



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
STAVEBNÁ FAKULTA



Katedra stavebných konštrukcií a mostov



Ing. Jaroslav Odrobiňák

JEDNOLOŽOVÁ HALA S MOSTOVÝM ŽERIAVOM

(Učebná pomôcka)

Žilina, 2002 (oprava 2004)

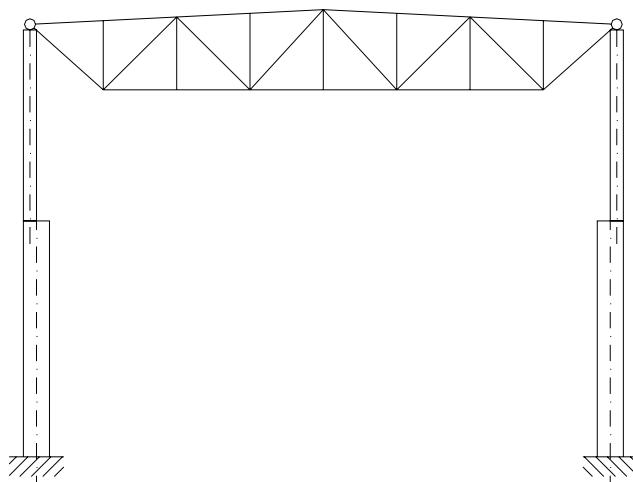
OBSAH

1	VŠEOBECNÉ ZÁSADY	2
2	NÁVRH JEDNOLOŽOVEJ HALY S MOSTOVÝM ŽERIAVOM	5
2.1	DISPOZIČNÉ RIEŠENIE A POPIS KONŠTRUKCIE.....	5
2.2	STREŠNÝ PLÁŠŤ.....	7
2.2.1	Zaťaženie podľa STN 73 0035.....	7
2.2.2	Návrh horného plechu.....	8
2.2.3	Návrh spodného plechu.....	9
2.3	STREŠNÁ VÄZNICA	9
2.3.1	Zaťaženie.....	10
2.3.2	Výpočet vnútorných síl.....	10
2.3.3	Overenie odolnosti (Kritérium I. skupiny medzných stavov)	13
2.3.4	Overenie priehybu (Kritérium II. skupiny medzných stavov).....	13
2.4	PRIHRADOVÝ VÄZNÍK	14
2.4.1	Geometria.....	14
2.4.2	Zaťaženie.....	14
2.4.3	Prehľad vnútorných síl väzníka.....	15
2.4.4	Návrh prierezov prútov	15
2.5	ŽERIAVOVÁ DRÁHA	16
2.5.1	Zaťaženie žeriavovej dráhy	18
2.5.2	Výpočet vnútorných síl od zvislého zaťaženia.....	20
2.5.3	Návrh zvislého nosníka žeriavovej dráhy.....	22
2.5.4	Posúdenie nosníka pri zvislom zaťažení.....	23
2.5.5	Priehyb zvislého nosníka.....	27
2.5.6	Výpočet vnútorných síl od vodorovného zaťaženia.....	27
2.5.7	Návrh vodorovného nosníka	29
2.5.8	Overenie odolnosti žeriavovej dráhy pri kombinovaných účinkoch	30
2.5.9	Priehyb vodorovného vystužného nosníka	34
2.5.10	Návrh krčných zvarov	34
2.5.11	Uchytenie koľajnice	35
2.5.12	Priečne výstuhy zvislého nosníka	39
2.5.13	Overenie nosníka žeriavovej dráhy na únavu	42
2.6	PRIEČNA VÄZBA - NÁVRH STĹPOV	45
2.6.1	Zaťaženie.....	46
2.6.2	Výpočet staticky neurčitých síl (X) v priečnej väzbe	50
2.6.3	Výpočet vnútorných síl na ľavom stĺpe	55
2.6.4	Prehľad vnútorných síl a ich rozhodujúce kombinácie.....	59
2.6.5	Návrh prierezov stĺpa.....	60
2.6.6	Overenie hornej časti stĺpa	61
2.6.7	Dolná časť stĺpa	66
2.6.8	Posúdenie priečného vodorovného priehybu od žeriavu	70
	LITERATÚRA	72

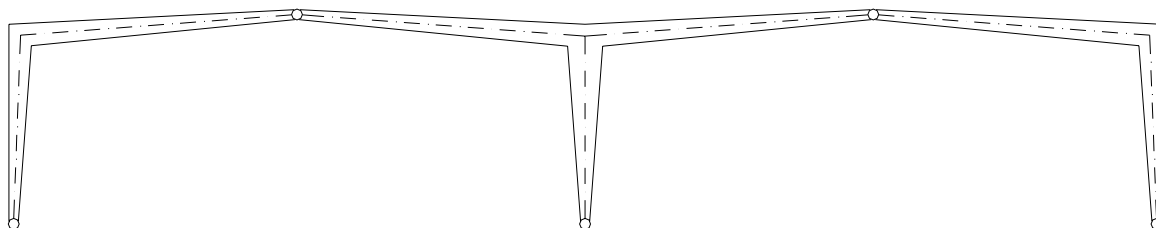
1 VŠEOBECNÉ ZÁSADY

Oceľové halové objekty majú mnohostranné využitie. Používajú sa ako výrobné haly, sklady, na nosné konštrukcie supermarketov, obchodných centier ale i športových hál alebo hangárov. Oceľ ako konštrukčný materiál tu má veľké možnosti využitia pri prenášaní pomerne veľkých zaťažení (napr. od mostových žeriavov v priemyselných halách) resp. pri preklenutí veľkých rozpätí (napr. zimné štadióny).

Halové objekty výrobných a skladových hál sú priečne usporiadané ako jednolod'ové až viaclod'ové objekty s priečnymi väzbami rôzneho konštrukčného usporiadania, obr. 1.1 a obr. 1.2. Viac informácií je možné získať napríklad v [1].



Obr. 1.1 Priečna väzba jednolod'ovej haly s priehradovým väzníkom



Obr. 1.2 Rámová priečna väzba dvojlod'ovej haly

Návrh konštrukcie oceľových hál poskytuje príklad výpočtu rôznych druhov zaťažení a posúdenia rôznych typov konštrukčných prvkov.

Uvedieme iba hlavné zásady návrhu jednotlivých rozmerov a konštrukčných častí hál. Rozpätie a počet lodí ako aj dĺžka haly je určená investorom a vychádza z účelu objektu. Ak bude v hale umiestnený mostový žeriav, rozpätie lodí je od 12 m do 30 m s modulom 3 m.

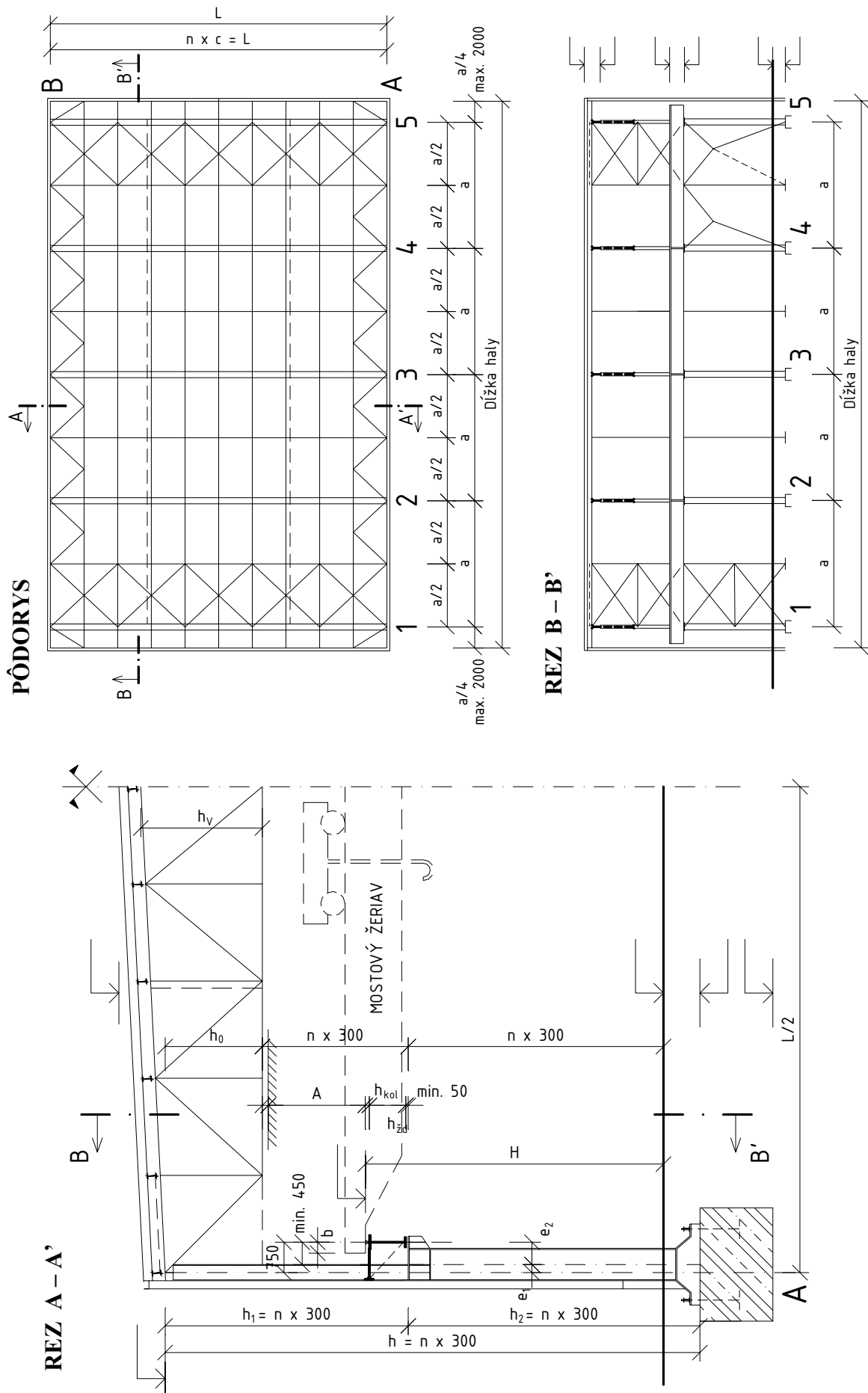
Potrebná svetlá výška haly musí zabezpečiť dostatočný priestor na manipuláciu s bremenami, prípadne pohyb vozidiel a pod. V prípade haly so žeriavom je potrebné zabezpečiť prechodový gabarit mostového žeriavu, ktorý je daný na obr. 1.3 hodnotou A . Stĺpy a prípadné priečle sú zhotovené ako I profily zvárané z plechov alebo sa využíva široká ponuka valcovaných profilov, najmä nosníky I, IPE, HEA, HEB a ďalšie. Na konštrukciu väzníkov sa využívajú valcované profily L prípadne U a uzavreté prierezy najmä kruhového alebo obdĺžnikového prierezu.

Vzdialenosť priečných väzieb ovplyvňuje nielen namáhanie samotných priečných väzieb, ale predurčuje rozpätie aj ďalším konštrukčným prvkom (žeriavová dráha, väznice, paždíky, obvodové steny a pod.), od ktorého závisia ich dimenzie. Vzďialenosť priečných väzieb je najčastejšie 6 - 12 m, prípadne až 15 m. Väznice, ktoré nesú strešný plášť sú obvykle z valcovaných profilov (IPE, UPE), alebo moderné haly využívajú ponuky firiem, zaoberajúcich sa oplášťovaním hál a ako väznice preferujú rôzne C a Z profily z plechov valcovaných za studena.

