojen ke stojině nosníku.

8.1 Návrh a posouzení

8.1.1 Návrh přípoje

Návrhová síla působící na spoj vychází z posouvající síly nosníku pnutého mezi sloupy (kap. 6.1.2).

$$V_{Ed} = F_{Ed} = 31,782 \text{ kN}$$

Návrh: šrouby M16, třídy 5.6, jednostřížný spoj, přivařený plech tloušťky 10 mm z oceli S235, mezera mezi sloupem a nosníkem 15 mm

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa} \quad - \text{mez pevnosti šroubu}$$

$$f_{yb} = 300 \text{ MPa} \quad - \text{mez kluzu šroubu}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad - \text{mez pevnosti oceli S235}$$

$$d = 16 \text{ mm} \quad - \text{průměr šroubu}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm} \quad - \text{průměr otvoru pro šroub}$$

$$A = 201 \text{ mm}^2 \quad - \text{plocha jádra šroubu}$$

$$t_w = 6,2 \text{ mm} \quad - \text{tloušťka pásnice nosníku}$$

$$t_p = 10 \text{ mm} \quad - \text{tloušťka přivařeného plechu}$$

$$n = 1 \quad - \text{počet stříhů - jeden}$$

Doporučené rozteče:

$$e_1 = 40 \text{ mm} \quad e_2 = 30 \text{ mm} \quad p_1 = 55 \text{ mm} \quad p_2 = 55 \text{ mm}$$

Únosnost šroubu ve stříhu (rovina stříhu prochází částí bez závitu):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 500 * 201 * 1}{1,25} = 48,240 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otlačení:

$$t = \min(t_w; t_p) = \min(6,2; 10) = 6,2 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min\left(1,0; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}\right) = \min\left(1,0; \frac{500}{360}; \frac{40}{3 * 18}; \frac{55}{3 * 18} - \frac{1}{4}\right)$$

$$\alpha_b = \min(1,0; 1,39; 0,74; 0,77) = 0,74$$

$$k_1 = \min\left(2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right) = \min\left(2,5; 2,8 * \frac{30}{18} - 1,7\right) = \min(2,5; 2,97) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 360 * 16 * 6,2}{1,25} = 52,854 \text{ kN}$$

Stanovení potřebného množství šroubů:

$$n_{sr} \geq \max\left(\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}}\right) = \max\left(\frac{31,782}{48,240}; \frac{31,782}{52,854}\right) = \max(1; 1) = 1$$

Návrh: **2 šrouby M16 pevnostní třídy 5.6**

8.1.2 Posouzení přípoje

Kontrola možného umístění šroubů:

$$d = 190,4 \text{ mm} \quad - \text{ nosník IPE 240}$$

$$h_p = 2 * e_1 + p_2 = 2 * 40 + 55 = \mathbf{135 \text{ mm}} \leq \mathbf{d = 190,4 \text{ mm}}$$

-> ŠROUBY LZE UMÍSTIT

Návrh a posouzení svaru:

$$e = e_2 + \text{mezera mezi sloupem a nosníkem} = 30 + 15 = 45 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = F_{Ed} * e = 31,782 * 10^3 * 45 * 10^{-3} = 1,430 \text{ kNm}$$

$$a_w = 3 \text{ mm} \quad - \text{ tloušťka svaru}$$

$$L_w = 2 * (2 * e_1 + p_1 = 2 * 40 + 55) = 270 \text{ mm} \quad - \text{ délka svaru}$$

$$L_w = 270 \text{ mm} \geq \max(30 \text{ mm}; 6 * a_w) = \max(30; 6 * 3) = \max(30; 18) = 30 \text{ mm}$$

Složky napětí:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed}}{2 * a_w * L_w} = \frac{31,782 * 10^3}{2 * 3 * 270} = 19,619 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{M_{Ed}}{2 * \frac{1}{6} * a_w * L_w^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{1,430 * 10^6}{2 * \frac{1}{6} * 3 * 270^2} = 13,871 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,8 \quad - \text{ pro ocel S235}$$

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

$$\sqrt{13,871^2 + 3 * (13,871^2 + 19,619^2)} = \mathbf{43,867 \text{ MPa}} \leq \frac{360}{0,8 * 1,25} = \mathbf{360 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{\perp} = \mathbf{13,871 \text{ MPa}} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 360}{1,25} = \mathbf{259,2 \text{ MPa}}$$

-> SVAR VYHOVUJE

Posouzení desky ve smyku (oslabený průřez):

Kritický řez v tahu a ve smyku:

$$A_{nt} = (e_2 - 0,5 * d_0) * t_p = (30 - 0,5 * 18) * 10 = 210 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (e_1 + p_1 - 1,5 * d_0) * t_p = (40 + 55 - 1,5 * 18) * 10 = 680 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 * A_{nt} * f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = F_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 * 210 * 360}{1,25} + \frac{680 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = \mathbf{122,501 \text{ kN}} \geq \mathbf{F_{Ed} = 31,782 \text{ kN}}$$

Únosnost řezu ve smyku:

$$A_{v,net} = (h_p - 2 * d_0) * t_p = (135 - 3 * 18) * 10 = 810 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{810 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = \mathbf{109,899 \text{ kN}} \geq F_{Ed} = \mathbf{31,782 \text{ kN}}$$

-> DESKA VE SMYKU VYHOVUJE

Posouzení desky v ohybu:

$$W_{el} = \frac{1}{6} * t_p * h_p^2 = \frac{1}{6} * 10 * 135^2 = 30,375 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{30,375 * 10^3 * 235}{1,0} = \mathbf{7,138 \text{ kNm}} \geq M_{Ed} = \mathbf{1,430 \text{ kNm}}$$

-> DESKA V OHYBU VYHOVUJE

Posouzení nosníku ve smyku (oslabený průřez):

Kritický řez v tahu a ve smyku:

$$A_{nt} = (e_2 - 0,5 * d_0) * t_w = (30 - 0,5 * 18) * 6,2 = 130,2 \text{ mm}^2$$

$h_e = 60 \text{ mm}$ - vzdálenost od horního okraje nosníku k hornímu okraji plechu

$$A_{nv} = (h_e + e_1 + p_1 - 1,5 * d_0) * t_w = (60 + 30 + 55 - 1,5 * 18) * 6,2 = 731,6 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 * A_{nt} * f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = F_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 * 130,2 * 360}{1,25} + \frac{731,6 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = \mathbf{118,010 \text{ kN}} \geq F_{Ed} = \mathbf{31,782 \text{ kN}}$$

Únosnost stojiny ve smyku:

$$A_{v,net} = A_{vz} - 2 * d_0 * t_w = 1914 - 2 * 18 * 6,2 = 1690,8 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{v,net} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1690,8 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = \mathbf{229,403 \text{ kN}} \geq F_{Ed} = \mathbf{31,782 \text{ kN}}$$

-> NOSNÍK VE SMYKU VYHOVUJE

Navržený přípoj nosníku na sloup VYHOVUJE všem posudkům.

9 Závěr

9.1 Přehled návrhů

Navržené prvky pro výstavní část autosalonu:

Nosná část střešního pláště (kap. 3):

- Trapézový plech TR 92/275/0,88, pozitivní poloha (ocel S320)

Vaznice (kap. 4):

- Plnostěnný válcovaný nosník IPE 120 (ocel S355)

Prolamovaný nosník (kap. 5):

- Symetrický prolamovaný nosník s kruhovými otvory IPE 220 (ocel S355)

Nosník pnutý mezi sloupy (kap. 6):

- Plnostěnný válcovaný nosník IPE 240 (ocel S235)

Vnitřní kruhový sloup (kap. 7):

- Kruhová trubka 245x10 (ocel S235)

Přípoj nosníku na sloup (kap. 8):

- Na sloupu přivařený plech tl. 10 mm (ocel S235, výška svaru 3 mm)
- Rozměry plechu: 85x135x10 (šířka x výška x tloušťka)
- Plech šroubově připojen ke stojině nosníku (2 šrouby M16 pevnostní třídy 5.6)

9.2 Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem
- [2] ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- [3] Průřezové charakteristiky trapézových plechů, Kovové profily, spol. s.r.o. (www.kovprof.cz)
- [4] VRANÝ, Tomáš a František WALD. Ocelové konstrukce: tabulky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03140-3.
- [5] STUDNIČKA, Jiří, Milan HOLICKÝ a Jana MARKOVÁ. Ocelové konstrukce 2. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05815-2.
- [6] STUDNIČKA, Jiří. Ocelové konstrukce: normy. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05489-5.
- [7] STUDNIČKA, Jiří. Navrhování nosných konstrukcí. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05490-1.
- [8] Stručný návod pro diplomanty, Nosníky s kruhovými otvory, Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Část B

Konstrukční řešení vybrané části objektu za požáru

Bakalářská práce

Jaroslav Kučera

Praha 2017

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Popis řešeného objektu	3
2	Požární úseky	3
2.1	PÚ N01.01/N02	3
2.1.1	Stupeň požární bezpečnosti.....	3
2.1.2	Mezní rozměry PÚ.....	6
3	Prolamovaný nosník	6
3.1	Zatížení za požáru.....	6
3.2	Výpočet kritické teploty	7
3.3	Požár podle normové teplotní křivky.....	7
3.3.1	Výpočet teploty průřezu přírůstkovou metodou.....	8
3.3.2	Posouzení za požáru	9
3.4	Lokální požár jednoho osobního automobilu.....	10
3.4.1	Rychlost uvolňování tepla	10
3.4.2	Posouzení za požáru	10
3.5	Lokální požár tří osobních automobilů.....	13
3.5.1	Rychlost uvolňování tepla	13
3.5.2	Posouzení za požáru	14
4	Vnitřní kruhový sloup	17
4.1	Zatížení za požáru.....	17
4.2	Požár podle normové teplotní křivky.....	18
4.2.1	Výpočet teploty nechráněného průřezu	18
4.2.2	Posouzení nechráněného průřezu za požáru	20
4.2.3	Výpočet teploty chráněného průřezu	21
4.2.4	Posouzení chráněného průřezu za požáru	23
5	Závěr	25
5.1	Vyhodnocení	25
5.2	Použitá literatura.....	26

1 Úvod

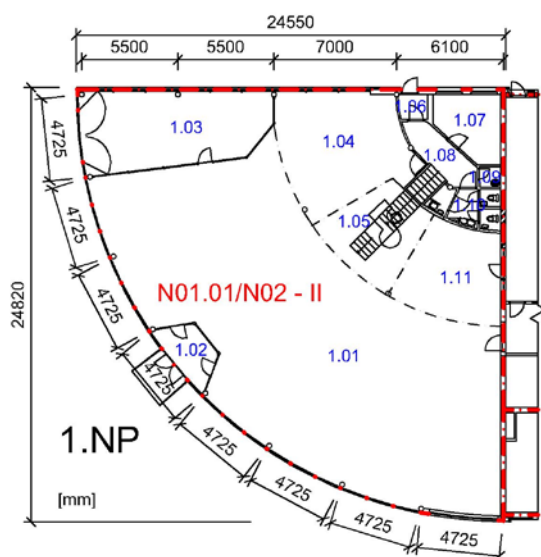
Tato část práce je zaměřena na posouzení vybraných konstrukčních prvků za požáru. Řešená část objektu je rozdělena na požární úseky a dále je vypočten stupeň požární bezpečnosti. Konstrukční prvky jsou posouzeny za pomoci normové teplotní křivky a modelu lokálního požáru, vycházejícího z experimentu.

1.1 Popis řešeného objektu

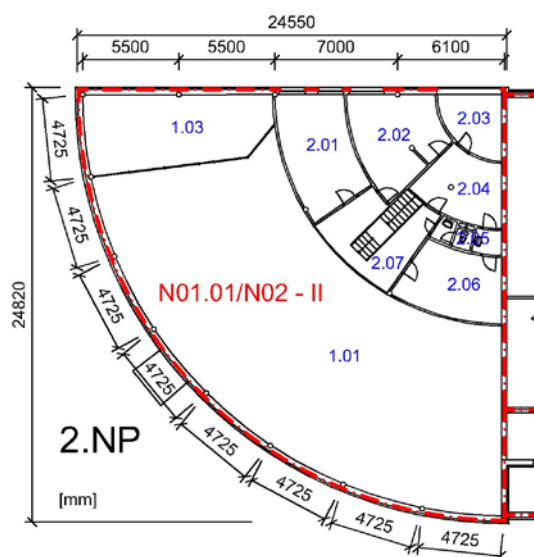
Jedná se o vícepodlažní objekt, v jehož řešené části se nachází dvě nadzemní podlaží. V prvním nadzemním podlaží je výstavní plocha autosalonu s recepcí a kancelář se sociálním zařízením. Druhé nadzemní podlaží je administrativního charakteru a nachází se jen nad částí prvního podlaží (výstavní plocha autosalonu tvoří otevřený prostor až ke stropní konstrukci). Požární výška objektu je 3,5 m. Konstrukční systém objektu je nehořlavý.

2 Požární úseky

Celá řešená část autosalonu tvoří pouze jeden požární úsek (obr. 1 a obr. 2). Tento požární úsek vede přes celou výšku budovy.



Obrázek 1: Půdorys 1.NP



Obrázek 2: Půdorys 2.NP

2.1 PÚ N01.01/N02

2.1.1 Stupeň požární bezpečnosti

Jedná se o nevýrobní objekt, výpočtové požární zatížení a stupeň požární bezpečnosti je určen podle [1].

V požárním úseku je rozdílná světlá výška místností (tab. 1), a proto je určena průměrná světlá výška v požárním úseku. Obdobně je určena průměrná výška otvorů, které umožňují přístup vzduchu do požárního úseku (z tab. 2).