Do rozpätia 6 m bývajú väznice zhotovené ako jednoduché nosníky. Na rozpätie 6 až 9 (12) m je výhodné použiť Gerberové nosníky. Pri väčších rozpätiach (> 9 m) už rozhoduje priehyb väzníc a teda je na zváženie použitie spojitéch nosníkov, ktoré sú však náročné na presnosť výroby a montáže. Ako strešný plášť je v súčasnej dobe možné použiť veľké množstvo rôznych skladieb pre určité špecifiká haly. Väčšinou ide o kombináciu vlnitých plechov valcovaných za studena s tepelnou izoláciou, buď na báze minerálov, alebo silikátov. Krytinu tvoria buď ťažké izolačné pásy, alebo novšie sú už priamo vlnité plechy s hydroizolačnou a reflexnou vrstvou. Rovnako obvodové steny je možné zhotoviť z rôznych materiálov, od hrádzenej steny z valcovaných profilov a muriva, až po moderné kazetové profily s tepelnou izoláciou a vlnitými plechmi.

Dôležitú súčasť konštrukcií oceľových hál predstavuje stuženie. Pre typický halový objekt z obr. 1.3 sa odporúča navrhnúť:

- zvislé pozdĺžne stuženie - navrhujú sa ako priehradové nosníky medzi väzníkmi, a to tak aby ich vzdialenosť nebola väčšia ako 12 m. Má hlavne stabilizačnú úlohu počas montáže a prenáša pozdĺžne účinky pri dolnom páse väzníka (ak vznikajú);
- odkvapové pozdĺžne stuženie haly v rovine strechy prenáša vodorovnú zložku od zaťaženia strechy a reakciu od medzistĺpika prerozdeľuje na jednotlivé priľahlé stĺpy priečných väzieb. Navrhuje sa medzi odkvapovou a prvou medzilahlou väznicou;
- priečne vetrové stužidlo, ktoré prenáša pozdĺžne účinky vetra sa navrhuje v krajných poliach pri krajných priečných väzbách haly, ak je jej dĺžka do 72 m. Pri väčšej dĺžke haly sa umiestnia tak, aby dĺžka úseku prislúchajúca k jednému stužidlu nepresiahla 36 m. Priečne vetrové stužidlo prechádza zo strechy do zvislej roviny haly a končí v základoch. Tvorí akýsi „balkónový nosník“ zaťažený v uzloch účinkami vetra;
- brzdne stužidlo sa navrhuje vtedy, ak je v hale umiestnený žeriav. Prenáša brzdné a rozjazdové sily z nosníka žeriavovej dráhy do základov. Často je vhodné spojiť toto stuženie spolu s časťou vetrového stužidla prebiehajúceho vo zvislých stenách do jednej konštrukčnej úpravy. Brzdne stužidlo by nemalo preberať brzdnú silu z úseku dlhšieho ako 30 m.



Obr. 1.3 Dispozičné zásady

2 NÁVRH JEDNOLOĎOVEJ HALY S MOSTOVÝM ŽERIAVOM

2.1 DISPOZIČNÉ RIEŠENIE A OPIS KONŠTRUKCIE

Treba navrhnuť jednoloďový halový objekt rozpätia $L = 24 \text{ m}$ s piatimi poliami. Vzdialenosť priečných väzieb je $a = 9 \text{ m}$. Skladobná výška spodného stĺpa je $7,2 \text{ m}$ ($6,3 \text{ m}$ od podlahy haly). Hala bude slúžiť na výrobu ťažkých turbín a motorov, preto je požiadavka inštalácie mostného žeriavu nosnosti $32/8 \text{ t}$. Žeriav má rozpätie $22,5 \text{ m}$, patrí k druhu 2 a zdvihovej triede b v únavovej skupine II. Počet cyklov počas životnosti sa predpokladá $6 \cdot 10^5$ pri pomernom vyťažení žeriavu 60% . Obvodový plášť musí spĺňať požiadavky investora na tepelný odpor $R \geq 2,5 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$. Plochá prístupná strecha má zabezpečiť $R \geq 3,5 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$. Oceľová hala bude postavená v III. snehovej oblasti a v III. vetrovej oblasti na teréne bez okolitej tieniacej výstavby.

- Navrhujeme plnostenný zvaraný stĺp s odstupňovaným prierezom. Jeho spodná časť výšky 800 mm sa v hornej, menej namáhanej oblasti zmenšuje na 400 mm .
- Priehradový strešný väzník rozpätia 24 m má v strede výšku

$$h_v = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{9} \right) \cdot L = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{9} \right) \cdot 24 = 3 \div 2,667 = 3 \text{ m}$$

Vzhľadom k 5% spádu strešného plášťa jej veľkosť pri stĺpoch bude

$$h_0 = h_v - 0,05 \cdot \frac{L}{2} = 3 - 0,05 \cdot \frac{24}{2} = 2,4 \text{ m}$$

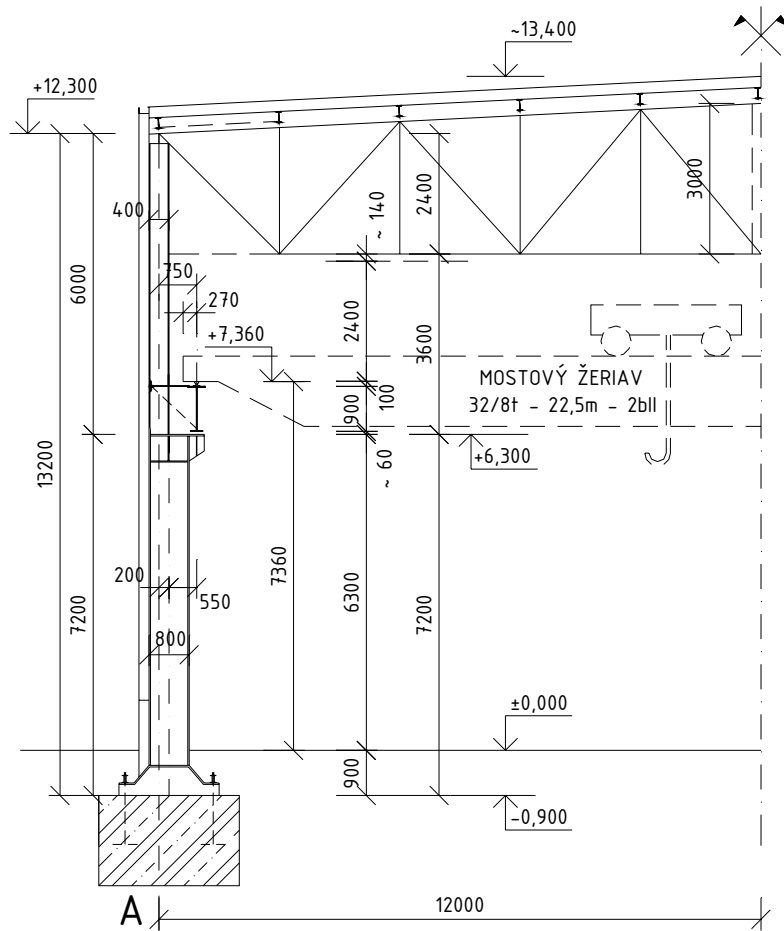
- Väznice zhotovíme z valcovaného prierezu IPE ako Gerberov nosník s vloženými klbmi vo vzdialenostiach $a_1 \cong 0,15 a$
- Žeriavová dráha sa vytvorí zo zvislého nesymetrického zvaraného I nosníka výšky

$$h_n \cong \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{15} \right) \cdot a = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{15} \right) \cdot 9 = 0,9 \div 0,6 = 0,9 \text{ m}$$

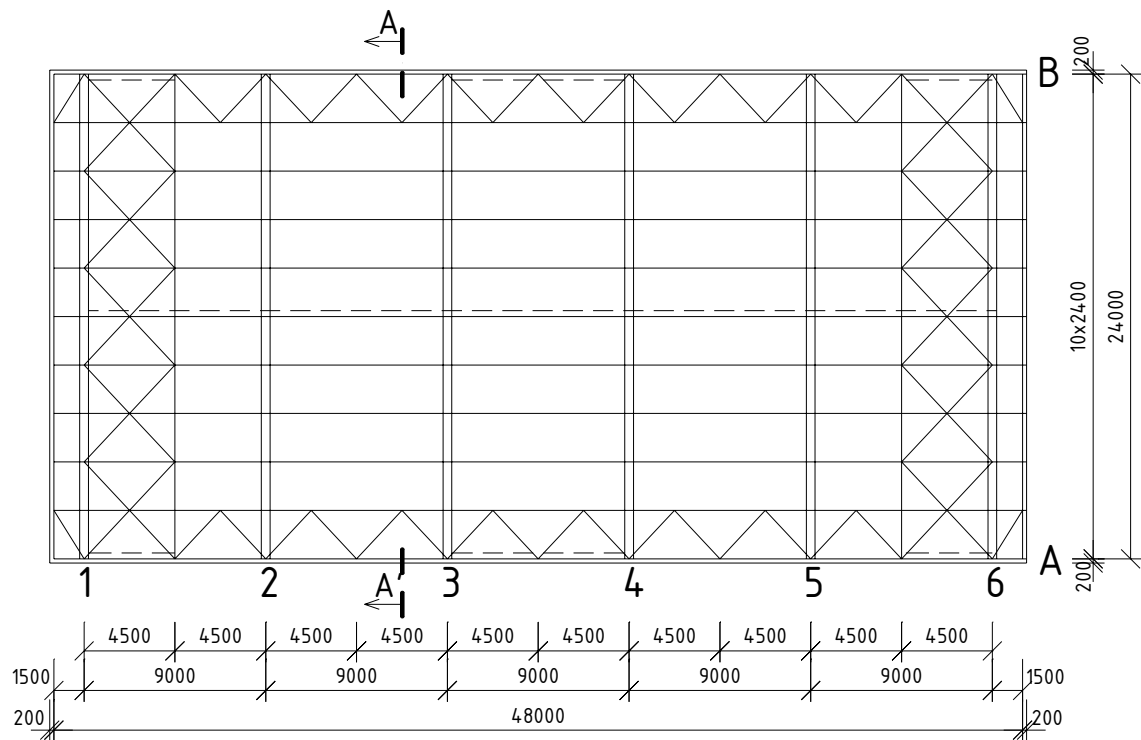
Jej vodorovný výstužný nosník z plechu hrúbky 8 mm na pozdĺžnom okraji zosilňuje dvojica uholníkov.

- Stúženia a ostatné charakteristiky ilustruje obr. 2.1. Brzdné stužidlo je umiestnené v strednom poli haly.

REZ A - A'



PÔDORYS



Obr. 2.1 Dispozícia výrobnjej haly

2.2 STREŠNÝ PLÁŠŤ

Strešný plášť navrhujeme z dvojice tvarovaných plechov, medzi ktorými sú dištančné profily a izolácia hrúbky 140 mm. Spodný plech navrhujeme typu 11001. Horný plech typu 10001 má špeciálne upravený povrch.

2.2.1 Zaťaženie podľa STN 73 0035 [2]

a) Stále a náhodilé dlhodobé zaťaženie

	charakteristické	γ_F	návrhové
- horný plech 10001	0,0934	1,1	0,103
- tepelná izolácia 0,140 · 2,0	0,280	1,2	0,336
- parotesná zábrana	0,01	1,2	0,012
- spodný plech 11001	0,0969	1,1	0,107
	<hr/>		<hr/>
	$g_k = 0,4803 \text{ kNm}^{-2}$		$g_d = 0,557 \text{ kNm}^{-2}$

b) Náhodilé krátkodobé zaťaženie

ba) *zaťaženie snehom*

Základná tiaž snehu v III. snehovej oblasti	$s_0 = 1,0 \text{ kNm}^{-2}$
Tvarový súčiniteľ	$\mu_s = 1,0$
Súčiniteľ tiaže krytiny	$\kappa = 1,2$

$$s_k = s_0 \cdot \mu_s \cdot \kappa = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 1,2 \text{ kNm}^{-2}$$

$$s_d = \gamma_{Fs} \cdot s_k = 1,4 \cdot 1,2 = 1,68 \text{ kNm}^{-2}$$

bb) *zaťaženie vetrom*

Vietor vyvodzuje na strešnej krytine sanie. Najväčšie sanie vzniká pri pozdĺžnom vetre, kedy je tvarový súčiniteľ $c_w = -0,7$. Súčiniteľ výšky pre jej veľkosť nad terénom 12,5 m je $\kappa_w = 1,06$. Základný tlak vetra v III. vetrovej oblasti $w_0 = 0,45 \text{ kNm}^{-2}$. Charakteristické zaťaženie preto bude

$$w_k = w_0 \cdot \kappa_w \cdot c_w = 0,45 \cdot 1,06 \cdot (-0,7) = -0,334 \text{ kNm}^{-2}$$

Jeho návrhová veľkosť

$$w_d = w_k \cdot \gamma_{Fw} = -0,334 \cdot 1,3 = -0,434 \text{ kNm}^{-2}$$

bc) osamelé bremeno má charakteristickú hodnotu $F_k = 1,0 \text{ kN}$

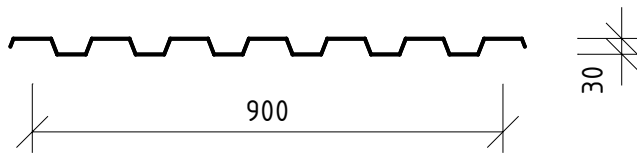
Návrhová veľkosť tohto izolovaného účinku

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k = 1,2 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ kN}$$

2.2.2 Návrh horného plechu

Podperami pre horný plech sú dištančné profily v mieste väzníc.

Prierezové veličiny na 1 m šírky plechu typu 10001



Obr. 2.2 Horný plech

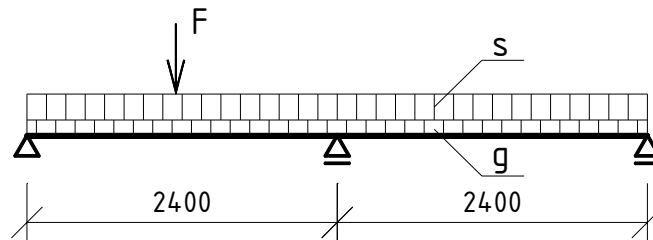
$$W_{eff} = 8,98 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_{eff} = 0,1583 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{eff,R} = 8,85 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_{eff,R} = 0,1508 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Plech pôsobí ako dvojpoľový a trojpoľový spojitý nosník. Moment nad strednou podperou dvojpoľového nosníka predstavuje rozhodujúce namáhanie. Keďže zaťaženie snehom vyvolá väčšie účinky ako osamelé bremeno, uvažujeme súčinitele kombinácie pre sneh $\psi_c = 1,0$ a pre osamelé bremeno $\psi_c = 0,8$.



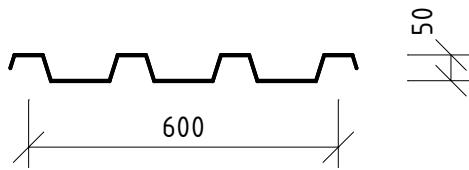
Obr. 2.3 Statická schéma horného plechu

$$M_{Sd} = -0,125 \cdot 0,103 \cdot 2,4^2 + \left[1,0 \cdot \left(-0,125 \cdot 1,68 \cdot 2,4^2 \right) + 0,8 \cdot \left(-0,091 \cdot 1,2 \cdot 2,4 \cdot \frac{1,0}{0,6} \right) \right] = -1,633 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = W_{y,eff,R} \cdot f_{yd} = 8,85 \cdot 10^{-6} \cdot 213,636 \cdot 10^3 = 1,891 \text{ kNm}$$

$$|M_{Sd}| = 1,633 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1,891 \text{ kNm} \quad \dots \text{ prierez vyhovuje}$$

2.2.3 Návrh spodného plechu



Prierezové charakteristiky plechu 11001 šírky 1 m sú

$$W_{eff,R} = 12,74 \cdot 10^{-6} m^3$$

$$I_{eff,R} = 32,57 \cdot 10^{-6} m^4$$

Obr. 2.4 Dolný plech

$$M_{Sd} = -0,125 \cdot 0,557 \cdot 2,4^2 + \left[1,0 \cdot (-0,125 \cdot 1,68 \cdot 2,4^2) + 0,8 \cdot \left(-0,091 \cdot 1,2 \cdot 2,4 \cdot \frac{1,0}{0,6} \right) \right] = -1,960 kNm$$

$$M_{Rd} = W_{y,eff,R} \cdot f_{yd} = 12,74 \cdot 10^{-6} \cdot 213,636 \cdot 10^3 = 2,722 kNm$$

$$|M_{Sd}| = 1,960 kNm < M_{Rd} = 2,722 kNm \quad \dots \text{prierez vyhovuje}$$

Od sania vetra vznikne moment, ktorý nerozhoduje

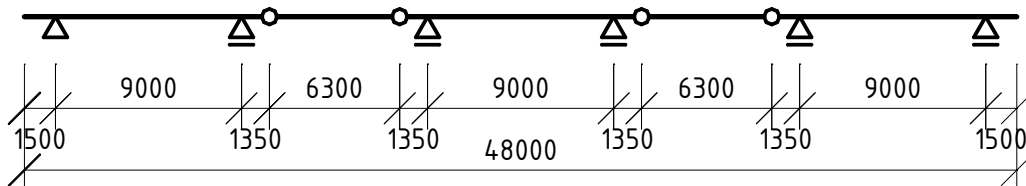
$$M_{Sd} = -0,125 \cdot (\gamma_F \cdot g_k + w_d) \cdot 2,4^2 = -0,125 \cdot (0,9 \cdot 0,4803 - 0,434) \cdot 2,4^2 = 0,0012 kNm$$

Keďže plechy budú priskrutkované, vietor strešnú krytinu nemôže nadvihnúť. Plechové profily teda vyhovujú, skrutky je nutné navrhnuť na toto zaťaženie.

2.3 STREŠNÁ VÄZNICA

Strešnú väznicu navrhujeme z profilu IPE 220 ako Gerberov nosník v dispozícii podľa obr. 7.8. Kĺby umiestnime do vzdialenosti asi 15 % z rozpätia polí.

$$a = 0,15 \cdot 9,0 = 1,35 m$$



Obr. 2.5 Statická schéma strešnej väznice

Väznice, ktoré sú súčasťou pozdĺžneho stužidla by bolo treba posúdiť aj na namáhanie plynúce z tejto funkcie. Vzniká v nich osová sila ako v páse priehradoviny. Ďalej posúdime podrobnejšie iba medziľahlú väznicu.

2.3.1 Zaťaženie

a) Stále a dlhodobé zaťaženie

	charakteristické	γ_F	návrhové
- od strešného plášt'a			
$g_{k, str. plášt'a} \cdot b = 0,480 \cdot 2,4$	$1,152 \text{ kNm}^{-1}$	1,16	$0,557 \cdot 2,4 = 1,337 \text{ kNm}^{-1}$
- tiaž väzníc IPE č. 220 so stužením			
odhad	$0,262 \text{ kNm}^{-1}$	1,1	$0,2882 \text{ kNm}^{-1}$
	<hr/> $g_k = 1,414 \text{ kNm}^{-1}$		<hr/> $g_d = 1,625 \text{ kNm}^{-1}$

b) Krátkodobé náhodilé zaťaženie

ba) *zaťaženie snehom* $s_k = s_{k, str. pl.} \cdot b =$ $s_d = s_{d, str. pl.} \cdot b =$
 $= 1,2 \cdot 2,4 = 2,88 \text{ kNm}^{-1}$ $= 1,68 \cdot 2,4 = 4,032 \text{ kNm}^{-1}$

bb) *zaťaženie vetrom* - sanie vetra nebude rozhodovať pri posúdení väznice

bc) *osamelé bremeno* $F_k = 1 \text{ kN}$ $F_d = \gamma_F \cdot F_k = 1,2 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ kN}$

c) Kombinácia zaťaženia

Sneh vyvolá väčšie účinky preto opäť uvažujeme súčiniteľ kombinácie pre toto zaťaženie $\psi_c = 1,0$ a pre osamelé bremeno $\psi_c = 0,8$.

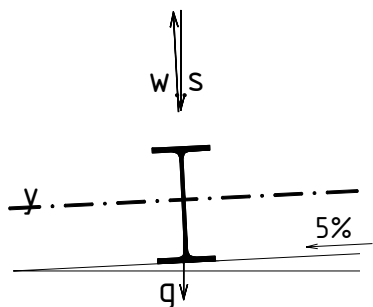
$$g_k = (g_k + \psi_c \cdot s_k) = (1,414 + 1,0 \cdot 2,88) = 4,294 \text{ kNm}^{-1}$$

$$F_k = \psi_c \cdot F_k = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN}$$

$$g_d = (g_d + \psi_c \cdot s_d) = (1,625 + 1,0 \cdot 4,032) = 5,657 \text{ kNm}^{-1}$$

$$F_d = \psi_c \cdot F_d = 0,8 \cdot 1,2 = 0,96 \text{ kN}$$

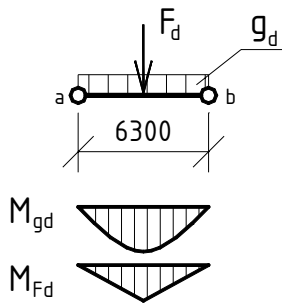
2.3.2 Výpočet vnútorných síl



Zaťaženie by sa malo rozložiť na zložky v osiach y a z . Prierez je potom namáhaný zloženým ohybom a krútením. Sklon 5 % je však malý a krytina stenovou tuhosťou prenáša zložku rôznobežnú so strešnou rovinou do odkvapového stužidla. Neuvažujeme preto ohyb k osi z .