Tabulka 1: Výkaz místností v požárním úseku

Z projektové dokumentace					Dle ČSN 73 0802 příloha A		
Číslo	Místnost	Plocha S_i [m ²]	Světlá výška h_{si} [m]	Podlaha	Položka	a_{ni} [-]	p_{ni} [kg.m ⁻²]
1.01	Výstavní plocha	269,9	7,5	Keramická dlažba	6.1.2	1	20
1.02	Vstupní zádveří	7,9	7,5	Čistící koberec	1.10	0,8	5
1.03	Předváděcí box	44,3	7,5	Keramická dlažba	6.1.2	1	20
1.04	Hala	44	2,75	Keramická dlažba	10.8 a)	0,8	10
1.05	Recepce	24	2,75	Koberec	10.8 b)	1	20
1.06	Zádveří	2,3	2,6	Čistící koberec	1.10	0,8	5
1.07	Kancelář 1	12,6	2,6	Koberec	1.1	1	40
1.08	Chodba	8,2	2,6	Keramická dlažba	1.10	0,8	5
1.09	Úklid	1,4	2,6	Keramická dlažba	14.2	0,7	5
1.10	WC + předsíň	7,6	2,6	Keramická dlažba	14.2	0,7	5
1.11	Příjem	26,3	2,75	Keramická dlažba	10.8 a)	0,8	10
2.01	Zasedací místnost	25,9	2,6	Koberec	1.8	0,9	20
2.02	Kancelář 2	24,1	2,6	Koberec	1.1	1	40
2.03	Kancelář 3	10,4	2,6	Koberec	1.1	1	40
2.04	Kuchyňka	16,2	2,6	Koberec	1.12	1,05	15
2.05	WC + předsíň	4,9	2,6	Keramická dlažba	14.2	0,7	5
2.06	Kancelář 4	21,4	2,6	Koberec	1.1	1	40
2.07	Chodba	23,6	2,6	Keramická dlažba	1.10	0,8	5

Celková plocha požárního úseku:

$$S = \sum_{i=1}^i S_i = 575,0 \text{ m}^2$$

Průměrná světlá výška v požárním úseku:

$$h_s = \frac{\sum_{i=1}^i S_i * h_{si}}{S} = \frac{3,087 * 10^3}{575,0} = 5,37 \text{ m}$$

Tabulka 2: Otvory umožňující přístup vzduchu do PÚ

Otvor	Počet [ks]	Výška h_{oi} [m]	Šířka [m]	Plocha S_{oi} [m ²]
Vrata	1	2,000	4,000	8,000
Skleněná vrata	1	2,000	3,000	6,000
Skleněné dveře	1	2,100	1,600	3,360
Dveře	1	1,970	0,900	1,773
Okno 1	4	1,500	1,500	9,000
Okno 2	1	1,500	2,000	3,000

Celková plocha otvorů umožňující přístup vzduchu do požárního úseku:

$$S_o = \sum_{i=1}^i S_{oi} = 31,133 \text{ m}^2$$

Průměrná výška otvorů umožňující přístup vzduchu do požárního úseku:

$$h_o = \frac{\sum_{i=1}^i S_{oi} * h_{oi}}{\sum_{i=1}^i S_{oi}} = \frac{56,549}{31,133} = 1,816 \text{ m}$$

Součinitel a:

Nahodilé požární zatížení:

$$p_n = \frac{\sum_{i=1}^i S_i * p_{ni}}{S} = \frac{11,248 * 10^3}{575} = 19,56 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$a_n = \frac{\sum_{i=1}^i S_i * a_{ni} * p_{ni}}{\sum_{i=1}^i S_i * p_{ni}} = \frac{11,004 * 10^3}{11,248 * 10^3} = 0,98$$

Stálé požární zatížení:

Celková plocha požárního úseku nad 500 m² do 1 000 m².

- Hořlavá okna (plast) $p_{s,oken} = 1,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Hořlavé dveře (dřevo) $p_{s,dveří} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
- Hořlavá podlaha (koberec) $p_{s,podlah} = 5,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

$$p_s = p_{s,oken} + p_{s,dveří} + p_{s,podlah} = 1,5 + 1,0 + 5,0 = 7,50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$a_s = 0,90$$

$$a = \frac{p_n * a_n + p_s * a_s}{p_n + p_s} = \frac{19,56 * 0,98 + 7,50 * 0,90}{19,56 + 7,50} = 0,960$$

Součinitel b:Pomocná hodnota n :

$$n = \frac{S_o}{S} * \sqrt{\frac{h_o}{h_s}} = \frac{31,133}{575,0} * \sqrt{\frac{1,816}{5,370}} = 0,031$$

Součinitel k :Převládající velikost půdorysných ploch: 269,9 m² (výstavní plocha).Tabulka 3: Hodnota součinitele k

Pomocná hodnota n	Hodnota součinitele k	
	Převládající velikost půdorysných ploch [m ²]	
	250	500
0,030	0,089	0,098
0,040	0,113	0,125

$$\rightarrow k = 0,092$$

$$b = \frac{S * k}{S_o * \sqrt{h_o}} = \frac{575,0 * 0,092}{31,133 * \sqrt{1,816}} = 1,260$$

Součinitel c:

Není uvažováno aktivní požárně bezpečnostní zařízení a opatření.

$$c = 1,0$$

Výpočtové požární zatížení:

$$p_v = (p_n + p_s) * a * b * c = (19,56 + 7,5) * 0,960 * 1,260 * 1,0 = 23,66 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$$

Stupeň požární bezpečnosti: SPB II - N01.01/N02 - II**2.1.2 Mezní rozměry PÚ**

Největší dovolené rozměry požárního úseku:

Délka: 65,5 m (posouzení dle obr. 1)

Šířka: 41,6 m (posouzení dle obr. 1)

-> VYHOVUJE

Největší počet užitných podlaží v požárním úseku:

$$z_1 = \frac{180 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}}{p_v} = \frac{180}{23,66} = 7,6 \doteq 8 \text{ podlaží} > 2 \text{ podlaží}$$

-> VYHOVUJE**3 Prolamovaný nosník**

Posuzován je prolamovaný nosník, navržený za běžné teploty (Část A, kap. 5). Posouzení únosnosti je provedeno pomocí kritické teploty. Nosník je umístěn 7,177 m nad podlahou a musí splnit požadovanou požární odolnost R15.

3.1 Zatížení za požáru

Rozhodující vnitřní síly za běžné teploty pro MSÚ (viz. část A, kap. 5.1.1 a 5.1.2):

$$M_{Ed} = 98,450 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 26,680 \text{ kN}$$

Redukční součinitel pro zatížení při požáru:

Stálé zatížení:

$$G_k = \text{vl. tíha} + F_{1Gk} + F_{2Gk} =$$

$$= 0,300 * 11,440 + (14,960 * 0,457 + 4,290 * 0,104) + (15,020 * 0,457 + 3,87 * 0,104)$$

$$G_k = 17,982 \text{ kN}$$

Sníh:

$$Q_k = F_{1Qk,sníh} + F_{2Qk,sníh} = (14,960 * 0,560) + (15,020 * 0,560) = 16,789 \text{ kN}$$

$$\psi_{1,1} = 0,2 \quad (\text{zatížení sněhem pro stavby umístěné do výšky 1000 m n. m.})$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{1,1} * Q_k}{G_k * \gamma_G + Q_k * \gamma_Q} = \frac{17,982 + 0,2 * 16,789}{17,982 * 1,35 + 16,789 * 1,5} = 0,431$$

Ohybový moment při požáru:

$$M_{fi,Ed} = M_{Ed} * \eta_{fi} = 98,450 * 0,431 = 42,432 \text{ kNm}$$

Posouvající síla při požáru:

$$V_{fi,Ed} = V_{Ed} * \eta_{fi} = 26,680 * 0,431 = 11,499 \text{ kN}$$

3.2 Výpočet kritické teploty

Momentová únosnost při běžné teplotě (20° C):

$$M_{pl,Rd} = 140,308 \text{ kNm} \quad (\text{viz. část A, kap. 5.2.2})$$

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} * M_{pl,Rd} * \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 * 140,308 * \frac{1,0}{1,0} = 140,308 \text{ kNm}$$

Smyková únosnost při běžné teplotě (20° C):

$$V_{pl,Rd} = 66,509 \text{ kN} \quad (\text{viz. část A, kap. 5.2.2})$$

$$V_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} * V_{pl,Rd} * \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 * 66,509 * \frac{1,0}{1,0} = 66,509 \text{ kN}$$

Momentová únosnost v čase $t = 0$ s:

Součinitelé nerovnoměrného rozdělení teploty po výšce a délce průřezu:

$$k_1 = 1,0 \quad (\text{nosník exponovaný ze všech čtyř stran})$$

$$k_2 = 1,0 \quad (\text{prostě uložený nosník})$$

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{M_{fi,\theta,Rd}}{k_1 * k_2} = \frac{140,308}{1,0 * 1,0} = 140,308 \text{ kNm}$$

Smyková únosnost v čase $t = 0$ s:

$$V_{fi,t,Rd} = \frac{V_{fi,\theta,Rd}}{k_1 * k_2} = \frac{66,509}{1,0 * 1,0} = 66,509 \text{ kN}$$

Stupeň využití průřezu při požáru:

$$\mu_0 = \max\left(\frac{M_{fi,Ed}}{M_{fi,t,Rd}}; \frac{V_{fi,Ed}}{V_{fi,t,Rd}}\right) = \max\left(\frac{42,432}{140,308}; \frac{11,499}{66,509}\right) = \max(0,302; 0,143) = 0,302$$

Kritická teplota:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 * \ln\left[\frac{1}{0,9674 * \mu_0^{3,833}} - 1\right] + 482$$

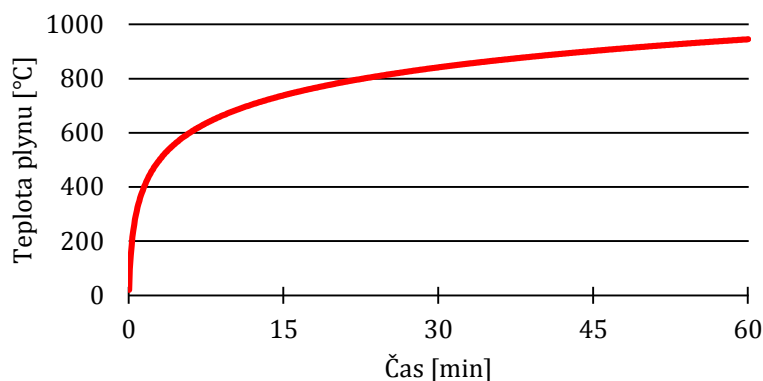
$$\theta_{a,cr} = 39,19 * \ln\left[\frac{1}{0,9674 * 0,302^{3,833}} - 1\right] + 482 = 662,8 \text{ °C}$$

3.3 Požár podle normové teplotní křivky

Posouzení nosníku za požáru podle normové teplotní křivky je provedeno využitím přírůstkové metody, kdy je ověřeno, zda nechráněný nosník překročí v požadovaném čase požární odolnosti hodnotu kritické teploty.

Výpočet teploty plynu:

$$\theta_g = 20 + 345 * \log(8 * t + 1) \text{ [°C]} \quad - \text{ kde } t \text{ je čas v minutách}$$



Obrázek 3: Průběh teploty plynu dle normové teplotní křivky

3.3.1 Výpočet teploty průřezu přírůstkovou metodou

Níže je uvedený výpočet, podle kterého je počítáno v tabulkovém procesoru MS Excel. Časový přírůstek ve výpočtu $\Delta t = 5$ s.

Teplota průřezu v čase:

$$\theta_{a,t}(t_n) = \theta_{a,t}(t_{n-1}) + \Delta\theta_{a,t} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Přírůstek teploty:

$$k_{sh} = 0,9 * \frac{(A_m/V)_b}{A_m/V}$$

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} * \frac{A_m/V}{c_a * \rho_a} * h_{net,d} * \Delta t = 0,9 * \frac{(A_m/V)_b}{A_m/V} * \frac{A_m/V}{c_a * \rho_a} * h_{net,d} * \Delta t$$

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 * \frac{(A_m/V)_b}{c_a * \rho_a} * h_{net,d} * \Delta t \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

- objemová hmotnost oceli

Tabulka 4: Měrná tepelná kapacita oceli

θ_a [°C]	c_a [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]
$20 < \theta_a < 600$	$425 + 7,73 * 10^{-1} * \theta_a - 1,69 * 10^{-3} * \theta_a^2 + 2,22 * 10^{-6} * \theta_a^3$
$600 < \theta_a < 735$	$666 + 13002/(738 - \theta_a)$
$735 < \theta_a < 900$	$545 + 17800/(\theta_a - 731)$
$900 < \theta_a < 1200$	650

Součinitel průřezu (boxový):

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = \frac{2 * (b + h)}{V} = \frac{2 * (110 + 323)}{3947} = 0,219 \text{ mm}^{-1} = 219 \text{ m}^{-1}$$

Tepelná pohltivost povrchu od proudění a sálání:

$$h_{net,d} = h_{net,c} + h_{net,r} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

Složka tepelného toku proudění na jednotku plochy:

$$h_{\text{net,c}} = \alpha_c * (\theta_g - \theta_m) [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$\alpha_c = 25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad - \text{ součinitel přestupu tepla prouděním (normová křivka)}$$

Složka sálavého přestupu tepla na jednotku plochy:

$$h_{\text{net,r}} = \phi * \varepsilon_{\text{res}} * \sigma * [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4] [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$\phi = 1,0 \quad - \text{ polohový faktor}$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad - \text{ Stephan-Boltzmannova konstanta}$$

$$\theta_r = \theta_g [\text{°C}] \quad - \text{ sálavá teplota okolí (uvažována jako teplota plynu)}$$

$$\varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_m * \varepsilon_f \quad - \text{ výsledná emisivita}$$

$$\varepsilon_m = 0,7 \quad - \text{ emisivita vztažená k povrchu materiálu (uhlíková ocel)}$$

$$\varepsilon_f = 1,0 \quad - \text{ emisivita vztažená k požáru}$$

3.3.2 Posouzení za požáru

Požadovaná požární odolnost: R15 (15 minut)

Kritická teplota: $\theta_{a,\text{cr}} = 662,8 \text{ °C}$

Tabulka 5: Teploty podle normálové teplotní křivky

t [s]	t [min]	θ_g [°C]	C_a [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	$h_{\text{net,c}}$ [W.m ⁻²]	$h_{\text{net,r}}$ [W.m ⁻²]	$h_{\text{net,d}}$ [W.m ⁻²]	$\Delta\theta_{a,t}$ [°C]	$\theta_{a,t}$ [°C]
0	0,00	20,00	439,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
5	0,08	96,54	439,00	1913,45	447,63	2361,07	0,68	20,68
10	0,17	146,95	439,45	3156,89	939,24	4096,13	1,17	21,85
15	0,25	184,61	440,23	4068,95	1440,44	5509,39	1,57	23,42
20	0,33	214,67	441,27	4781,27	1938,48	6719,75	1,92	25,34
820	13,67	724,73	826,40	1682,32	9584,88	11267,20	1,71	659,16
825	13,75	725,64	829,91	1662,01	9507,50	11169,51	1,69	660,85
830	13,83	726,53	833,53	1642,12	9431,28	11073,40	1,67	662,52
835	13,92	727,43	837,26	1622,64	9356,25	10978,89	1,65	664,17
840	14,00	728,31	841,10	1603,58	9282,41	10885,99	1,63	665,80
845	14,08	729,19	845,08	1584,92	9209,80	10794,72	1,61	667,40
890	14,83	736,90	887,32	1434,63	8613,79	10048,42	1,42	680,94
895	14,92	737,73	892,87	1419,83	8554,22	9974,04	1,41	682,35
900	15,00	738,56	898,62	1405,40	8496,02	9901,42	1,39	683,73
905	15,08	739,38	904,58	1391,33	8439,21	9830,54	1,37	685,10
910	15,17	740,20	910,77	1377,63	8383,81	9761,44	1,35	686,45

V tabulce 5 je vidět, že teplota nosníku v 15 min překračuje kritickou teplotu. Této teploty dosáhne nosník již mezi 13 min 50s a 13 min 55s. Nosník tedy konzervativním výpočtem dle normové teplotní křivky nesplňuje požadovanou požární odolnost R15.