Obr. 2.6 Prierez strešnej väznice

a) Nesené vložené pole - max M'



Obr. 2.7 Vložené pole

$$A' = \frac{g_d \cdot l}{2} + \frac{F_d}{2} = \frac{5,657 \cdot 6,3}{2} + \frac{0,96}{2} = 18,30 \text{ kN}$$

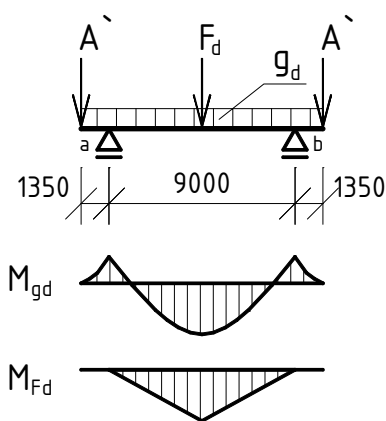
$$\max M' = \frac{1}{8} \cdot g_d \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot F_d \cdot l = \frac{1}{8} \cdot 5,657 \cdot 6,3^2 + \frac{1}{4} \cdot 0,96 \cdot 6,3 = 29,580 \text{ kNm}$$

Reakcia bez osamelého bremena

$$A' = \frac{1}{2} \cdot g_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 5,657 \cdot 6,3 = 17,820 \text{ kN}$$

b) Stredné pole s previslými koncami, nesúce aj vložené polia

ba) *max M''*



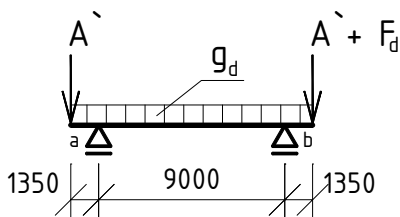
Obr. 2.8 Stredné pole - max M''

$$\begin{aligned} \max A'' &= A' + \frac{F_d}{2} + g_d \cdot \left(\frac{2 \cdot 1,35 + 9}{2} \right) \\ &= 17,82 + \frac{0,96}{2} + 5,657 \cdot 5,85 = 51,393 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maximálny moment bude

$$\begin{aligned} \max M'' &= -A' \cdot 5,85 + \max A'' \cdot 4,5 - \frac{g_d}{2} \cdot (1,35 + 4,5)^2 \\ &= -17,82 \cdot 5,85 + 51,393 \cdot 4,5 - \frac{5,657 \cdot 5,85^2}{2} \\ &= 30,223 \text{ kNm} \end{aligned}$$

bb) *min M''*



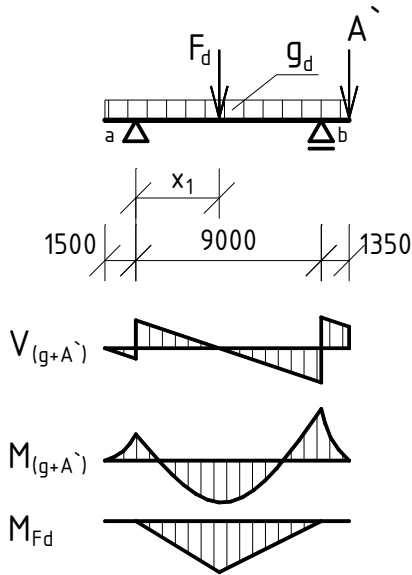
Obr. 2.9 Stredné pole - min M''

$$\begin{aligned} \min M'' &= -(A' + F_d) \cdot 1,35 - g_d \cdot \frac{1,35^2}{2} \\ &= -(17,82 + 0,96) \cdot 1,35 - 5,657 \cdot \frac{1,35^2}{2} \\ &= -30,508 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c) Krajné pole s previslými koncami

ca) $\max M''''$

Najskôr zistíme, kde treba umiestniť silu F_d . Bude pôsobiť v mieste maximálneho momentu od $(g_d + A')$.



Obr. 2.10 Krajné pole - $\max M''''$

Reakcia bez sily F_d

$$A'''' = \frac{g_d \cdot 11,85 \cdot 4,575 - A' \cdot 1,35}{9}$$

$$= \frac{5,657 \cdot 11,85 \cdot 4,575 - 17,82 \cdot 1,35}{9} = 31,403 \text{ kN}$$

Podmienka nulovej priečnej sily

$$V = 0 \rightarrow g \cdot (1,5 + x_1) - A'''' = 0$$

$$\Rightarrow x_1 = \frac{31,403}{5,657} - 1,5 = 4,051 \text{ m}$$

Maximálna reakcia je potom

$$\max A'''' = \frac{g_d \cdot 11,85 \cdot 4,575 - A' \cdot 1,35 + F_d \cdot 4,949}{9}$$

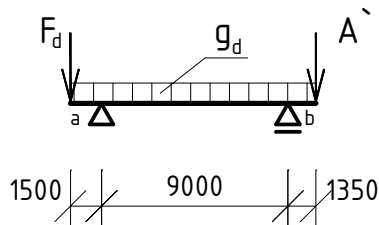
$$31,403 + \frac{0,96 \cdot 4,949}{9} = 31,931 \text{ kN}$$

Maximálny ohybový moment v poli je

$$\max M'''' = -g_d \cdot \frac{(1,5 + 4,051)^2}{2} + A''''_{\max} \cdot 4,051 = -5,657 \cdot \frac{5,551^2}{2} + 31,931 \cdot 4,051 =$$

$$= 42,196 \text{ kNm}$$

cb) $\min M''''$ - moment na previslej konzole



Moment na koncovej konzole

$$\min M'''' = M_a = -F_d \cdot 1,5 - g_d \cdot \frac{1,5^2}{2}$$

$$= -0,96 \cdot 1,5 - 5,657 \cdot \frac{1,5^2}{2} = -7,804 \text{ kNm}$$

Obr. 2.11 Krajné pole - $\min M''''$

2.3.3 Overenie odolnosti (Kritérium I. skupiny medzných stavov)

Väznica musí prenieť návrhový moment

$$M_{Sd} = \max \left(\max M', \max M'', \max M''', |\min M'|, |\min M''| \right) \\ = \max (29,580; 30,223; 42,196; 30,508; 7,804) = 42,196 \text{ kNm}$$

Moment únosnosti prierezu je

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1} = \chi_{LT} \cdot W_{el} \cdot f_{yd}$$

$\chi_{LT} = 1,0$ pretože pri kladnom momente je väznica zabezpečená oproti klopeniu plechom krytiny

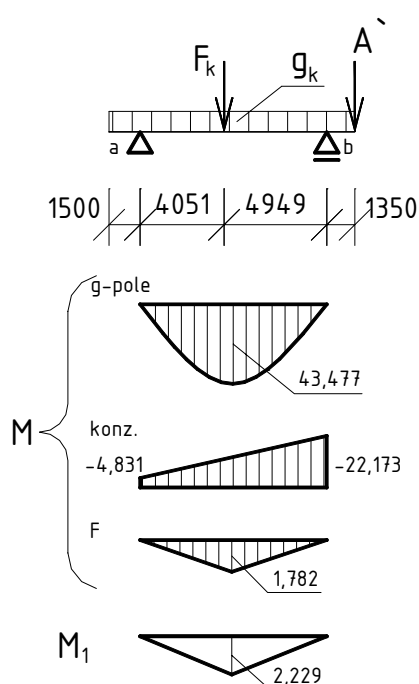
$$W_{el, IPE220} = 252 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{b,Rd} = 1,0 \cdot 252 \cdot 10^{-6} \cdot 213,636 \cdot 10^3 = 53,836 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd} = 42,196 \text{ kNm} < M_{b,Rd} = 53,836 \text{ kNm} \quad \dots \text{ prierez väznice vyhovuje}$$

2.3.4 Overenie priehybu (Kritérium II. skupiny medzných stavov)

Priehyb vypočítame kombináciou momentových plôch, obr. 2.12. Silu umiestnime približne tam, kde rozhodovala pri zisťovaní $\max M$.



$$F_k = 0,8 \text{ kN} \quad (\text{prenásobená } \psi_c) \\ g_k = 4,294 \text{ kNm} \\ A = 13,526 \text{ kN}$$

Priehyb je potom

$$\delta = \int_L \frac{M \cdot M_1}{E \cdot I_y} dx = \left\{ \begin{array}{ccc} \text{+} & \text{+} & \text{-} \\ \text{+} & \text{+} & \text{+} \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \frac{43,477 \cdot 2,229}{3} \cdot \left(1 + \frac{4,051 \cdot 4,949}{9^2} \right) \cdot 9 + \\ \frac{2,229 \cdot 1,782}{3} \cdot 9 - \\ \frac{1}{6} \cdot 2,229 \cdot \left[4,839 \cdot (9 + 4,051) + \right. \\ \left. + 22,173 \cdot (9 + 4,949) \right] \end{array} \right\} \cdot 10^3$$

Obr. 2.12 Zaťaženie pre priehyb

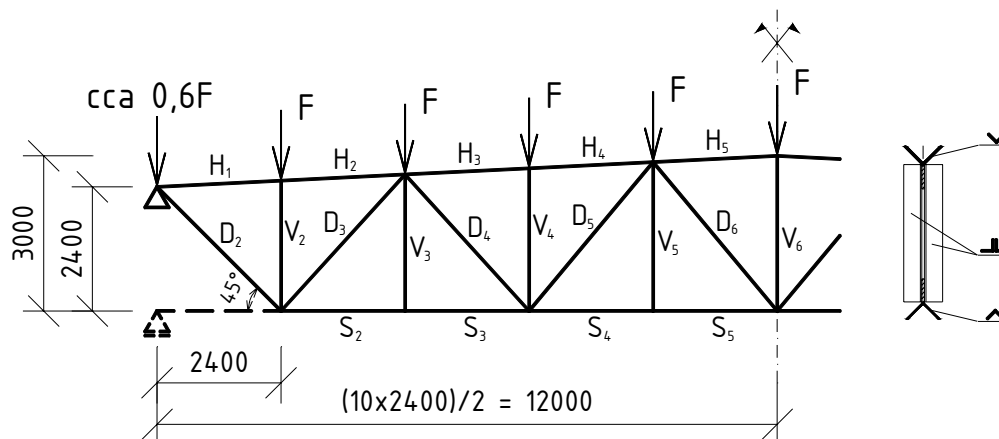
$$\frac{10^3}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 27,7 \cdot 10^{-6}} = 0,04062 = 40,6 \text{ mm}$$

$$\delta = 40,6 \text{ mm} < \delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{9000}{200} = 45 \text{ mm} \quad \dots \text{ priehyb vyhovuje}$$

2.4 PRIEHRADOVÝ VÄZNÍK

2.4.1 Geometria

Strešný väzník navrhujeme ako celozvarovanú priehradovinu z uholníkov. Geometriu charakterizuje obr. 2.13.



Obr. 2.13 Geometria priehradového strešného väzníka haly

2.4.2 Zaťaženie

a) Stále a náhodilé dlhodobé zaťaženie

strešný plášť na m^2 $g_{k,kryt} = 0,4803 \text{ kNm}^{-2}$
 tiaž väzníc na m^2 $g_{k,väzníc} = 0,262 \text{ kNm}^{-1} / b = 0,262 / 2,4 = 0,1092 \text{ kNm}^{-2}$
 tiaž väzníka (na m^2) odhadneme z približného vzorca

$$g_{k,VL} = \frac{L}{76} \cdot \sqrt{\frac{g_{k,kryt} + g_{k,väzníc} + s_k}{a}} = \frac{24}{76} \cdot \sqrt{\frac{0,4803 + 0,1092 + 1,2}{9}} = 0,141 \text{ kNm}^{-2}$$

b) Zaťaženie snehom $s_k = 1,2 \text{ kNm}^{-2}$

c) Uzlové sily na väzník

$$F_k = (g_{k,kryt} + g_{k,väzníc} + g_{k,VL} + \varphi_c \cdot s_k) \cdot a \cdot b =$$

$$= (0,4803 + 0,1092 + 0,141 + 1,0 \cdot 1,2) \cdot 9 \cdot 2,4 = 41,699 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota

$$F_d = (g_{d,kryt} + 1,1 \cdot g_{k,väzníc} + 1,1 \cdot g_{k,VL} + 1,0 \cdot 1,4 \cdot s_k) \cdot a \cdot b =$$

$$= (0,557 + 1,1 \cdot 0,1092 + 1,1 \cdot 0,141 + 1,0 \cdot 1,4 \cdot 1,2) \cdot 9 \cdot 2,4 = 54,263 \text{ kN}$$

2.4.3 Prehľad vnútorných síl väzníka

Obvyklý výpočet predpokladá, že uzly sú dokonalé kĺby. V skutočnosti horný a dolný pás tvoria spojitý prúty, ku ktorým sú pomocou styčnikového plechu privarené zvislice a diagonály. Teda výplňové prúty sú pripevnené k pásom väzníka polotuhým spojom, ktorý sa svojou rotačnou kapacitou veľmi blíži ku kĺbu. V tabuľke 2.1 uvádzame návrhové vnútorné sily vo väzníku od zvislého zaťaženia vypočítané na staticky určitej priehradovej konštrukcii.