-> NEVYHOVUJE

S ohledem na posouzení je nutné nosník opatřit protipožární ochranou, případně použít přesnější výpočet (méně konzervativní).

3.4 Lokální požár jednoho osobního automobilu

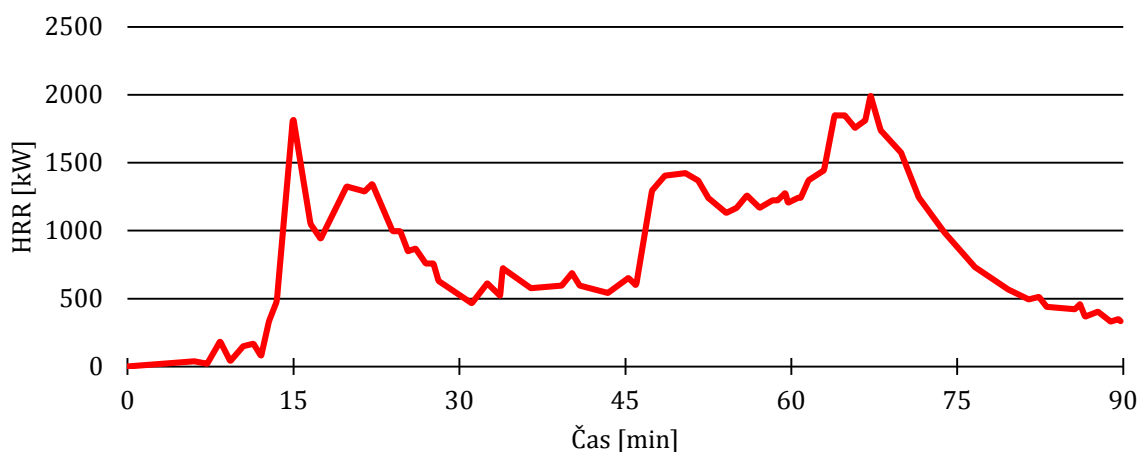
Jako první model lokálního požáru je zvolen experiment, ve kterém byl zapálen čtyřdveřový sedan (dle [6] příloha 2, soubor 6.2.1.11 test C). Tento model požáru simuluje případný požár jednoho z vystavených vozidel v Showroomu. Při posouzení je uvažováno, že se zdroj požáru (osobní automobil) nachází přímo pod prolamovaným nosníkem.

3.4.1 Rychlost uvolňování tepla

Popis zkoušky (dle [6] příloha 2, soubor 6.2.1.11 test C):

Motor je umístěn vpředu – objem motoru 2.0, automobil s náhonem na zadní nápravu. Vozidlo je vybaveno rezervní pneumatikou a v nádrži je 20 l benzínu. Test je proveden v komoře o rozměrech 15,0 x 15,0 x 15,0 m. Zdrojem zapálení je benzin u pravého předního kola.

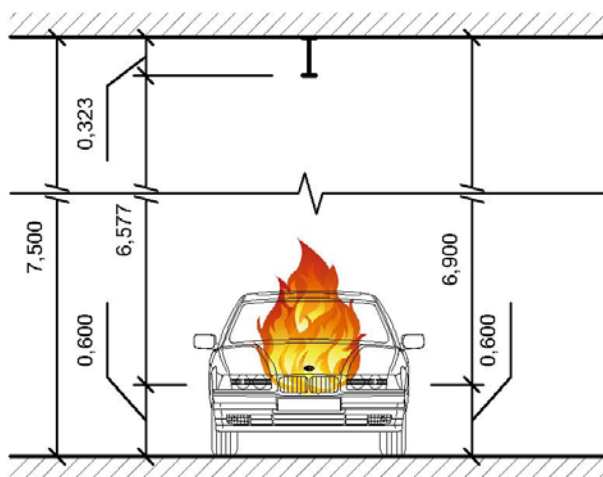
$HRR_{max} = 1991 \text{ kW}$ - plocha požáru při maximální HRR je $A_{fi,max} = 7 \text{ m}^2$.



Obrázek 4: Graf rychlosti uvolňování tepla

3.4.2 Posouzení za požáru

Světlá výška prostoru výstavní části autosalonu je 7,5 m. Pro výpočet je uvažováno, že se zdroj požáru nachází 0,6 m nad podlahou.



Obrázek 5: Schéma zdroje požáru

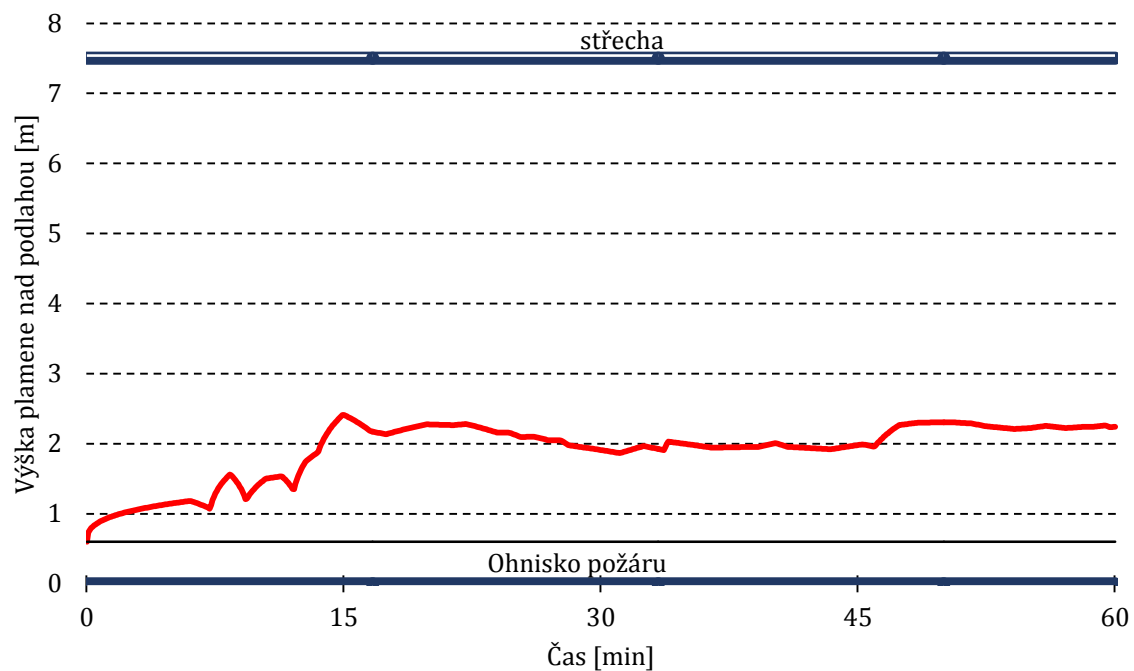
Níže je uvedený výpočet, podle kterého je počítáno v tabulkovém procesoru MS Excel. Časový přírůstek je ve výpočtu $\Delta t = 5$ s. Hodnoty uvolňovaného tepla Q [W] v čase, jsou uvažovány podle křivky na obr. 4.

Délka plamene L_f lokálního požáru:

$$L_f = -1,02 * D + 0,0148 * Q^{\frac{2}{5}} \text{ [m]}$$

Velikost plochy požáru je přímo úměrná rychlosti uvolňování tepla.

$$A_{fi,(t)} = \frac{Q}{HRR_{\max}} * A_{fi,\max} \text{ [m}^2\text{]} \rightarrow D_{(t)} = \sqrt{\frac{4 * A_{fi,(t)}}{\pi}} \text{ [m]}$$



Obrázek 6: Výška plamene nad podlahou

Podle křivky s výškou plamene nad podlahou v čase na obr. 6 je vidět, že plamen během první hodiny požáru nedosáhne výšky střešky.

Teplota průřezu v čase:

$$\theta_a(t_n) = \theta_a(t_{n-1}) + \Delta\theta_a \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Přírůstek teploty:

$$\Delta\theta_a = 0,9 * \frac{(A_m/V)_b}{c_a * \rho_a} * h_{\text{net,d}} * \Delta t \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{- objemová hmotnost oceli}$$

$$c_a \text{ - viz kap. 3.3.1 tab. 4} \quad \text{- měrná tepelná kapacita oceli}$$

Součinitel průřezu (boxový):

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = \frac{2 * (b + h)}{V} = \frac{2 * (110 + 323)}{3947} = 0,219 \text{ mm}^{-1} = 219 \text{ m}^{-1}$$

Pokud plamen nezasahuje strop úseku ($L_f < H$), je teplota v oblaku hořících plynů podél symetrické svislé osy plamene dána vztahem:

$$\theta_z = 20 + 0,25 * Q_c^{2/3} * (z - z_0)^{-5/3} [^{\circ}\text{C}] \leq 900^{\circ}\text{C}$$

$$Q_c = 0,8 * Q [W] \quad - \text{konvekční část rychlosti uvolňování tepla}$$

$z = 6,577 \text{ m}$ - výška podél osy plamene (vzdálenost mezi zdrojem požáru a spodní pásnicí prolamovaného nosníku podle obr. 5)

$$z_0 = -1,02 * D + 0,00524 * Q_c^{2/5} [m] \quad - \text{virtuální počátek osy}$$

Tepelná pohltivost povrchu od proudění a sálání:

$$h_{\text{net,d}} = h_{\text{net,c}} + h_{\text{net,r}} [W \cdot m^{-2}]$$

Složka tepelného toku proudění na jednotku plochy:

$$h_{\text{net,c}} = \alpha_c * (\theta_z - \theta_a) [W \cdot m^{-2}]$$

$$\alpha_c = 35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad - \text{součinitel přestupu tepla prouděním (lokální požár)}$$

Složka sálavého přestupu tepla na jednotku plochy:

$$h_{\text{net,r}} = \phi * \epsilon_{\text{res}} * \sigma * [(\theta_z + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] [W \cdot m^{-2}]$$

$$\phi = 1,0 \quad - \text{polohový faktor}$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad - \text{Stephan-Boltzmannova konstanta}$$

$$\theta_m = \theta_a [^{\circ}\text{C}] \quad - \text{teplota povrchu prvku (uvažována jako teplota průřezu)}$$

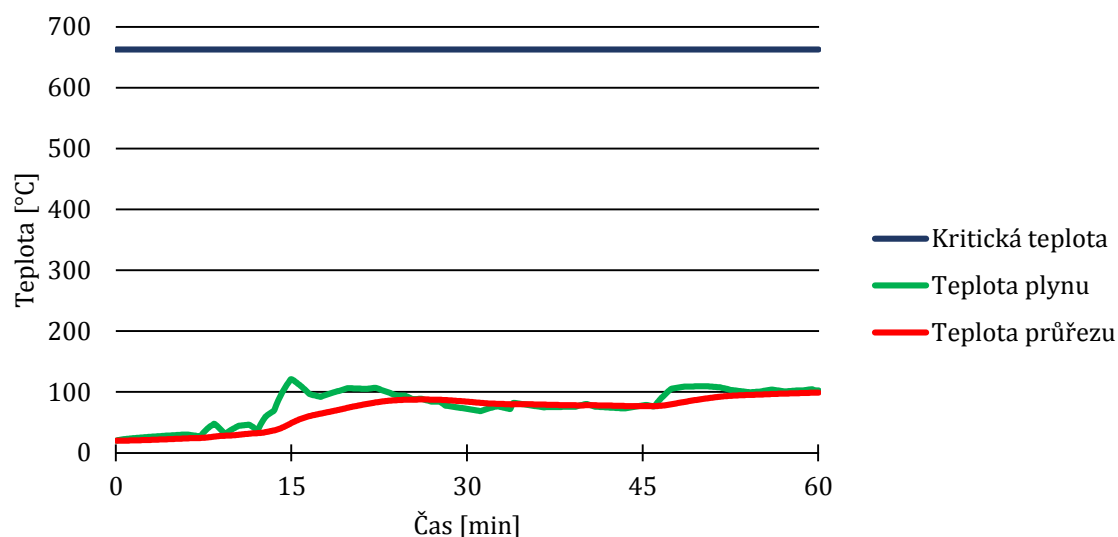
$$\epsilon_{\text{res}} = \epsilon_m * \epsilon_f \quad - \text{výsledná emisivita}$$

$$\epsilon_m = 0,7 \quad - \text{emisivita vztažená k povrchu materiálu (uhlíková ocel)}$$

$$\epsilon_f = 1,0 \quad - \text{emisivita vztažená k požáru}$$

Požadovaná požární odolnost: R15 (15 minut)

Kritická teplota: $\theta_{a,\text{cr}} = 662,8^{\circ}\text{C}$



Obrázek 7: Teploty plynu a prolamovaného nosníku

Tabulka 6: Teploty podle lokálního požáru osobního automobilu

t [s]	t [min]	Q [kW]	A _{fi} [m ²]	D [m]	L _r [m]	Dosahuje stropu	Q _c [kW]	z ₀ [m]	θ _z [°C]	C _a [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	h _{net,d} [W.m ⁻²]	Δθ _a [°C]	θ _a [°C]
0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	NE	0,0	0,00	20,00	439,8	0,00	0,00	20,00
5	0,08	0,5	0,00	0,05	0,13	NE	0,4	0,01	20,61	439,8	23,71	0,01	20,01
10	0,17	1,1	0,00	0,07	0,17	NE	0,8	0,01	20,96	439,8	37,36	0,01	20,02
15	0,25	1,6	0,01	0,08	0,20	NE	1,3	0,01	21,26	439,8	48,61	0,01	20,03
20	0,33	2,1	0,01	0,10	0,22	NE	1,7	0,00	21,53	439,8	58,46	0,02	20,05
890	14,83	1728,4	6,08	2,78	1,79	NE	1382,7	-1,34	118,69	457,7	3036,54	0,83	47,60
895	14,92	1805,3	6,35	2,84	1,81	NE	1444,3	-1,37	120,83	458,2	3098,53	0,85	48,45
900	15,00	1813,9	6,38	2,85	1,81	NE	1451,1	-1,38	121,06	458,7	3074,81	0,84	49,29
905	15,08	1772,2	6,23	2,82	1,80	NE	1417,8	-1,36	119,92	459,3	2989,69	0,82	50,11
910	15,17	1730,6	6,08	2,78	1,79	NE	1384,5	-1,34	118,75	459,8	2904,78	0,79	50,90

V tabulce 6 a podle křivky teploty prolamovaného nosníku na obr. 7 je vidět, že maximální teplota nosníku do 15 min nepřekročí kritickou teplotu. Této teplotě se (dle obr. 7) prolamovaný nosník nepřiblíží ani do 60 min. Toto je dáno především tím, že požár za celou dobu nedosáhne úrovně stropu. Světla výška výstavního prostoru je velká a také tedy vzdálenost mezi zdrojem požáru a spodní pásnicí prolamovaného nosníku. Velkou roli hraje také relativně nízká rychlost uvolňování tepla získaná z experimentu.

Nosník tedy podle lokálního požáru osobního automobilu splňuje požadovanou požární odolnost R15 a odolá účinku požáru minimálně po dobu 60ti minut.

-> VYHOVUJE

3.5 Lokální požár tří osobních automobilů

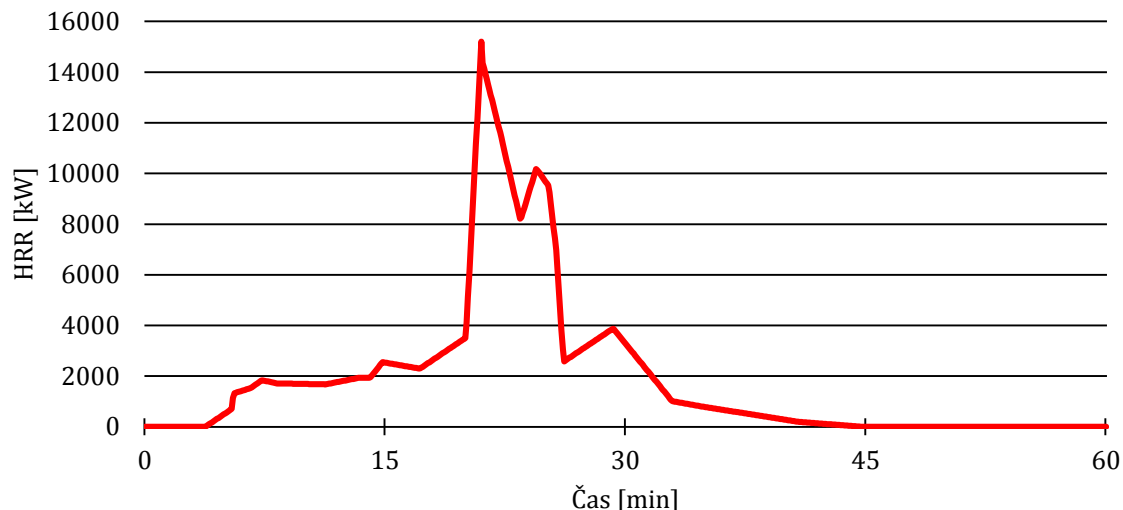
Jako druhý model lokálního požáru je zvolen experiment, ve kterém byly zapáleny tři osobní automobily v uzavřeném prostoru (dle [6] příloha 2, soubor 6.2.1.1). Tento model požáru simuluje případný vznik požáru v jednom vozidle, od kterého se požár rozšíří na sousední dvě vozidla, ve výstavní části autosalonu. Ve výpočtu je uvažováno, že zdroje požáru (3 vozidla) jsou umístěny v těsné blízkosti vedle sebe, přímo pod prolamovaným nosníkem.

3.5.1 Rychlost uvolňování tepla

Popis zkoušky (dle [6] příloha 2, soubor 6.2.1.1):

Plyn z klimatizace je odstraněn. Nádrže všech vozidel obsahují 20 l paliva. Auta jsou v uzavřeném parkovišti, ve kterém jsou stěny ze tří stran uzavřené a čtvrtá strana otevřená. Konstrukce parkoviště je z ocelového rámu s výplní z tvárnic, střecha je z betonových panelů. Zdrojem zapálení je hranice na předním sedadle jednoho z aut. Ventilační otvory jsou umístěny podél dvou bočních stran.

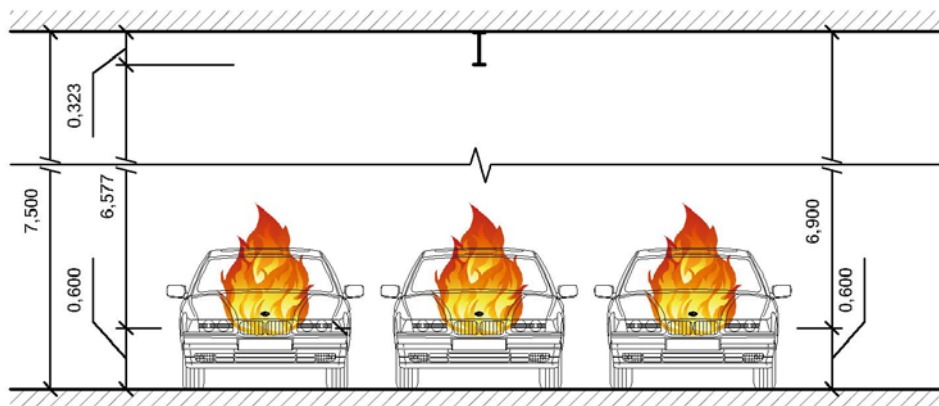
$HRR_{max} = 15\ 200\ kW$ - plocha požáru při maximální HRR je $A_{fi,max} = 10\ m^2$.



Obrázek 8: Graf rychlosti uvolňování tepla

3.5.2 Posouzení za požáru

Světlá výška prostoru výstavní části autosalonu je 7,5 m. Pro výpočet je uvažováno, že se zdroje požáru nachází 0,6 m nad podlahou.



Obrázek 9: Schéma zdrojů požáru

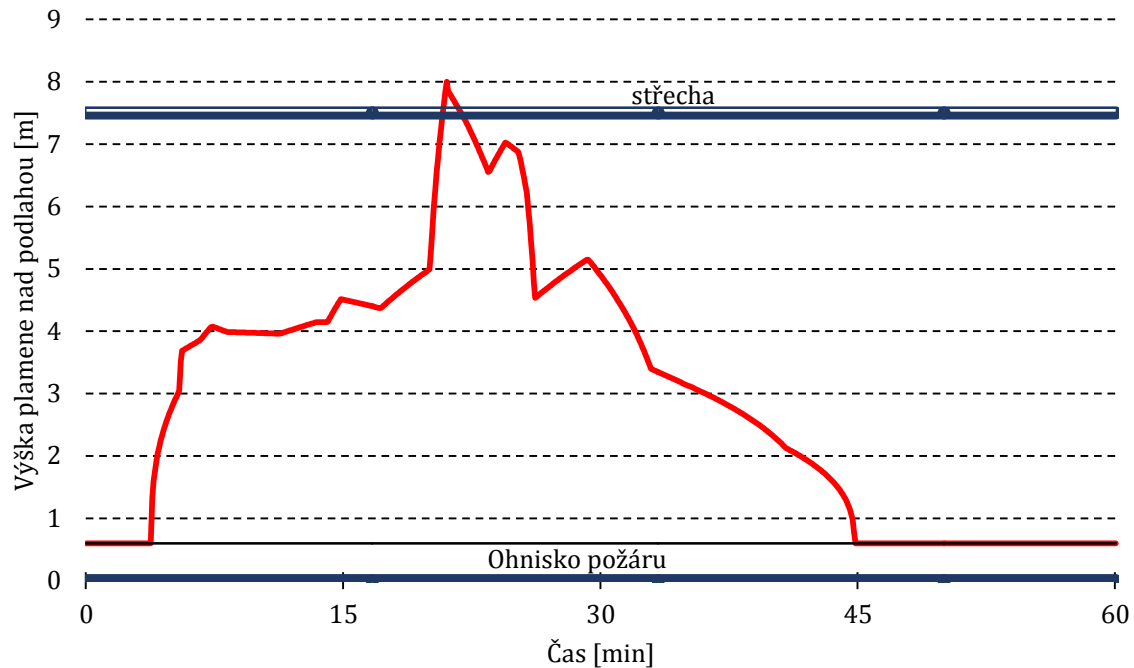
Níže je uvedený výpočet, podle kterého je počítáno v tabulkovém procesoru MS Excel. Časový přírůstek je ve výpočtu $\Delta t = 5$ s. Hodnoty uvolňovaného tepla Q [W] v čase, jsou uvažovány podle křivky na obr. 8.

Délka plamene L_f lokálního požáru:

$$L_f = -1,02 * D + 0,0148 * Q^{2/5} \text{ [m]}$$

Velikost plochy požáru je přímo úměrná rychlosti uvolňování tepla. Plocha požárů aut je nahrazena velikostí idealizované kruhové plochy v čase, která působí přímo v ose pod prolamovaným nosníkem s průměrem ohně D .

$$A_{fi,(t)} = \frac{Q}{HRR_{max}} * A_{fi,max} \text{ [m}^2\text{]} \rightarrow D_{(t)} = \sqrt{\frac{4 * A_{fi,(t)}}{\pi}} \text{ [m]}$$



Obrázek 10: Výška plamene nad podlahou

Podle křivky s výškou plamene nad podlahou v čase na obr. 10 je vidět, že plamen dosáhne výšky střešky během první hodiny požáru pouze mezi 20. a 22 min.

V části, kde plamen nedosahuje stropu je postupováno stejným výpočtem jako v kap. 3.4.2. Pokud plamen dosahuje stropu ($L_f \geq H$), je počítáno podle výpočtu níže.

Teplota průřezu v čase:

$$\theta_a(t_n) = \theta_a(t_{n-1}) + \Delta\theta_a \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Přírůstek teploty:

$$\Delta\theta_a = 0,9 * \frac{(A_m/V)_b}{c_a * \rho_a} * h'_{\text{net,d}} * \Delta t \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{- objemová hmotnost oceli}$$

$$c_a \text{ - viz kap. 3.3.1 tab. 4} \quad \text{- měrná tepelná kapacita oceli}$$

Součinitel průřezu (boxový):

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = \frac{2 * (b + h)}{V} = \frac{2 * (110 + 323)}{3947} = 0,219 \text{ mm}^{-1} = 219 \text{ m}^{-1}$$

Tepelný tok dopadající na jednotku povrchové plochy v úrovni stropu, vystavené účinku požáru, dán vztahem:

$$h' = 100\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{- jestliže } y \leq 0,30$$

$$h' = 136\,300 - 121\,000 * y \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad \text{- jestliže } 0,30 < y < 1,0$$

$$h' = 15\,000 * y^{-3,7} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad \text{- jestliže } y \geq 1,0$$

Kde je parametr y dán vztahem:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'}$$

$r = 0,000$ m - působíště požáru uvažováno přímo pod osou nosníku

$z = 6,577$ m - výška podél osy plamene (vzdálenost mezi zdrojem požáru a spodní pásnicí prolamovaného nosníku podle obr. 9)

$H = 6,900$ m - vzdálenost mezi zdrojem požáru a stropem (podle obr. 9)

$L_h = (2,9 * H * (Q_H^*)^{0,33}) - H$ [m] - vodorovná délka plamene

$Q_H^* = Q / (1,11 * 10^6 * H^{2,5})$ - bezrozměrný součinitel rychlosti uvolňování tepla

Svislá poloha virtuálního zdroje tepla:

$z' = 2,4 * D * (Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3})$ [m] - při $Q_D^* < 1,0$

$z' = 2,4 * D * (1,0 - Q_D^{*2/5})$ [m] - při $Q_D^* \geq 1,0$

Kde $Q_D^* = Q / (1,11 * 10^6 * D^{2,5})$

Čistý tepelný tok dopadající na jednotku povrchové plochy:

$h'_{net,d} = h' - \alpha_c * (\theta_m - 20) - \phi * \epsilon_m * \epsilon_f * \sigma * [(\theta_m + 273)^4 - (293)^4]$ [$W \cdot m^{-2}$]

$\alpha_c = 35$ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ - součinitel přestupu tepla prouděním (lokální požár)

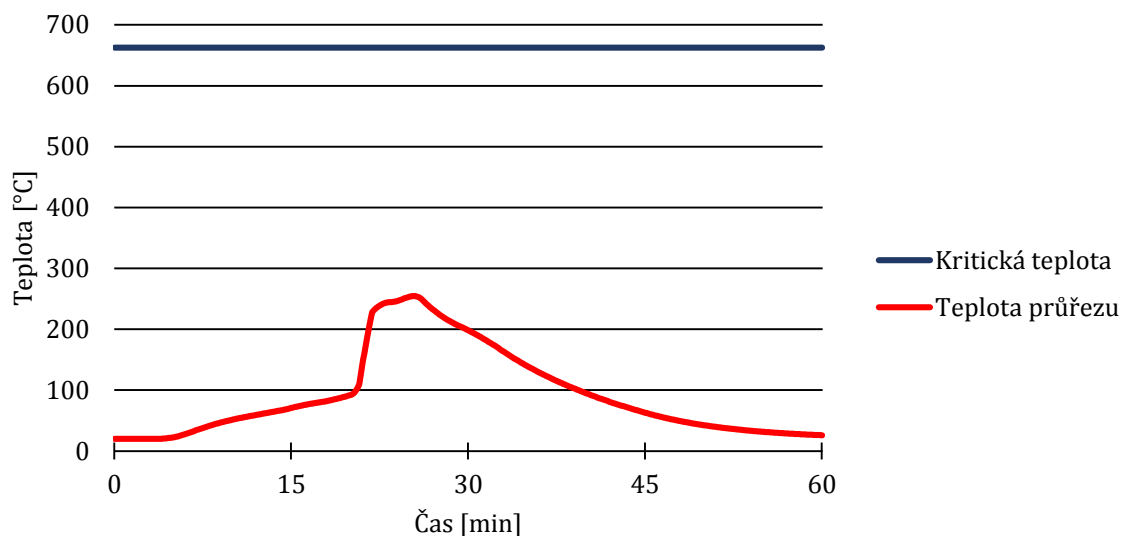
$\phi = 1,0$ - polohový faktor

$\sigma = 5,67 * 10^{-8}$ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ - Stephan-Boltzmannova konstanta

$\theta_m = \theta_a$ [$^{\circ}C$] - teplota povrchu prvku (uvažována jako teplota průřezu)

$\epsilon_m = 0,7$ - emisivita vztažená k povrchu materiálu (uhlíková ocel)

$\epsilon_f = 1,0$ - emisivita vztažená k požáru



Obrázek 11: Teplota prolamovaného nosníku

Tabulka 7: Teploty podle lokálního požáru tří osobních osobních automobilů

t [s]	t [min]	Q [kW]	A _{fi} [m ²]	D [m]	L _r [m]	Dosahuje stropu	L _h [m]	Q _c [kW]	θ _z [°C]	C _a [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	h _{net,d} [W.m ⁻²]	Δθ _a [°C]	θ _a [°C]
0	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	NE	-	0,0	20,00	439,8	0,0	0,00	20,00
5	0,08	0,0	0,00	0,00	0,00	NE	-	0,0	20,00	439,8	0,0	0,00	20,00
10	0,17	0,0	0,00	0,00	0,00	NE	-	0,0	20,00	439,8	0,0	0,00	20,00
890	14,83	2551,9	1,68	1,46	3,92	NE	-	2041,6	107,76	471,3	1625,8	0,43	69,97
895	14,92	2542,7	1,67	1,46	3,91	NE	-	2034,2	107,51	471,6	1597,0	0,43	70,39
900	15,00	2533,5	1,67	1,46	3,91	NE	-	2026,8	107,26	471,8	1568,5	0,42	70,81
905	15,08	2524,3	1,66	1,45	3,90	NE	-	2019,4	107,01	472,1	1540,3	0,41	71,22
910	15,17	2515,0	1,65	1,45	3,90	NE	-	2012,0	106,76	472,3	1512,4	0,40	71,62
1240	20,67	11170,9	7,35	3,06	6,64	NE	-	8936,7	323,15	489,3	11912,0	3,06	106,35
1245	20,75	12178,2	8,01	3,19	6,85	NE	-	9742,6	348,21	490,8	13553,8	3,47	109,82
1250	20,83	13185,6	8,67	3,32	7,04	ANO	2,30	-	-	492,5	39311,0	10,02	119,84
1255	20,92	14192,9	9,34	3,45	7,23	ANO	2,53	-	-	497,2	40767,2	10,29	130,13
1305	21,75	12675,3	8,34	3,26	6,94	ANO	2,18	-	-	534,3	33318,7	7,83	220,37
1310	21,83	12465,7	8,20	3,23	6,90	ANO	2,13	-	-	537,0	32452,5	7,59	227,95
1315	21,92	12256,1	8,06	3,20	6,86	NE	-	9804,9	350,15	539,7	7762,5	1,81	229,76
1320	22,00	12046,4	7,93	3,18	6,82	NE	-	9637,2	344,92	540,3	7281,5	1,69	231,45

V tabulce 7 a podle křivky teploty prolamovaného nosníku na obr. 11 je vidět, že maximální teplota nosníku do 15 min nepřekročí kritickou teplotu. Této teplotě se (obdobně jako v kapitole 3.4.2) dle obr. 11 prolamovaný nosník nepřiblíží ani do 60 min. Toto je dáno především tím, že požár dosáhne úrovně stropu pouze na krátký okamžik. Světla výška výstavního prostoru je velká a také tedy vzdálenost mezi zdrojem požáru a spodní pásnicí prolamovaného nosníku.

Nosník tedy podle lokálního požáru tří osobních automobilů splňuje požadovanou požární odolnost R15 a odolá účinku celého průběhu požáru.

-> VYHOVUJE

4 Vnitřní kruhový sloup

Posuzován je vnitřní kruhový sloup, navržený za běžné teploty (část A, kap. 7). Posouzení únosnosti je provedeno pomocí redukovaných vlastností oceli za požáru a to pouze pro spodní pole spojitého sloupu (rozhoduje o únosnosti). Sloup musí splnit požadovanou požární odolnost R30.

4.1 Zatížení za požáru

Rozhodující vnitřní síly za běžné teploty pro MSÚ (viz. část A, kap. 7.3 a 7.4):

$M_{Ed,s} = -11,410 \text{ kNm}$ - návrhový ohybový moment ve spodním poli

$N_{Ed,s} = -366,740 \text{ kN}$ - návrhová normálová síla ve spodním poli

Redukční součinitel pro zatížení při požáru:

Pro výpočet je uvažována zjednodušená (konzervativní) hodnota součinitele:

$$\eta_{fi} = 0,65$$

Ohybový moment při požáru:

$$M_{fi,Ed} = M_{Ed,s} * \eta_{fi} = -11,410 * 0,65 = -7,417 \text{ kNm}$$

Normálová síla při požáru:

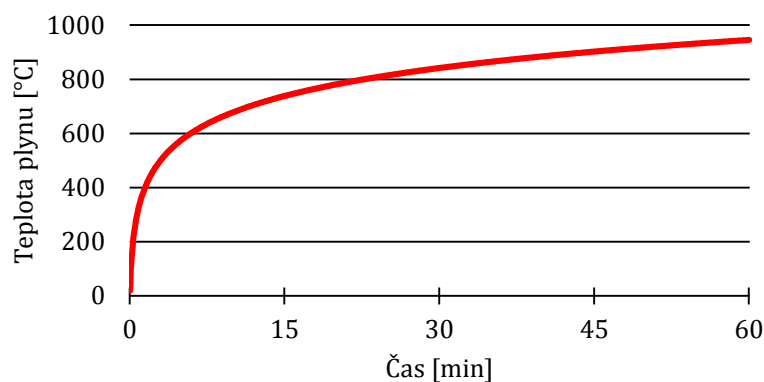
$$N_{fi,Ed} = N_{Ed,s} * \eta_{fi} = -366,740 * 0,65 = -238,381 \text{ kN}$$

4.2 Požár podle normové teplotní křivky

Podle normové teplotní křivky je za pomoci přírůstkové metody zjištěna teplota průřezu sloupu ve 30 min požáru.

Výpočet teploty plynu:

$$\theta_g = 20 + 345 * \log(8 * t + 1) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{- kde } t \text{ je čas v minutách}$$



Obrázek 12: Průběh teploty plynu dle normové teplotní křivky

4.2.1 Výpočet teploty nechráněného průřezu

Níže je uvedený výpočet, podle kterého je počítáno v tabulkovém procesoru MS Excel. Časový přírůstek ve výpočtu $\Delta t = 5 \text{ s}$.

Teplota průřezu v čase:

$$\theta_{a,t}(t_n) = \theta_{a,t}(t_{n-1}) + \Delta\theta_{a,t} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Přírůstek teploty:

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 * \frac{(A_m/V)_b}{c_a * \rho_a} * h_{net,d} * \Delta t \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{- objemová hmotnost oceli}$$

$$c_a \text{ - viz kap. 3.3.1 tab. 4} \quad \text{- měrná tepelná kapacita oceli}$$

Součinitel průřezu (boxový):

$$\left(\frac{A_m}{V}\right)_b = \frac{\pi * D}{V} = \frac{\pi * 245}{7383} = 0,104 \text{ mm}^{-1} = 104 \text{ m}^{-1}$$

Tepelná pohltivost povrchu od proudění a sálání:

$$h_{net,d} = h_{net,c} + h_{net,r} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

Složka tepelného toku proudění na jednotku plochy:

$$h_{\text{net},c} = \alpha_c * (\theta_g - \theta_m) [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$\alpha_c = 25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad - \text{ součinitel přestupu tepla prouděním (normová křivka)}$$

Složka sálavého přestupu tepla na jednotku plochy:

$$h_{\text{net},r} = \phi * \epsilon_{\text{res}} * \sigma * [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4] [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$\phi = 1,0 \quad - \text{ polohový faktor}$$

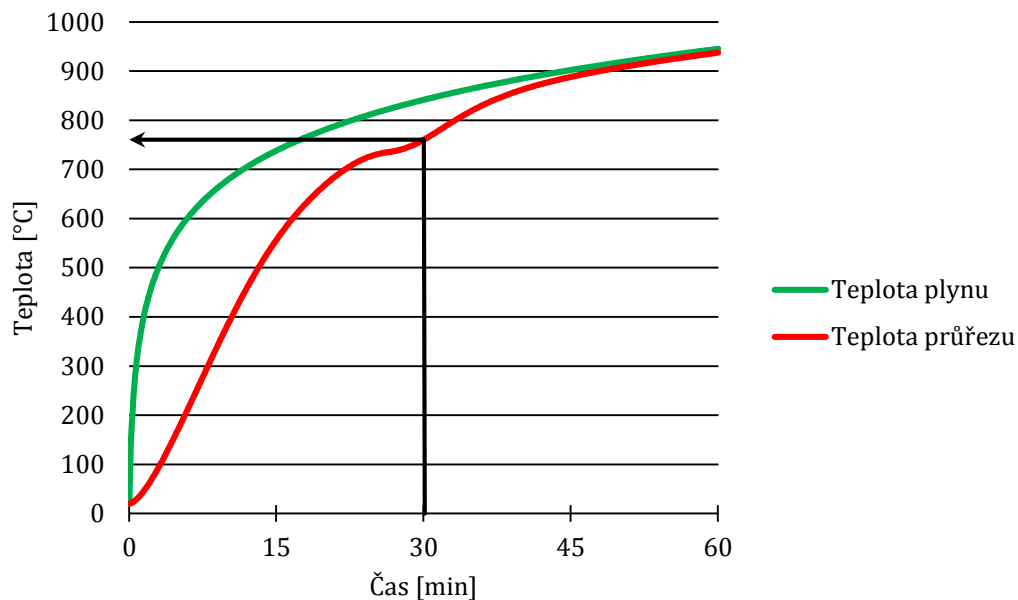
$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad - \text{ Stephan-Boltzmannova konstanta}$$

$$\theta_r = \theta_g [\text{°C}] \quad - \text{ sálavá teplota okolí (uvažována jako teplota plynu)}$$

$$\epsilon_{\text{res}} = \epsilon_m * \epsilon_f \quad - \text{ výsledná emisivita}$$

$$\epsilon_m = 0,7 \quad - \text{ emisivita vztažená k povrchu materiálu (uhlíková ocel)}$$

$$\epsilon_f = 1,0 \quad - \text{ emisivita vztažená k požáru}$$



Obrázek 13: Křivka teploty plynu a průřezu sloupu

Tabulka 8: Teplota vnitřního kruhového sloupu

t [s]	t [min]	θ_g [°C]	c_a [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	$h_{\text{net},c}$ [W.m ⁻²]	$h_{\text{net},r}$ [W.m ⁻²]	$h_{\text{net},d}$ [W.m ⁻²]	$\Delta\theta_{a,t}$ [°C]	$\theta_{a,t}$ [°C]
0	0,00	20,00	439,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
5	0,08	96,54	439,00	1913,45	447,63	2361,07	0,32	20,32
10	0,17	146,95	439,22	3165,76	940,66	4106,43	0,56	20,88
15	0,25	184,61	439,59	4093,17	1444,36	5537,53	0,75	21,63
20	0,33	214,67	440,09	4826,02	1945,81	6771,83	0,92	22,55
1790	29,83	840,96	1210,02	2079,96	16313,14	18393,10	0,91	758,67
1795	29,92	841,38	1188,19	2067,65	16246,37	18314,03	0,92	759,60
1800	30,00	841,80	1167,47	2055,00	16176,82	18231,82	0,93	760,53
1805	30,08	842,21	1147,80	2042,02	16104,55	18146,57	0,94	761,47
1810	30,17	842,62	1129,11	2028,72	16029,66	18058,37	0,96	762,43

V tabulce 8 a podle křivky teploty průřezu na obr. 13 je vidět, že maximální teplota nechráněného kruhového sloupu, podle přírůstkové metody při působení normové teplotní křivky, do 30 min dosáhne hodnoty 760,53 °C.