Tabuľka 2.1 Osové sily v prútoch väzníka

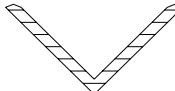

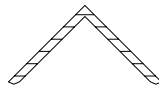

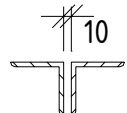

Sily v prútoch väzníka [kN]	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	
	-232,846		-496,064			-543,308	0	394,640		542,630	
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	
	328,883	-240,956	149,857	-73,706	0	-54,263	0	-54,263	0	0	

Väzník je však súčasťou priečnej väzby. Treba preto pamätať na to, že k vnútorným silám, hlavne v hornom páse a v prvých dvoch diagonálach, pribudne ešte účinok pôsobenia väzníka ako rámovej priečle. Veľkosť týchto prídavných síl nepresahuje 5 až 10 % zo síl, ktoré pôsobia vo väzníku od zvislého zaťaženia. Po vyriešení priečnej väzby sa sily v prútoch väzníka upresnia.

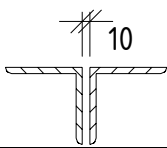
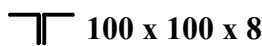
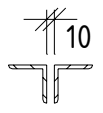

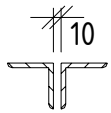
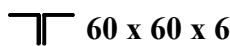
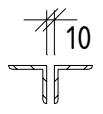

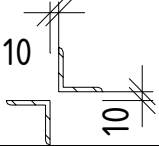
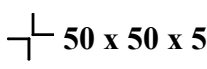
2.4.4 Návrh prierezov prútov

Znáмым postupom z predmetu „Kovové konštrukcie 1“ zaoberajúcim sa osovo namáhanými prútmi s využitím STN 73 1401 [3], sme navrhli prierezy prútov väzníka. Prehľad jednotlivých prierezov je uvedený v tabuľke 2.2.

Tabuľka 2.2 Prehľad prierezov prútov väzníka

Horný pás	H		 160 x 160 x 14
Dolný pás	S		 140 x 140 x 10
Diagonály	D ₁ , D ₄		 70 x 70 x 6

Tabuľka 2.2 Prehľad prierezov prútov väzníka - Pokračovanie

Diagonály	D ₂		
	D ₃ , D ₅		
Zvislice	V ₂ , V ₄		
	V ₃ , V ₅		
	V ₆		

2.5 ŽERIAVOVÁ DRÁHA

V hale bude po žeriavovej dráhe jazdiť žeriav 32/8 t - 22,5 m - 2bII - STN 27 0200 [4]. Základné parametre žeriavu získame z tabuľky 2.3. Parametre žeriavov s jedným alebo s viacerými hákmi, prípadne žeriavy iných zdvihových tried alebo prevádzkových skupín, je možné nájsť v uvedenej norme [4] alebo v pomôcke [5], resp. [6]. Ak je v hale umiestnený iný typ žeriavu, jeho základné charakteristiky zistíme u výrobcu, prípadne z katalógov.

Podľa údajov investora sú základné prevádzkové charakteristiky žeriavu nasledujúce:

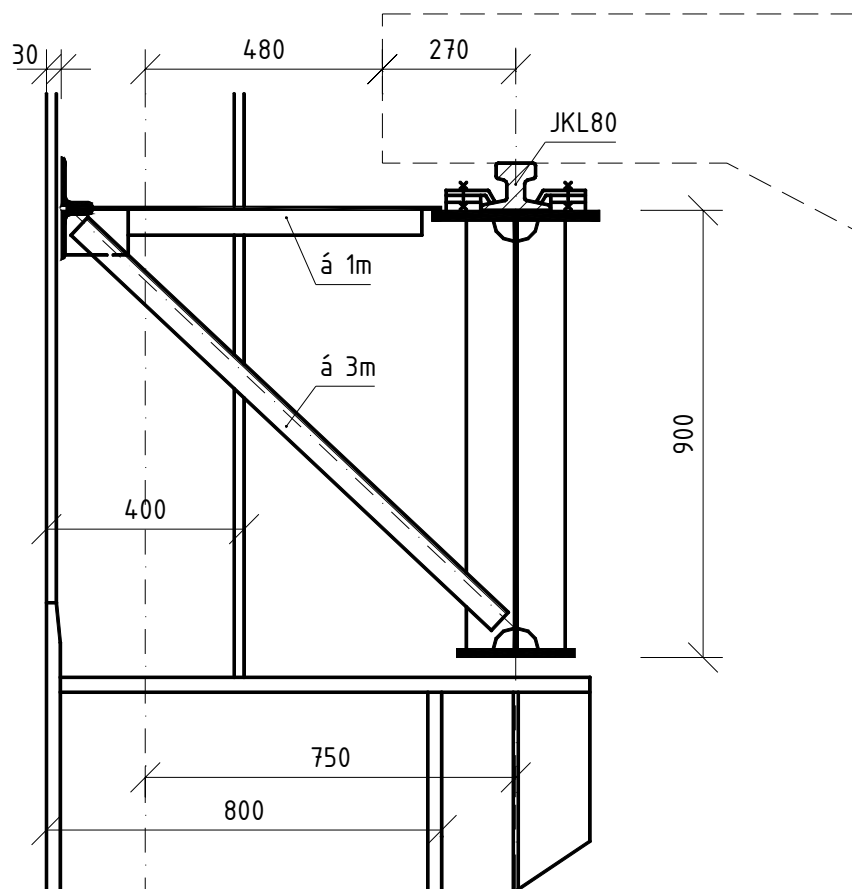
počet cyklov počas doby životnosti	$6 \cdot 10^5$
pomerné využitie žeriavu	60 %
pracovný režim	stredný
druh žeriavu	2
zdvihová trieda	<i>b</i>
únavová prevádzková skupina	<i>II</i>

Žeriavovú dráhu navrhne podľa STN 73 1401 [3] pričom zaťaženie určíme podľa STN 73 0035 [2] a s využitím tabuľky 2.3. Základné rozmery, ktoré limitujú návrh prierezov žeriavovej dráhy, sú na obr. 2.14.

Tabuľka 2.3 Elektrické mostové žeriavy s dvoma hákmi - zdvihová trieda b, únavová prevádzková skupina II

Nosnosť zdvíhu		Rozpätie			Rychlosť		Hlavné rozmery žeriavu											Dojazdové parametre háku			Šírka kolajnice žeriavovej dráhy *	Nárazová sila pri 75% menovitej rýchlosti pojazdu		Zaťaženie žeriavovej dráhy 1 kolesom žeriavu		Hmotnosť																	
hlavného zdvíhu	pomocného zdvíhu	lode	žeriavu	Maximálne rozpätie žeriavu	hlavný závih	pojazd mosta	b *	A *	E *	J	M	N	O	P ₁	P ₃	Z	Z ₁	R	S	T		m/min	V _{max}	V _{min}	mačky	celého žeriavu s mačkou																	
t	m	L	I		m/min		mm											kN		t																							
20	5	12	10,5	12,0	10	80 100	250	2100	715	5735	2740	2995	4100	820	1075	2200	2400	1080	2000	1600	65	56,2	70,0	146,0	39,0	5,5	17,8																
		15	13,5	14,1					810	5875	2805	3070	745	1225	1150							61,5	76,7	160,0	43,8		19,4																
		18	16,5	17,1					850	5980	2800	3180	775	1175	2400							2700	1440	2050	1650		80	67,1	83,7	171,0	51,6	21,4											
		21	19,5	20,1																								890	6130	2875	3255	4500	850	1300	75,2	244,0	70,0	27,2					
		24	22,5	23,1																								985	6930	3225	3705	5400	1325	3200	2825	1390	2250	1600	100	78,3	253,0	75,0	34,9
		27	25,5	26,1																																				1070	7145	3340	3805
30	28,5	29,1	1420	142,0	281,0	100,0	45,7																																				
32	8	12	10,5	11,2	8	80	270	2400	850	5980	2800	3180	775	1175	2400	2700	1440	2050	1650	80	50,0	202,0	59,3	22,3																			
		15	13,5	14,1					890	6130	2875	3255	4500	850	1300	52,0	212,0	58,3	24,3																								
		18	16,5	17,1					985	6930	3225	3705	5400	1325	3200	2825	1390	2250	1600	100	103,0	223,0	61,7	27,2																			
		21	19,5	20,1																	1300	75,2	244,0	70,0	32,2																		
		24	22,5	23,1																	1300	78,3	253,0	75,0	34,9																		
		27	25,5	26,2																	1400	83,0	265,0	84,6	39,2																		
30	28,5	29,1	1420	142,0	281,0	100,0	45,7																																				
50	12,5	12	10,5	11,0	5	300	2700	985	6930	3225	3705	5400	1325	3200	2825	1390	2250	1600	100	73,3	295,0	92,0	29,7																				
		15	13,5	14,5				1070	7145	3340	3805	5600	1425	77,2	315,0	87,7	33,9																										
		18	16,5	16,8				1070	7145	3340	3805	5600	1425	3200	2825	1200	2250	1600	100	80,5	327,0	90,1	36,9																				
		21	19,5	19,8																1220	118,4	345,0	97,9	42,0																			
		24	22,5	23,2																1270	122,8	362,0	108,0	47,6																			
		27	25,5	26,4																1270	131,0	378,0	120,0	53,1																			
30	28,5	29,1	1420	142,0	322,4	128,0	59,6																																				

* Ak sa po jednej žeriavovej dráhe pohybuje viac žeriavov, je potrebné uvažovať parametre podľa žeriavu najväčšej nosnosti.



Obr. 2.14 Žeriavová dráha

2.5.1 Zat'azenie žeriavovej dráhy

a) Stále zat'azenie

	charakteristické	γ_F	návrhové
- tiaž koľajnice JKL 80	0,499	1,1	0,5489
- hmotnosť zvislého nosníka	2,3	1,1	2,53
- vodorovný nosník a jeho stuženie	1,0	1,1	1,12
	$g_k = 3,799 \text{ kNm}^{-1}$		$g_d = 4,179 \text{ kNm}^{-1}$

b) Náhodilé krátkodobé zat'azenie

ba) zvislé účinky

Charakteristické kolesové sily (z tabuľky 2.3)

	γ_F	návrhové
$V_{1,max,k} = 253,0 \text{ kN}$	1,2	$V_{1,max,d} = 303,6 \text{ kN}$
$V_{1,min,k} = 75,0 \text{ kN}$	1,2	$V_{1,min,d} = 90,0 \text{ kN}$

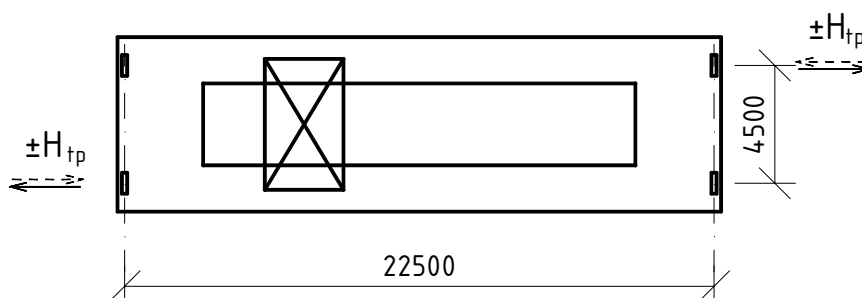
Dynamické účinky zohľadňuje dynamický súčiniteľ $\delta = 1,2$ z STN 73 0035 [2] pre stykované koľajnice.

$$V_{1,max,d}^{\delta} = V_{1,max,d} \cdot \delta = 303,6 \cdot 1,2 = 364,32 \text{ kN}$$

$$V_{1,min,d}^{\delta} = V_{1,min,d} \cdot \delta = 90,0 \cdot 1,2 = 108,0 \text{ kN}$$

bb) vodorovné účinky

A) Priečne sily H_{tp} od priečenia žeriavu a iných imperfekcií



Obr. 2.15 Priečne sily H_{tp} od priečenia žeriavu a iných imperfekcií

Silu $H_{tp,k}$ získame podľa STN 73 0035 [2] ako

$$H_{tp,k} = \pm \lambda \cdot \sum V_n = \pm 0,125 \cdot 506 = \pm 63,25 \text{ kN}$$

kde λ je súčiniteľ závislý na pomere $\left(\frac{L_z}{0} = 5\right) \rightarrow \lambda = 0,125$

$\sum V_n$ je súčet maximálnych zaťažení všetkých kolies na jednej vetve žeriavovej dráhy. V našom prípade teda

$$\sum V_n = 2 \cdot V_{1,\max,k} = 2 \cdot 253,0 = 506,0 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota pričnej sily potom bude

$$H_{tp,d} = \gamma_F \cdot H_{tp,k} = 1,1 \cdot 63,25 = \pm 69,575 \text{ kN}$$

Pôsobisko síl sa uvažuje v mieste styku kolies s koľajnicou. Pôsobia buď proti sebe, alebo od seba na kolesá umiestnené krížom v žeriave (obr. 2.15).