4.2.2 Posouzení nechráněného průřezu za požáru

Teplota průřezu v 30 min: $\theta_{a,30\text{min}} = 760,53 \text{ °C}$

Tabulka 9: Redukční součinitele pro uhlíkovou ocel za požáru

Teplota oceli θ_a	Redukční součinitel pro účinnou mez kluzu $k_{y,\theta}$	Redukční součinitel pro sklon lineární pružné části $k_{E,\theta}$
700 °C	0,230	0,130
800 °C	0,110	0,090

Lineární interpolací z tabulky 9 jsou získány redukční součinitele:

$$k_{y,\theta} = 0,157$$

$$k_{E,\theta} = 0,106$$

Vzpěrná délka sloupu za požáru:

$$L_{cr,s,fi} = L_s * \beta_\theta = 3,5 * 0,7 = 2,45 \text{ m} \quad - \text{první podlaží } (\beta_\theta = 0,7)$$

Štřhlost:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

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

$$\lambda_{s,\theta} = \frac{L_{cr,s,fi}}{i} = \frac{2450}{83,2} = 29,4 \rightarrow \bar{\lambda}_{s,\theta} = \frac{\lambda_{s,\theta}}{\lambda_1} * \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = \frac{29,4}{93,9} * \sqrt{\frac{0,157}{0,106}} = 0,381$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\alpha = 0,65 * \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 0,65 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,65$$

$$\Phi_{s,\theta} = 0,5 * [1 + \alpha * \bar{\lambda}_{s,\theta} + (\bar{\lambda}_{s,\theta})^2] = 0,5 * [1 + 0,65 * 0,381 + (0,381)^2] = 0,696$$

$$\chi_{s,fi} = \frac{1}{\Phi_{s,\theta} + \sqrt{\Phi_{s,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{s,\theta}^2}} = \frac{1}{0,696 + \sqrt{0,696^2 - 0,381^2}} = 0,782$$

Interakce tlaku s ohybem:

$$\alpha_{s,fi} = \frac{0,0}{7,417} = 0,0$$

$$C_{my,fi} = 0,90 + 0,10 * \alpha_{s,fi} = 0,90 + 0,10 * 0,0 = 0,90$$

$$k_{fi} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my,fi} * \left(1 + (\bar{\lambda}_{s,\theta} - 0,2) * \frac{N_{Ed,s,fi}}{\chi_{s,fi} * N_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} \right) \\ C_{my,fi} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,s,fi}}{\chi_{s,fi} * N_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{fi} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,90 * \left(1 + (0,381 - 0,2) * \frac{238,381 * 10^3}{0,782 * 7383 * 235 * 0,157 / 1,0} \right) \\ 0,90 * \left(1 + 0,8 * \frac{238,381 * 10^3}{0,782 * 7383 * 235 * 0,157 / 1,0} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{fi} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,082 \\ 1,703 \end{array} \right\} = 1,082$$

Uzavřený průřez $\rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed,s,fi}}{\chi_{s,fi} * N_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} + k_{fi} * \frac{M_{Ed,s,fi}}{\chi_{LT} * M_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}}$$

$$\frac{238,381 * 10^3}{0,782 * 7383 * 235 * 0,157 / 1,0} + 1,082 * \frac{7,417 * 10^6}{1,0 * 5,526 * 10^5 * 235 * 0,157 / 1,0} = 1,513 > 1,0$$

-> NEVYHOVUJE

Vnitřní nechráněný kruhový sloup výpočtem pomocí redukovaných vlastností oceli za požáru nesplňuje požadovanou požární odolnost R30. Pro sloup je tedy nutné zvolit vhodnou požární ochranu (např. vybetonovat trubku, aplikovat požární nátěr, nebo zvolit lepší třídu oceli – S355 a výpočtem posoudit, zda by nebyla dostačující).

4.2.3 Výpočet teploty chráněného průřezu

Vzhledem k tomu, že nechráněný kruhový sloup nevyhoví na požadovanou požární odolnost, je navržena ochrana zpěňujícím nátěrem. Nátěr je provedený v tloušťce 1,2 mm. Pro výpočet je uvažováno, že nátěr zpění při teplotě průřezu 240 °C a to do efektivní tloušťky 18 mm.

Efektivní teplotní vlastnosti pro zpěňující nátěr:

$\rho_p = 350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	- hustota
$\lambda_p = 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	- tepelná vodivost
$c_p = 1100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	- měrné teplo
$d_{dry,cent} = 1200 \text{ } \mu\text{m}$	- skutečná tloušťka nátěru
$d_{p,eff} = 18 \text{ mm}$	- tloušťka nátěru po zpěnění

Níže je uvedený výpočet, podle kterého je počítáno v tabulkovém procesoru MS Excel. Časový přírůstek ve výpočtu $\Delta t = 5 \text{ s}$. Dokud teplota průřezu nepřekročí 240 °C, je výpočet shodný jako v kap. 4.2.1. Dále (po zpěnění nátěru) je počítáno přírůstkovou metodou pro chráněný profil.

Výpočet pro chráněný průřez:

Teplota průřezu v čase:

$$\theta_{a,t}(t_n) = \theta_{a,t}(t_{n-1}) + \Delta\theta_{a,t} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Přírůstek teploty:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p * \frac{A_p}{V}}{d_{p,eff} * c_a * \rho_a} * \frac{\theta_{g,t} - \theta_{a,t}}{1 + \frac{\emptyset}{3}} * \Delta t - (e^{\emptyset/10} - 1) * \Delta\theta_{g,t} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$\rho_a = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ - objemová hmotnost oceli

c_a - viz kap. 3.3.1 tab. 4 - měrná tepelná kapacita oceli

Součinitel průřezu (požární nátěr):

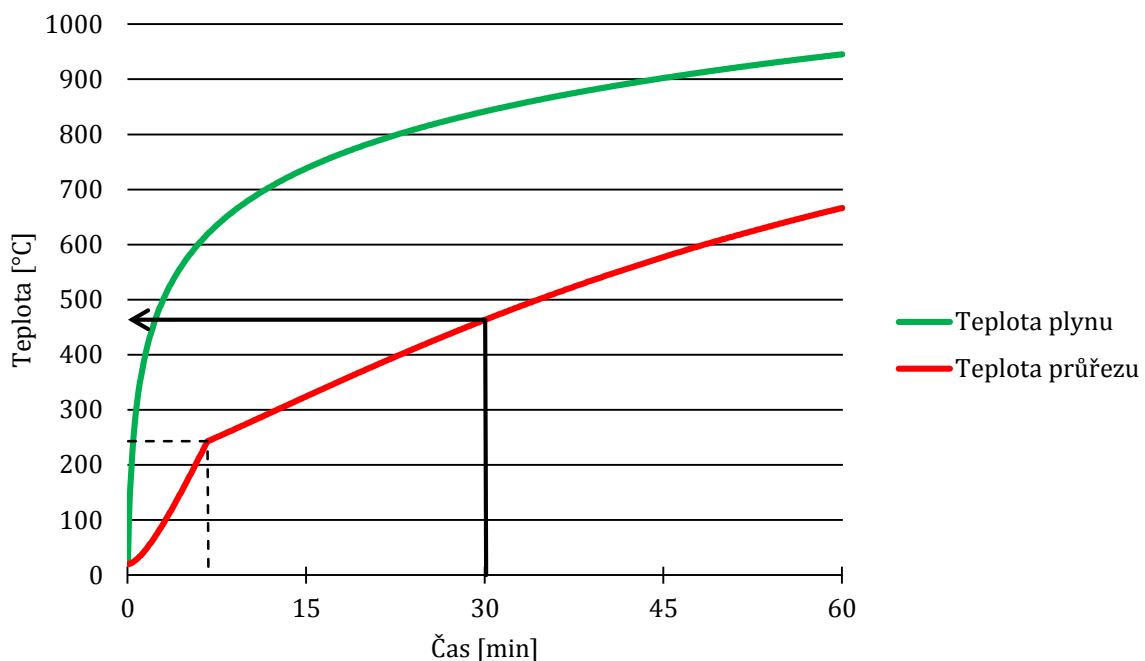
$$\frac{A_p}{V} = \frac{\pi * (D + 2 * d_{p,eff})}{V} = \frac{\pi * (245 + 2 * 18)}{7383} = 0,120 \text{ mm}^{-1} = 120 \text{ m}^{-1}$$

- Tento součinitel je uvažován až po zpěnění nátěru!

Tepelná jímavost ochranného materiálu:

$$\emptyset = \frac{c_p * \rho_p}{c_a * \rho_a} * d_{p,eff} * \frac{A_p}{V}$$

Vzhledem k tomu, že výpočet vychází z části z kap. 4.2.1 lze předpokládat, že ke zpěnění nátěru dojde po překročení 400 s (6 min 40 s). Od tohoto času je počítáno podle přírůstkové metody pro chráněný průřez.



Obrázek 14: Křivka teploty plynu a průřezu sloupu

Tabulka 10: Teplota vnitřního kruhového sloupu

t [s]	t [min]	θ_g [°C]	c_a [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	$h_{net,d}$ [W.m ⁻²]	\emptyset [-]	$\Delta\theta_{a,t}$ [°C]	$\theta_{a,t}$ [°C]
0	0,00	20,00	439,00	0,00	-	0,00	20,00
5	0,08	96,54	439,00	2361,07	-	0,32	20,32
10	0,17	146,95	439,22	4106,43	-	0,56	20,88
15	0,25	184,61	439,59	5537,53	-	0,75	21,63
20	0,33	214,67	440,09	6771,83	-	0,92	22,55
390	6,50	614,88	531,87	31648,46	-	3,56	235,72
395	6,58	616,75	532,96	31741,61	-	3,56	239,28
400	6,67	618,60	534,05	31831,19	-	3,56	242,84
405	6,75	620,43	535,13	-	0,20	0,78	243,63
410	6,83	622,23	535,37	-	0,20	0,79	244,41
415	6,92	624,01	535,61	-	0,20	0,79	245,20
1790	29,83	840,96	621,48	-	0,17	0,71	462,09
1795	29,92	841,38	621,90	-	0,17	0,71	462,80
1800	30,00	841,80	622,32	-	0,17	0,71	463,50
1805	30,08	842,21	622,74	-	0,17	0,71	464,21
1810	30,17	842,62	623,16	-	0,17	0,70	464,91

V tabulce 10 a podle křivky teploty průřezu na obr. 1413 je vidět, že maximální teplota chráněného kruhového sloupu, podle přírůstkové metody při působení normové teplotní křivky, do 30 min dosáhne hodnoty 463,50 °C.

4.2.4 Posouzení chráněného průřezu za požáru

Teplota průřezu v 30 min: $\theta_{a,30min} = 463,03 \text{ °C}$

Tabulka 11: Redukční součinitele pro uhlíkovou ocel za požáru

Teplota oceli θ_a	Redukční součinitel pro účinnou mez kluzu $k_{y,\theta}$	Redukční součinitel pro sklon lineární pružné části $k_{E,\theta}$
400 °C	1,000	0,700
500 °C	0,780	0,600

Lineární interpolací z tabulky 11 jsou získány redukční součinitele:

$$k_{y,\theta} = 0,861$$

$$k_{E,\theta} = 0,640$$

Vzpěrná délka sloupu za požáru:

$$L_{cr,s,fi} = L_s * \beta_\theta = 3,5 * 0,7 = 2,45 \text{ m} \quad - \text{první podlaží } (\beta_\theta = 0,7)$$

Štíhlost:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

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

$$\lambda_{s,\theta} = \frac{L_{cr,s,fi}}{i} = \frac{2450}{83,2} = 29,4 \rightarrow \bar{\lambda}_{s,\theta} = \frac{\lambda_{s,\theta}}{\lambda_1} * \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = \frac{29,4}{93,9} * \sqrt{\frac{0,861}{0,640}} = 0,363$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\alpha = 0,65 * \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = 0,65 * \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,65$$

$$\Phi_{s,\theta} = 0,5 * [1 + \alpha * \bar{\lambda}_{s,\theta} + (\bar{\lambda}_{s,\theta})^2] = 0,5 * [1 + 0,65 * 0,363 + (0,363)^2] = 0,684$$

$$\chi_{s,fi} = \frac{1}{\Phi_{s,\theta} + \sqrt{\Phi_{s,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{s,\theta}^2}} = \frac{1}{0,684 + \sqrt{0,684^2 - 0,363^2}} = 0,791$$

Interakce tlaku s ohybem:

$$\alpha_{s,fi} = \frac{0,0}{7,417} = 0,0$$

$$C_{my,fi} = 0,90 + 0,10 * \alpha_{s,fi} = 0,90 + 0,10 * 0,0 = 0,90$$

$$k_{fi} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my,fi} * \left(1 + (\bar{\lambda}_{s,\theta} - 0,2) * \frac{N_{Ed,s,fi}}{\chi_{s,fi} * N_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} \right) \\ C_{my,fi} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed,s,fi}}{\chi_{s,fi} * N_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{fi} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,90 * \left(1 + (0,381 - 0,2) * \frac{238,381 * 10^3}{0,791 * 7383 * 235 * 0,861 / 1,0} \right) \\ 0,90 * \left(1 + 0,8 * \frac{238,381 * 10^3}{0,791 * 7383 * 235 * 0,861 / 1,0} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{fi} = \min \{0,933\} = 0,933$$

Uzavřený průřez $\rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed,s,fi}}{\chi_{s,fi} * N_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} + k_{fi} * \frac{M_{Ed,s,fi}}{\chi_{LT} * M_{Rk} * k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}}$$

$$\frac{238,381 * 10^3}{0,791 * 7383 * 235 * 0,861 / 1,0} + 0,933 * \frac{7,417 * 10^6}{1,0 * 5,526 * 10^5 * 235 * 0,861 / 1,0} = 0,264 < 1,0$$

-> VYHOVUJE

Vnitřní kruhový sloup, chráněný zpěňujícím nátěrem tloušťky 1200 μm , dle výpočtu za pomoci redukováných vlastností oceli za požáru, splňuje požadovanou požární odolnost R30.