B) Brzdné a rozbehové sily B_t od zotrvačných síl pri brzdení alebo rozbehu žeriavovej mačky

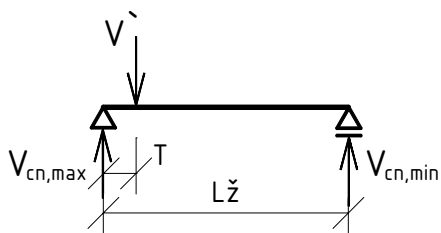
Charakteristickú hodnotu síl B_t získame ako

$$B_{t,k} = 0,10 \cdot V_{cn}$$

kde V_{cn} je zaťaženie kolies žeriavu od hmotnosti žeriavovej mačky s bremenami v krajnej polohe.

$$B_{t,\max,k} = 0,10 \cdot V_{cn,\max}$$

$$B_{t,\min,k} = 0,10 \cdot V_{cn,\min}$$



$$T = 1\,650 \text{ mm}$$

$$L_z = 22\,500 \text{ mm}$$

$$V' = \text{tiaž mačky} + \text{tiaž bremena}$$

$$V' = 84 \text{ kN} + 320 \text{ kN} = 404 \text{ kN}$$

Obr. 2.16 Poloha bremena V'

$$V_{cn,\max} = \frac{22,5 - 1,65}{22,5} \cdot V' = \frac{20,85}{22,5} \cdot 404 = 374,373 \text{ kN}$$

$$V_{cn,\min} = \frac{1,65}{22,5} \cdot V' = \frac{1,65}{22,5} \cdot 404 = 29,627 \text{ kN}$$

Priečne sily od zmeny pohybu žeriavovej mačky potom sú

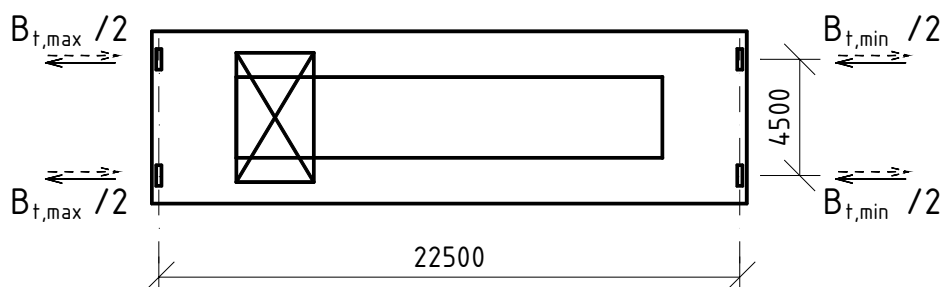
$$B_{t,\max,k} = 0,1 \cdot 374,373 = 37,437 \text{ kN}$$

$$B_{t,min,k} = 0,1 \cdot 29,627 = 2,963 \text{ kN}$$

$$B_{t,max,d} = \gamma_F \cdot B_{t,max,k} = 1,1 \cdot 37,437 = 41,181 \text{ kN}$$

$$B_{t,min,\delta} = \gamma_F \cdot B_{t,min,k} = 1,1 \cdot 2,963 = 3,259 \text{ kN}$$

Umiestnenie týchto síl ukazujú obr. 2.16 a obr. 2.17. Sily $B_{t,max}$ pôsobia na kolesá žeriavu so žeriavovou mačkou v príľahlej krajnej polohe.



Obr. 2.17 Pôsobenie síl B_t

C) Pozdĺžna brzdná sila B od zotrvačných síl pri rozbehu a brzdení žeriavu

$$B_k = 0,1 \cdot \sum V_n$$

kde $\sum V_n$ je súčet kolesových síl všetkých brzdených kolies na jednej vetve žeriavovej dráhy

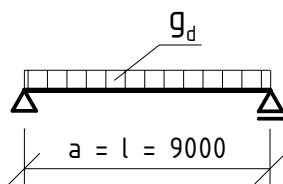
$$\sum V_n = 1 \cdot V_{1,max,k} = 1,0 \cdot 253 = 253,0 \text{ kN}$$

$$B_k = 0,1 \cdot \sum V_n = 0,1 \cdot 253 = 25,3 \text{ kN}$$

$$B_d = \gamma_F \cdot B_k = 1,1 \cdot 25,3 = 27,83 \text{ kN}$$

2.5.2 Výpočet vnútorných síl od zvislého zaťaženia

a) Stále zaťaženie



Obr. 2.18 Stále zaťaženie

Vyvodzuje najväčšie vnútorné sily

$$V_{g,max} = \frac{g_d \cdot l}{2} = \frac{4,179 \cdot 9}{2} = 18,806 \text{ kN}$$

$$M_{g,max} = \frac{1}{8} \cdot g_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 4,179 \cdot 9^2 = 42,312 \text{ kNm}$$

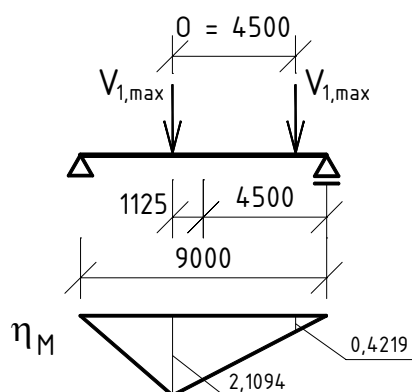
Moment vo vzdialenosti $x = 3,375 \text{ m}$ od podpory (kde je najväčší moment od zvislého pohyblivého zaťaženia).

$$M_{g,x=3,375} = \frac{g \cdot x}{2} \cdot (l - x) = \frac{4,179 \cdot 3,375}{2} \cdot (9 - 3,375) = 39,668 \text{ kNm}$$

$$V_{g,x=3,375} = g \cdot \left(\frac{l}{2} - x \right) = 4,179 \cdot (4,5 - 3,375) = 4,701 \text{ kNm}$$

b) Krátkodobé náhodilé zaťaženie

Maximálny moment získame pri polohe kolesových síl podľa obr. 2.19.



Pre $V_{1,max,d}^{\delta} = 364,32 \text{ kN}$ dostávame

$$M_{V,max} = 364,32 \cdot (2,1094 + 0,4219) = 922,20 \text{ kN}$$

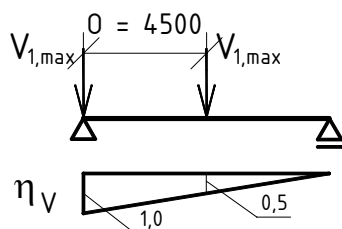
Zodpovedajúca priečna sila v mieste $x = 3,375 \text{ m}$

$$V_{V,maxM} = 364,32 \cdot \left(\frac{4,50 + 2 \cdot 1,125}{9} \right) = 273,24 \text{ kN}$$

Maximálna priečna sila pri podpere

$$V_{V,max} = 364,32 \cdot (1 + 0,5) = 546,48 \text{ kN}$$

Súčasne predstavuje najväčšiu reakciu na nosníku od kolesových síl.



Obr. 2.19 Polohy žeriavu

c) Kombinácia zaťaženia

Maximálny ohybový moment

$$M_{Sd,y} = M_{g,x=3,375} + M_{V,max} = 39,668 + 922,20 = 961,87 \text{ kNm}$$

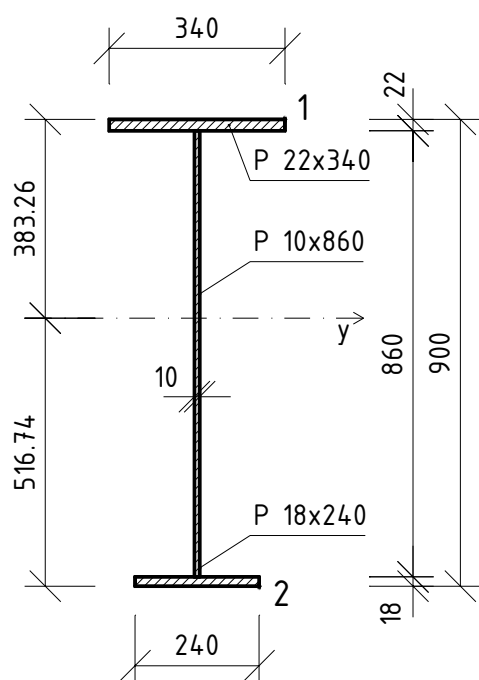
Zodpovedajúca priečna sila

$$V_{max,M} = V_{g,x=3,375} + M_{V,max,M} = 4,701 + 273,24 = 277,941 \text{ kN}$$

Maximálna reakcia (priečna sila)

$$V_{Sd,z} = V_{g,max} + V_{V,max} = 18,806 + 546,48 = 565,29 \text{ kN}$$

2.5.3 Návrh zvislého nosníka žeriavovej dráhy



Predpokladáme nasledujúce dimenzie:

- horná pásnica 22 x 340
- dolná pásnica 18 x 240
- stena 10 x 860

Prierezové veličiny

$$A = 2,04 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 2,721357 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$W_{y,el,1} = 7,10055 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{y,el,2} = 5,266395 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$z_1 = 383,26 \text{ mm}$$

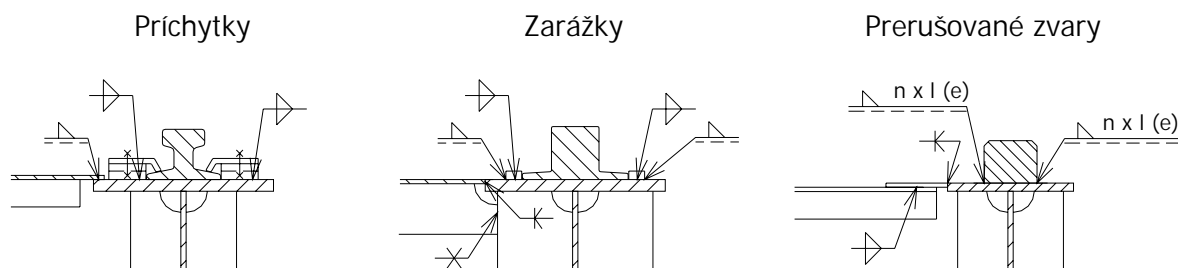
$$z_2 = 516,74 \text{ mm}$$

$$b_{f1} / t_{f1} = 340 / 22 = 15,45 \in (10; 20)$$

$$b_{f2} / t_{f2} = 240 / 18 = 13,33 \in (10; 20)$$

Obr. 2.20 Prierez žeriavovej dráhy

Šírka hornej pásnice závisí od typu koľajnice a spôsobe pripevnenia koľajnice a vodorovného vystužného nosníka na hornú pásnicu. Obr. 2.21 znázorňuje tri najpoužívanejšie spôsoby uchytenia koľajnice: pomocou príchytiek, zarážiek a prerušovaných zvarov. Príchytky a zarážky sa musia spolu kombinovať (možná je aj kombinácia so zvarmi). Pre názornosť je pri každom obrázku nakreslený iný typ koľajnice aj iný typ prípoja vodorovného nosníka na hornú pásnicu.