5 Závěr

5.1 Vyhodnocení

Pro výstavní část autosalonu byl vypočten stupeň požární bezpečnosti a to SPB II, od kterého se odvíjí požadovaná požární odolnost pro posuzované prvky. Pro prolamovaný nosník, tvořící nosnou část střešní konstrukce je to R15 (15 minut). Vnitřní sloup kruhového průřezu musí splnit požadavek R30 (30 minut).

Prolamovaný nosník (požadovaná PO R15):

- Posuzován pomocí kritické teploty

Dle normové teplotní křivky

- NEVYHOVUJE

Dle modelu lokálního požár osobního automobilu

- VYHOVUJE

Dle modelu lokálního požár tří osobních automobilů

- VYHOVUJE

Při výpočtu podle normové teplotní křivky se jedná o značně konzervativní předpoklad. V případě autosalonu je rozhodující velká světlá výška místnosti a tedy i velká vzdálenost mezi zdrojem požáru a posuzovaným nosníkem.

- ***Při uvažování modelu lokálního požáru prolamovaný nosník splňuje požadovanou PO R15 bez nutnosti provedení požární ochrany.***

Vnitřní sloup kruhového průřezu (požadovaná PO R30)

- Posouzení pomocí redukováných vlastností oceli

Dle normové teplotní křivky jako nechráněný průřez

- NEVYHOVUJE

Sloup je nutné opatřit protipožární ochranou.

Možné varianty požární ochrany sloupu:

- Vybetonování trubky
- Provedení požárního nátěru
- Výpočtem ověřit, zda by při úpravě návrhu, ve kterém by byla ocel S235 vyměněna za ocel lepší třídy – S355, nebyla únosnost za požáru dostačující (v takovém případě by se mohlo jednat o finančně nejméně náročné řešení)

Pro výpočet byla použita varianta se zpěňujícím nátěrem tloušťky 1200 μm .

Dle normové teplotní křivky jako chráněný průřez (nátěr)

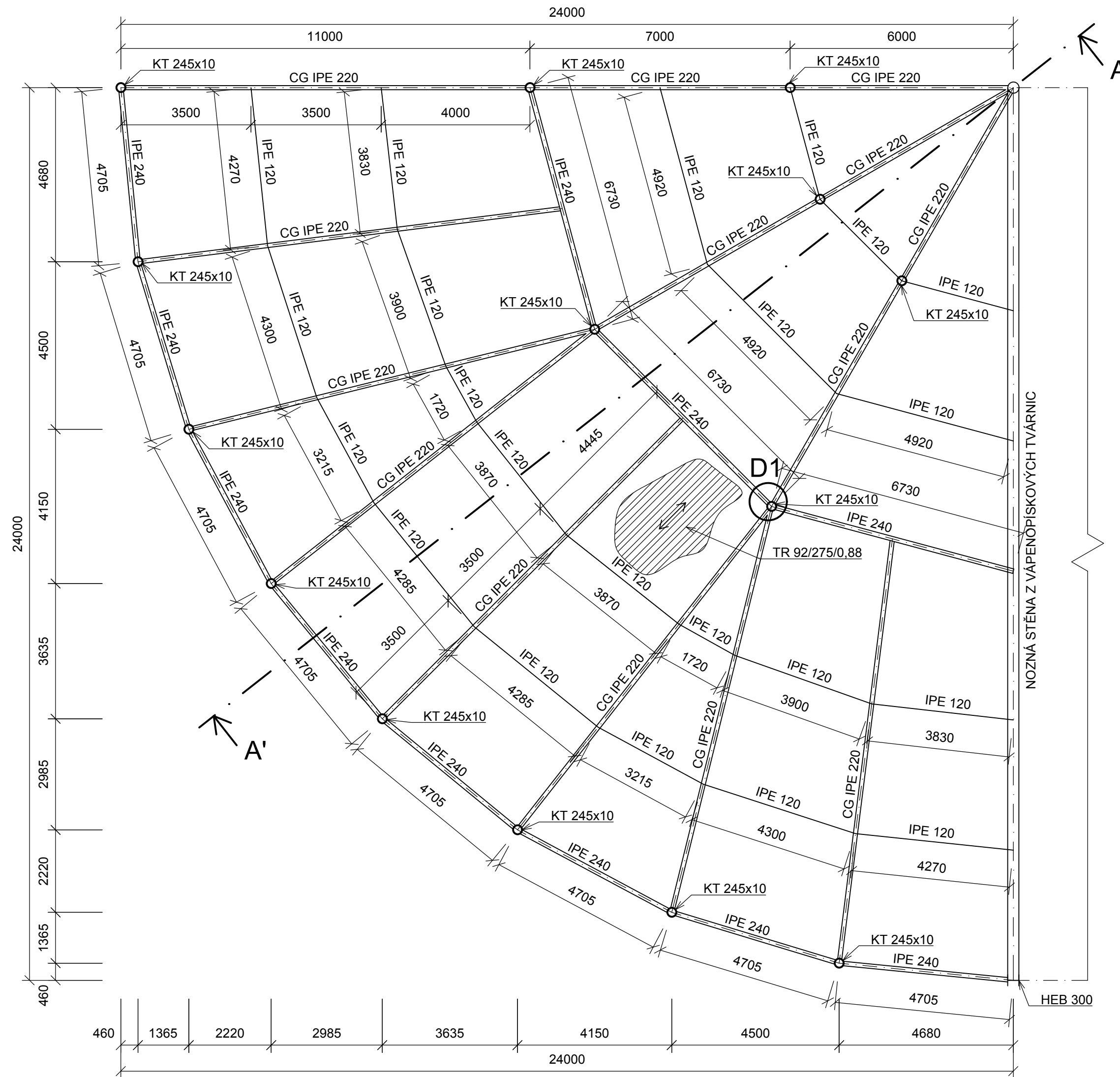
- VYHOVUJE

- ***Sloup po provedení požární ochrany zpěňujícím nátěrem tloušťky 1200 μm splňuje požadovanou PO R30.***

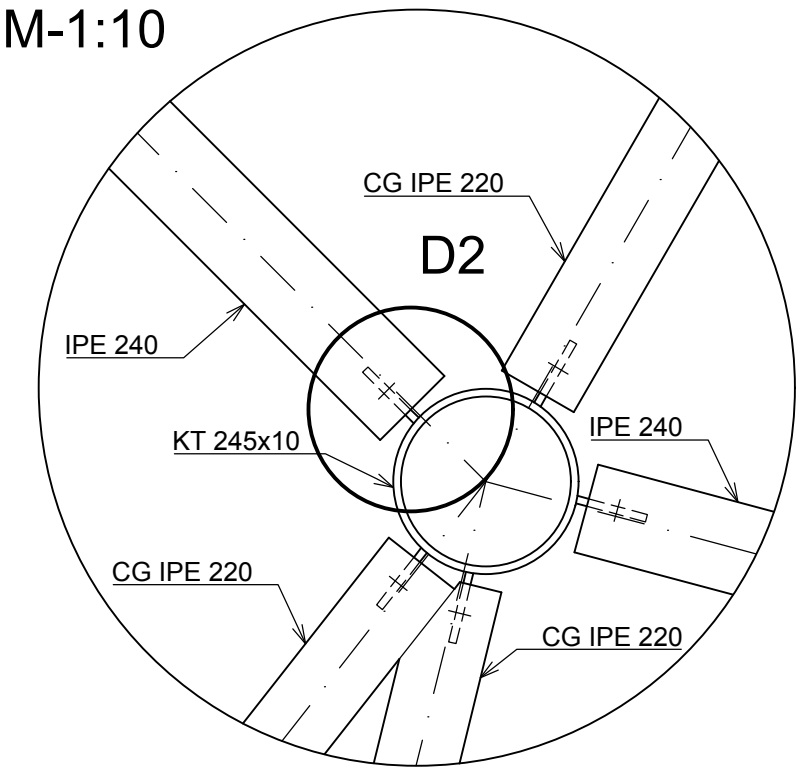
5.2 Použitá literatura

- [1] ČSN 73 0802 (730802): Požární bezpečnost staveb. Nevýrobní objekty.
- [2] ČSN EN 1990 ed. 2 (730002): Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- [3] ČSN EN 1991-1-2 (730035): Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru.
- [4] ČSN EN 1993-1-2 (731401): Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [5] WALD, František. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.
- [6] WALD, František, Marek POKORNÝ, Kamila HOROVÁ, Petr HEJTMÁNEK, Hana NAIJMANOVÁ, Martin BENÝŠEK, Marta KUREJKOVÁ a Ivo SCHWARZ. Modelování dynamiky požáru v budovách. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05633-2.
- [7] ČVUT v evropském výzkumném a vzdělávacím prostoru: sborník příspěvků. V Praze: České vysoké učení technické, c2003. ISBN 80-01-02909-3.

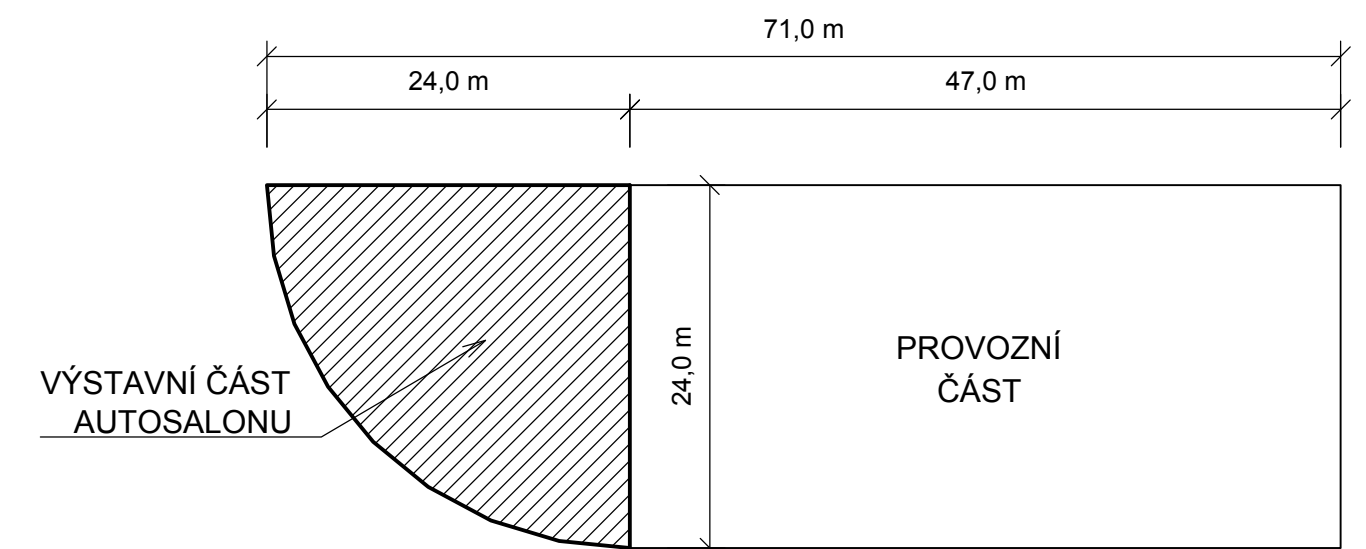
PŮDORYS STŘECHY, M-1:100



DETAIL D1, M-1:10



SCHÉMA, M-1:500



VYSVĚTLIVKY:

- TR 92/275/0,88 - TRAPÉZOVÝ PLECH
- IPE 120 - VAZNICE, PLNOSTĚNNÝ VÁLCOVANÝ PROFIL
- CG IPE 220 - PROLAMOVANÝ NOSNÍK, NOSNÍK S KRUHOVÝMI OTVORY
- IPE 240 - NOSNÍK PNUTÝ MEZI SLOUPY, PLNOSTĚNNÝ VÁLCOVANÝ PROFIL
- KT 245x10 - SLOUP, KRUHOVÁ TRUBKA

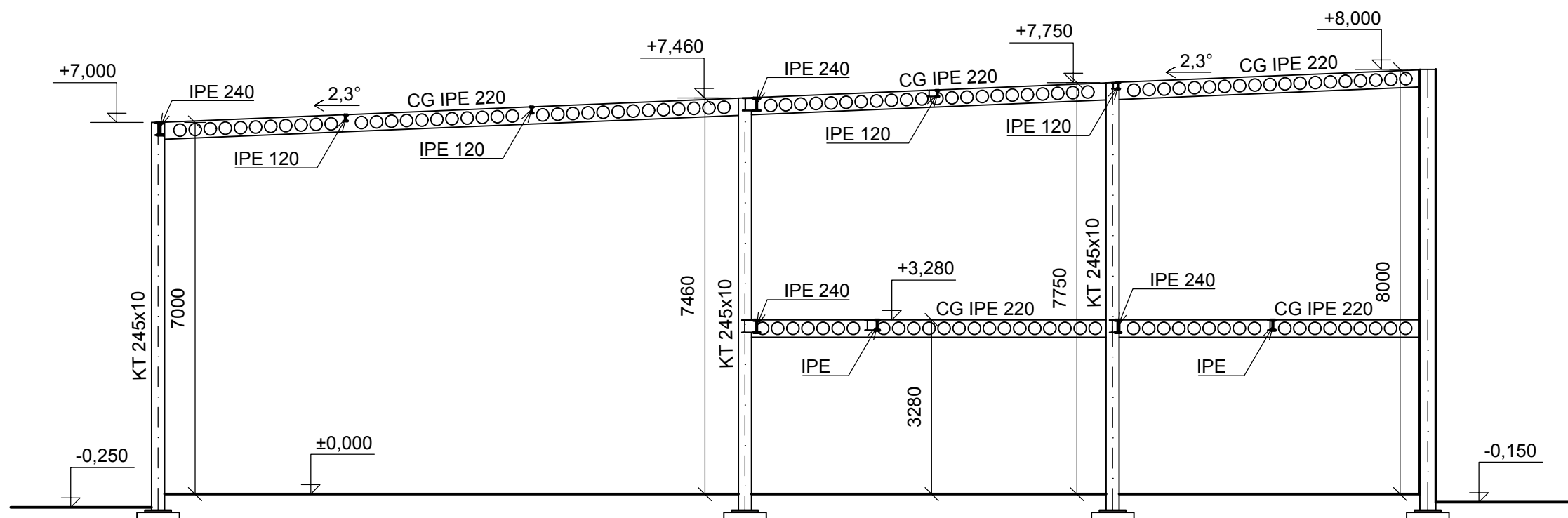
- OCEL: S355J0 IPE 120; CG IPE 220
- S235J0 IPE 240; KT 245x10
- S320GD TR 92/275/0,88