Obr. 2.21 Spôsoby uchytenia koľajnice a vodorovného nosníka

Klasifikácie prierezu pri namáhaní ohybom pre stenu výšky $d = h_w = 860 \text{ mm}$

$$d_c = z_1 - t_{f1} = 383,26 - 22 = 361,26 \text{ mm}$$

$$d_i = d - d_c = 860 - 361,26 = 498,74 \text{ mm}$$

$$\psi = -\frac{d_i}{d_c} = -\frac{498,74}{361,26} = -1,38 < -1,0$$

Vzhľadom k dynamickému namáhaniu konštrukcie, nebudeme využívať plastizáciu prierezu. Pri $\psi < -1,0$ je medzná štihlosť pre prierez triedy 3 daná vzťahom

$$65 \cdot \varepsilon_m \cdot (1 - \psi) \cdot \sqrt{-\psi} = 65 \cdot 1,0 \cdot (1 + 1,38) \cdot \sqrt{1,38} = 181,73$$

$$\frac{d}{t} = \frac{860}{10} = 86 < 181,73$$

Z tohto kritéria plynie, že prierez vyhovuje kritériám pre triedu 3.

2.5.4 Posúdenie nosníka pri zvislom zaťažení

a) Overenie prierezu v jeho krajných vláknach

Kritérium odolnosti pri kombinovanom namáhaní

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_{yd} / \sqrt{3}} \right)^2 \leq 1,0$$

Šmykové napätie τ_{Ed} nadobúda nulové hodnoty na povrchu pásnic.

BOD 1 (na hornom povrchu hornej pásnice)

Prierez je zabezpečený oproti klopeniu spojito plechom hrúbky 8 mm vodorovného vystuženého nosníka (lávky).

$$\sigma_{x,Ed,1} = \frac{M_{Sd,y}}{W_{y,el,1} \cdot \chi_{LT}} = \frac{961,87 \cdot 10^{-3}}{7,10055 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0} = 135,464 \cdot 10^6 = 135,464 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{135,464}{213,636} \right) = 0,634 < 1,0 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

- v hornej pásnici potrebujeme rezervu, pretože je súčasťou aj vodorovného vystuženia nosníka, preto je rozdiel 36% vo využiteľnosti prierezu prijateľný.

BOD 2 (na spodnom povrchu dolnej pásnice)

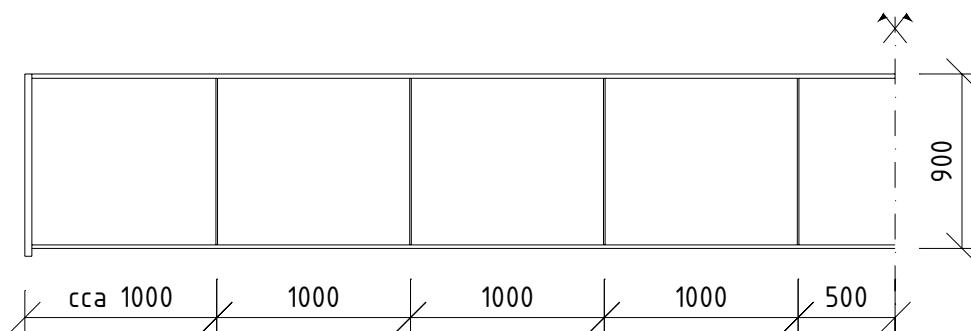
$$\sigma_{x,Ed,2} = \frac{M_{Sd,y}}{W_{y,el,2}} = \frac{961,87 \cdot 10^{-3}}{5,266395 \cdot 10^{-3}} = 182,643 \cdot 10^6 = 182,643 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{182,643}{213,636} \right) = 0,855 < 1,0 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

b) Overenie steny a jej rovinného kombinovaného namáhania

ba) *štíhlosť steny*

Stenu vystužíme priečnymi výstuhami vo vzdialenostiach 1 m, teda $a = 1$ m.



Obr. 2.22 Vystužené polia steny

$$\beta_w = \frac{h_w}{t_w} = \frac{860}{10} = 86$$

Pomer strán vystužených polí potom je

$$\alpha = \max\left(\frac{a}{d}; \frac{d}{a}\right) = \max\left(\frac{1}{0,86}; \frac{0,86}{1}\right) = \max(1,163; 0,86) = 1,163$$

Medzná štíhlosť

$$\beta_{1,v} = 100 \cdot \left(0,7 + \frac{0,3}{\alpha^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 100 \cdot \left(0,7 + \frac{0,3}{1,163^2}\right) \cdot 1,0 = 92,18$$

$$\beta_w = 86 < \beta_{1,v} = 92,18 \quad \dots \text{ide o } \underline{\text{kompaktnú stenu}} \text{ pri namáhaní šmykom.}$$

Statický moment plochy časti prierezu nad neutrálnou osou je

$$S_y^i = 0,34 \cdot 0,022 \cdot \left(0,38326 - \frac{0,022}{2}\right) + \frac{(0,38326 - 0,022)^2}{2} \cdot 0,01 = 3,437 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Šmykové napätie pri podpere

$$\tau_{Ed} = \frac{S_y^i \cdot V_{sd,z}}{I_y \cdot t_w} = \frac{3,437 \cdot 10^{-3} \cdot 565,29 \cdot 10^3}{2,721357 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01} = 71,396 \cdot 10^6 = 71,396 \text{ MPa}$$

Kritérium odolnosti

$$\tau_{Ed} = 71,396 \text{ MPa} < \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{213,636}{\sqrt{3}} = 123,343 \text{ MPa} \quad \dots \underline{\text{vyhovuje.}}$$

bb) rovinné namáhanie na hornom okraji steny v priereze $x = 3,375 \text{ m}$

Normálové napätie od ohybu

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{-M_{Sd,y}}{I_{y,el}} \cdot z_{w1} = -\frac{961,87 \cdot 10^{-3}}{2,72136 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,38326 - 0,022) = -127,688 \text{ MPa}$$

Normálové napätie od lokálneho zaťaženia kolesovou silou

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{-F_{Sd,lok}}{s_y \cdot t_w} = \frac{-364,32 \cdot 10^{-3}}{0,2189 \cdot 0,01} = -166,432 \text{ MPa}$$

kde - kolesová sila $F_{Sd,lok} = V_{1,max,d}^{\delta} = 364,32 \text{ kN}$

- roznášacia dĺžka

$$s_y = k_r \cdot \sqrt[3]{\frac{I_f + I_R}{t_w}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{f,Ed}}{f_{yd}}\right)^2} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{301,693 + 6303}{0,010 \cdot 10^9}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{135,464}{213,636}\right)^2} = 0,2189 \text{ m}$$

potrebné parametre v tomto vzťahu sú

- $k_r = 3,25$ - pre koľajnice priamo na pásnici, resp. podložke $< 5 \text{ mm}$,
- moment zotrvačnosti pásnice

$$I_f = \frac{1}{12} \cdot b_f \cdot t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,34 \cdot 0,022^3 = 301,693 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- moment zotrvačnosti koľajnice JKL80 $I_R = 6303 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$
- napätie v pásnici $\sigma_{f,Ed} = 135,464 \text{ MPa}$

Šmykové napätie

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{max M} \cdot S_{y1}^{\cdot}}{I_y \cdot t_w} = \frac{277,941 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7845 \cdot 10^{-3}}{2,72136 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01} = 28,439 \text{ MPa}$$

$$\text{kde } S_{y1}^{\cdot} = b_{f1} \cdot t_{f1} \cdot \left(z_1 - \frac{t_{f1}}{2}\right) = 0,34 \cdot 0,022 \cdot \left(0,38326 - \frac{0,022}{2}\right) = 2,7845 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Kritérium overenia odolnosti pri kombinovanom namáhaní

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,0086 \cdot 235 \cdot 10^3}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 1060,75 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} = \frac{277,941}{1060,75} = 0,262 < 0,3$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}}\right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{-127,688}{213,636}\right)^2 + \left(\frac{-166,432}{213,636}\right)^2 - \left(\frac{-127,688}{213,636}\right) \cdot \left(\frac{-166,432}{213,636}\right) = 0,499 < 1,0 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

bc) rovinné namáhanie na spodnom okraji steny v priereze $x = 3,375 \text{ m}$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{sd,y}}{I_y} \cdot z_{w2} = \frac{961,87 \cdot 10^{-3}}{2,72136 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,51674 - 0,018) = 176,281 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{\max M} \cdot S'_{y2}}{I_y \cdot t_w} = \frac{277,941 \cdot 10^{-3} \cdot 2,19344 \cdot 10^{-3}}{2,72136 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01} = 22,402 \text{ MPa}$$

kde

$$S'_{y2} = b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot \left(z_2 - \frac{b_{f2}}{2}\right) = 0,24 \cdot 0,018 \cdot \left(0,51674 - \frac{0,018}{2}\right) = 2,19344 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Kritérium overenia

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}} = \frac{277,941}{1060,75} = 0,262 < 0,3$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} = \frac{176,281}{213,636} = 0,825 < 1,0 \quad \dots \text{stena vyhovuje.}$$

bd) rovinné namáhanie v horných vláknach pri podpere

Postavenie žeriavu je také, aby kolesové sily vyvodili maximálnu priečnu silu pri podpere. Posudzujeme prierez tesne vedľa výstupy.

$$\sigma_{z,Ed} = -\frac{F_{sd,lok}}{s_y \cdot t_w} = -\frac{364,32 \cdot 10^{-3}}{0,283 \cdot 0,01} = -128,735 \text{ MPa} \quad \sigma_{x,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

$$s_y = k_r \cdot \sqrt[3]{\frac{I_f + I_R}{t_w}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{f,Ed}}{f_{yd}}\right)^2} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{660,469 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{1,0} = 0,283 \text{ m}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{V,\max} \cdot S'_{y1}}{I_y \cdot t_w} = \frac{546,48 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7845 \cdot 10^{-3}}{2,72136 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01} = 55,916 \text{ MPa}$$

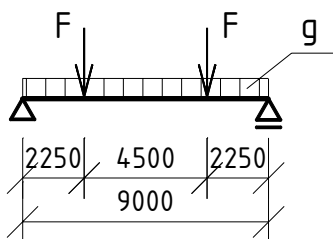
$$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}} = \frac{546,48}{1060,75} = 0,515 > 0,3$$

$$\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}}\right)^2 + 1,1 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_{yd} / \sqrt{3}}\right)^2 = \left(\frac{-128,735}{213,636}\right)^2 + 1,1 \cdot \left(\frac{55,916}{213,636 / \sqrt{3}}\right)^2 = 0,589 < 1,1$$

... rovinné namáhanie v stene vyhovuje.