ŠROUBY: 5.6

BETON: C20/25 ZÁKLADY

Název:	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	KVĚTEN 2017	Fakulta stavební ČVUT
Katedra:	K134 - KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		
Vedoucí práce:	Ing. Kamila CÁBOVÁ, Ph.D.	Měřítka:	1:100
Vypracoval:	Jaroslav KUČERA	PŘÍLOHA č. 2	Číslo výkresu:
Výkres:	DISPOZIČNÍ VÝKRES VÝSTAVNÍ ČÁSTI AUTOSALONU		1

ŘEZ A-A', M-1:100



VYSVĚTLIVKY:

- IPE 120 - VAZNICE, PLNOSTĚNNÝ VÁLCOVANÝ PROFIL
 CG IPE 220 - PROLAMOVANÝ NOSNÍK, NOSNÍK S KRUHOVÝMI OTVORY
 IPE 240 - NOSNÍK PNUTÝ MEZI SLOUPY, PLNOSTĚNNÝ VÁLCOVANÝ PROFIL
 KT 245x10 - SLOUP, KRUHOVÁ TRUBKA

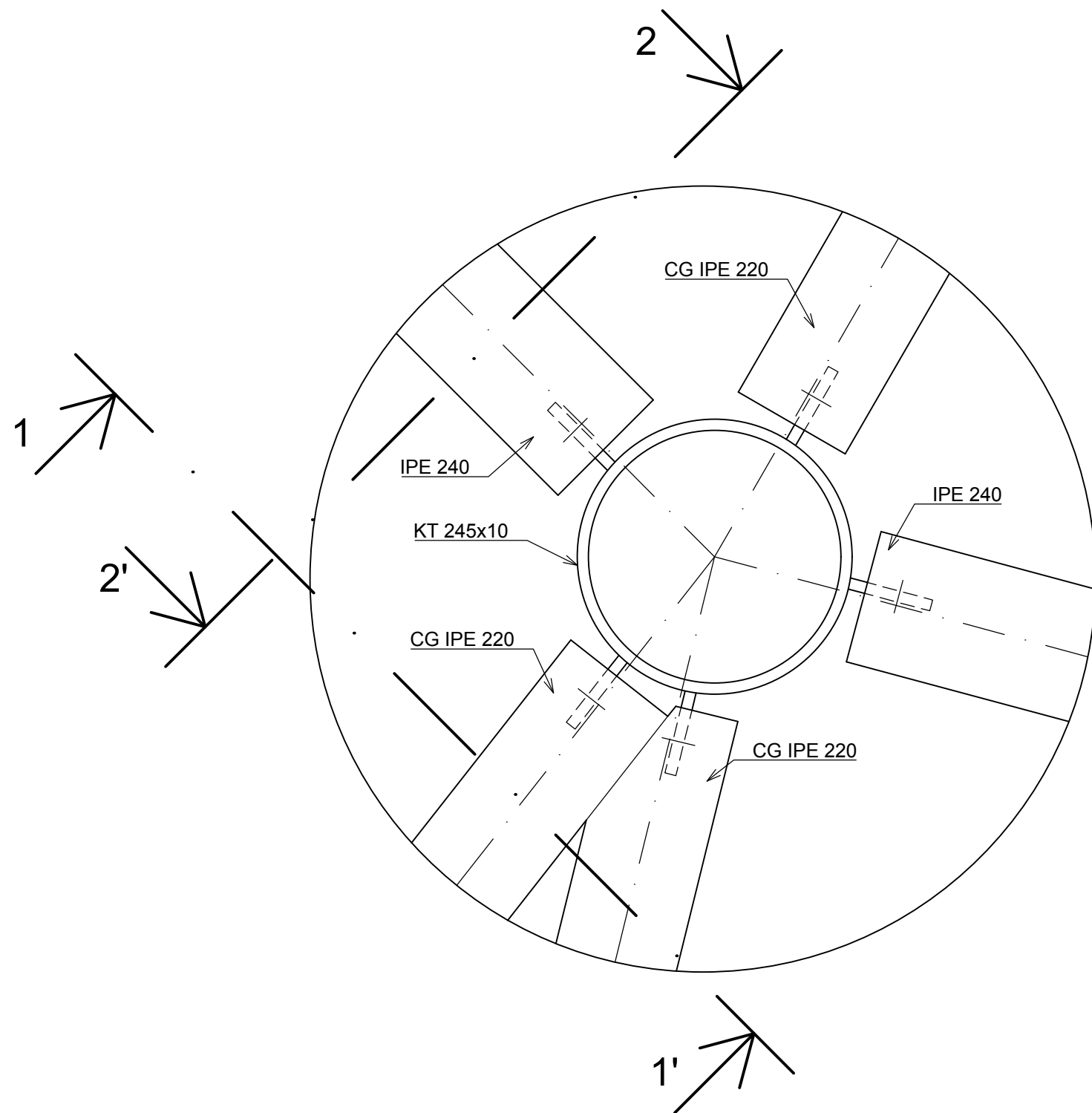
OCEL: S355J0 IPE 120; CG IPE 220
 S235J0 IPE 240; KT 245x10

ŠROUBY: 5.6

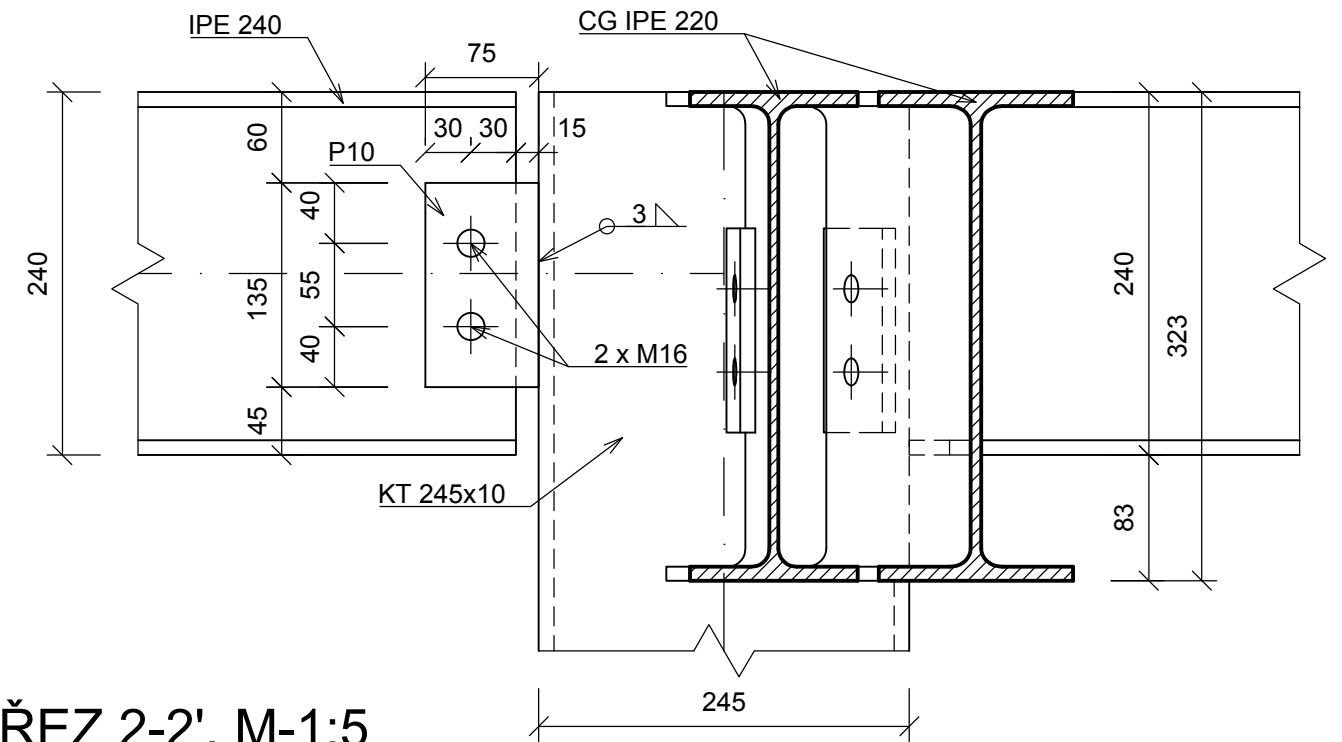
BETON: C20/25 ZÁKLADY

Název:	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	KVĚTEN 2017	Fakulta stavební ČVUT
Katedra:	K134 - KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		
Vedoucí práce:	Ing. Kamila CÁBOVÁ, Ph.D.		Měřítka: 1:100
Vypracoval:	Jaroslav KUČERA	PŘÍLOHA č. 3	Číslo výkresu:
Výkres:	ŘEZ A-A' VÝSTAVNÍ ČÁSTÍ AUTOSALONU		2

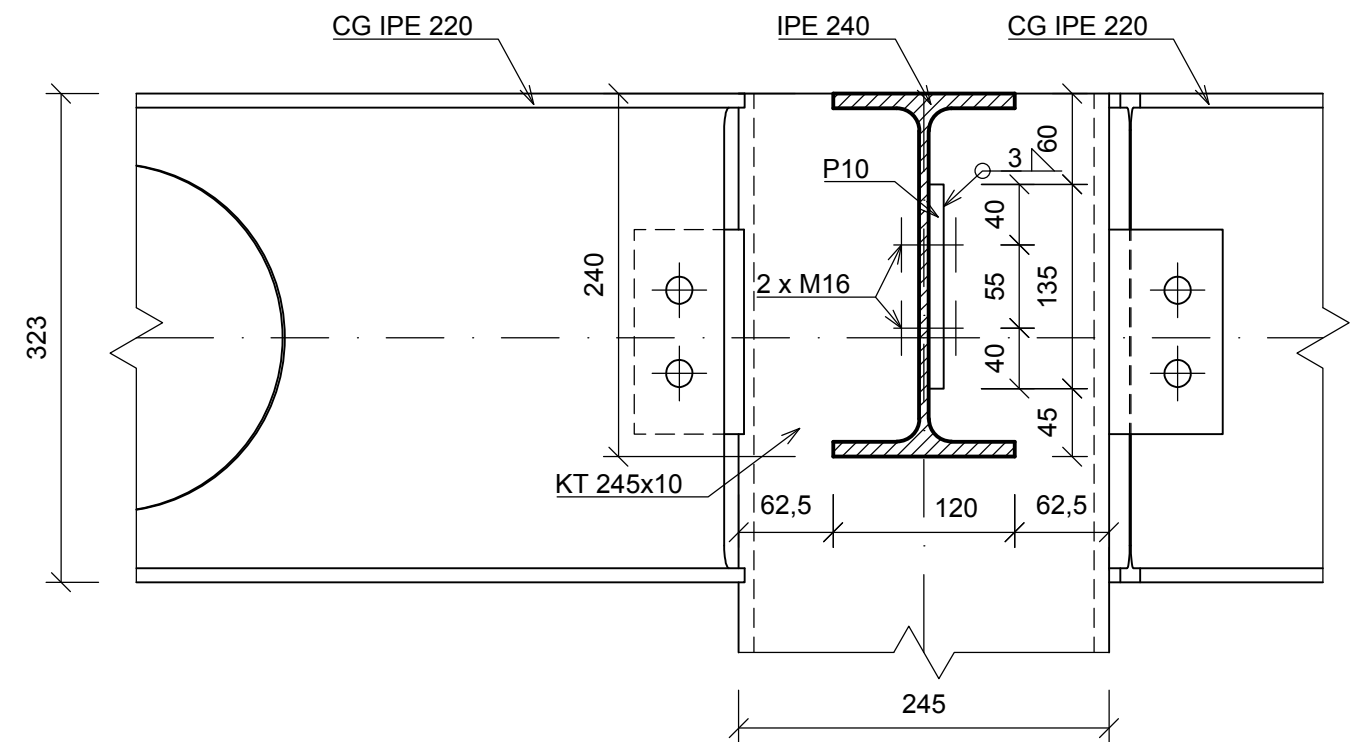
PŘÍPOJE NOSNÍKŮ NA SLOUP, M-1:5



ŘEZ 1-1', M-1:5



ŘEZ 2-2', M-1:5



OCEL: S355J0 CG IPE 220
S235J0 IPE 240; KT 245x10

ŠROUBY: 5.6

POZNÁMKA: KÓTOVÁN POUZE PŘÍPOJ NAVRŽENÝ A POSOUZENÝ V ČÁSTI A, KAP. 8 (PŘÍPOJ STŘEŠNÍHO NOSNÍKU PNUTÉHO MEZI KRUHOVÝMI SLOUPY)

Název:	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	KVĚTEN 2017	Fakulta stavební ČVUT
Katedra:	K134 - KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		Měřítka: 1:5
Vedoucí práce:	Ing. Kamila CÁBOVÁ, Ph.D.		
Vypracoval:	Jaroslav KUČERA	PŘÍLOHA č. 4	Číslo výkresu: D2
Výkres:	PŘÍPOJ NOSNÍKU NA SLOUP		