2.5.5 Priehyb zvislého nosníka

Pre určenie priehybu nosníka stačí uvažovať približné postavenie síl podľa obr. 2.23. Presnejší výpočet by zahŕňal vyhodnotenie vplyvových čiar priehybu.



$$F = V_{1,max,k}^{\delta} = 303,6 \text{ kN}$$

$$g = g_k = 3,799 \text{ k Nm}^{-1}$$

Obr. 2.23 Rozhodujúce zaťaženie

Priehyb v strede nosníka určíme zo vzťahu

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot l^4}{E \cdot I_y} + \frac{F \cdot x}{24 \cdot E \cdot I_y} \cdot (3 \cdot l^2 - 4 \cdot x^2) = \frac{5}{384} \cdot \frac{3799 \cdot 9^4}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,72136 \cdot 10^{-3}} + \frac{303600 \cdot 2,25}{24 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,72136 \cdot 10^{-3}} \cdot (3 \cdot 9^2 - 4 \cdot 2,25^2) = 0,00057 + 0,01109 = 0,0117 \text{ m}$$

Medzný priehyb je podľa tabuľky 7.1 v STN P ENV 1993-6 [7] daný hodnotou 1/600 rozpätia žeriavovej dráhy, resp. 25 mm.

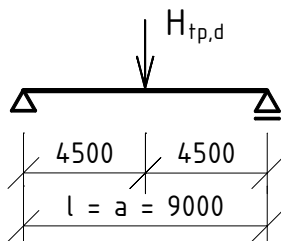
$$\delta = 11,7 \text{ mm} < \delta_{max} = \frac{l}{600} = \frac{9000}{600} = 15 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

2.5.6 Výpočet vnútorných síl od vodorovného zaťaženia

a) Sily od priečenia žeriavu

Vodorovný výstužný nosník pôsobí pri vodorovnom zaťažení ako jednoduchý nosník rozpätia $a = 9 \text{ m}$, uložený na stĺpoch priečných väzieb.

aa) alternatíva 1



Maximálny moment M_Z od sily H_{tp} v strede rozpätia

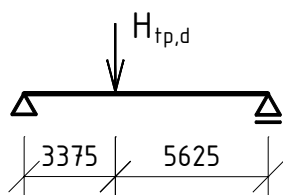
$$M_{H_{tp},1} = \frac{1}{4} \cdot H_{tp,d} \cdot a = \frac{1}{4} \cdot 69,575 \cdot 9 = 156,544 \text{ kNm}$$

Príslušná priečna sila a zároveň aj reakcia

$$V_{H_{tp},1} = \frac{1}{2} \cdot H_{tp,d} = \frac{1}{2} \cdot 69,575 = 34,788 \text{ kN}$$

Obr. 2.24 Poloha sily H_{tp} – alt. 1

ab) alternatíva 2 Reprezentuje postavenie žeriavu, ktoré vyvolá maximálny zvislý ohyb.



Obr. 2.25 Poloha sily H_{tp} – alt.2

Príslušný vodorovný ohyb potom je

$$M_{H_{tp},2} = H_{tp,d} \cdot \left(\frac{3,375 \cdot 5,625}{9} \right) = 69,575 \cdot 2,1094$$

$$= 146,762 \text{ kNm}$$

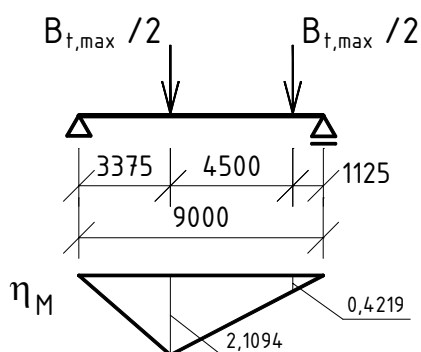
$$V_{H_{tp},2} = 69,575 \cdot \frac{5,625}{9} = 43,484 \text{ kN}$$

ac) alternatíva 3 Vyvolá maximálnu priečnu silu v podpere. Krajné koleso žeriavu je pri podpere na stĺpe a toto koleso je zároveň priečené.

$$V_{H_{tp},\max} = H_{tp,d} = 69,575 \text{ kN}$$

b) Vnútorne sily od rozbehu a brzdenia žeriavovej mačky

ba) pri zisťovaní vodorovného ohybového momentu uvažíme len polohu žeriavu, vyvodzujúcu maximálny zvislý ohyb.



Obr. 2.26 Poloha síl $B_t - \max M$

Zodpovedajúci moment M_Z potom bude

$$M_{B_t} = \frac{B_{t,\max,d}}{2} \cdot (2,1094 + 0,4219) = \frac{41,181}{2} \cdot 2,5313$$

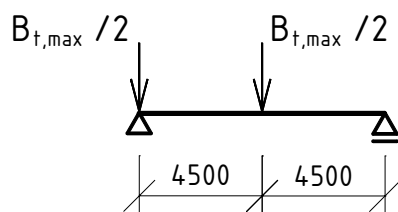
$$= 52,121 \text{ kNm}$$

Korešpondujúca priečna sila

$$V_{B_t,M} = \frac{B_{t,\max,d}}{2} \cdot \left(\frac{4,50 + 1,125 \cdot 2}{9} \right) = \frac{41,181}{2} \cdot 0,75$$

$$= 15,443 \text{ kN}$$

bb) maximálnu priečnu silu a teda aj reakciu zistíme, ak umiestnime pohyblivú sústavu do polohy podľa obr. 2.27.



Obr. 2.27 Poloha síl $B_t - \max V$

$$V_{B_t,\max} = \frac{B_{t,\max,d}}{2} \cdot (1 + 0,5) = \frac{41,181}{2} \cdot 1,5 = 30,886 \text{ kN}$$

c) Účinky brzdění a rozbehu žeriavu

Brzdná síla působí rovnoběžně s podélnou osou nosníka a přenáší se nosníky žeriavové dráhy až do brzděného stěžidla. Okrem normálovej sily

$$N_B = B_d = \pm 27,83 \text{ kN}$$

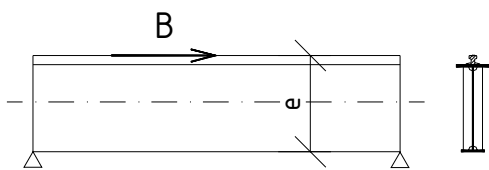
vyvodzuje aj ohybový moment vzhľadom na excentricitu e , obr. 2.28.

Zvislý ohyb potom stanovíme ako

$$M_{y,B} = \frac{B_d \cdot e}{a} \cdot \frac{a}{2} = \frac{B_d \cdot e}{2} = \frac{27,83 \cdot 0,995}{2} = 13,845 \text{ kNm}$$

Zodpovedajúca priečna síla

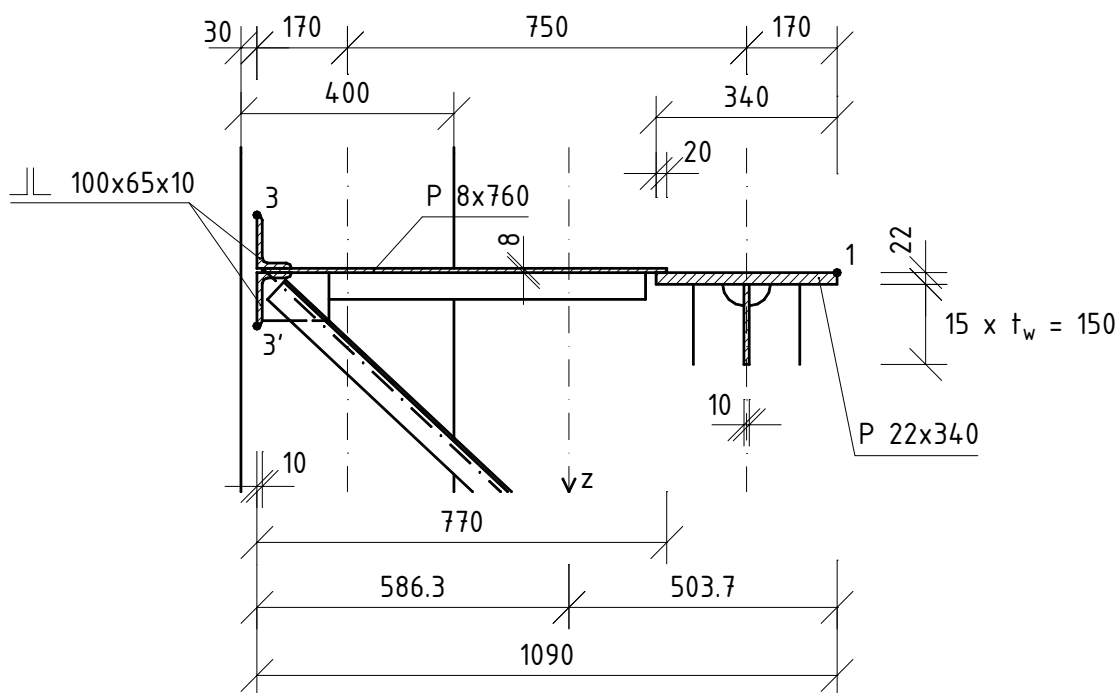
$$V_{z,B} = \frac{B_d \cdot e}{a} = \frac{27,83 \cdot 0,995}{9} = 3,077 \text{ kNm}$$



Obr. 2.28 Pôsobenie sily B

2.5.7 **Návrh vodorovného nosníka**

Tvar prierezu je znázornený na obr. 2.29.



Obr. 2.29 Vodorovný nosník

Prierezové veličiny

Uholník

L 100 x 65 x 10

$$A_l = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_{Zl} = 51 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$e_z = 16,3 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot 1,56 \cdot 10^{-3} + 0,76 \cdot 0,008 + 0,34 \cdot 0,022 + 0,15 \cdot 0,01 = 18,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$y_3 = \frac{2 \cdot 1,56 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0163 + 0,76 \cdot 0,008 \cdot \left(\frac{0,76}{2} + 0,01 \right) + 0,34 \cdot 0,022 \cdot (0,75 + 0,17) + 0,15 \cdot 0,01 \cdot (0,75 + 0,17)}{18,18 \cdot 10^{-3}} = 0,5863 \text{ m}$$

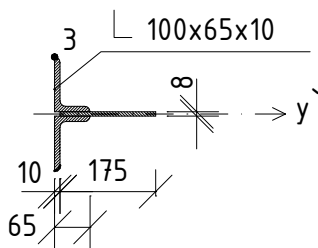
$$y_l = 1,09 - 0,5863 = 0,5037 \text{ m}$$

$$I_z = 2 \cdot 51 \cdot 10^{-8} + \frac{1}{12} \cdot (0,008 \cdot 0,76^3 + 0,022 \cdot 0,34^3 + 0,15 \cdot 0,01^3) + 2 \cdot 1,56 \cdot 10^{-3} \cdot (0,5863 - 0,0163)^2 + 0,76 \cdot 0,008 \cdot \left(0,5863 - \frac{0,76}{2} - 0,01 \right)^2 + 0,34 \cdot 0,022 \cdot (0,5037 - 0,17)^2 + 0,15 \cdot 0,01 \cdot (0,5037 - 0,17)^2 = 2,613687 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$W_{z,el,1} = \frac{I_z}{y_1} = \frac{2,613687 \cdot 10^{-3}}{0,5037} = 5,1890 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{z,el,3} = \frac{I_z}{y_2} = \frac{2,613687 \cdot 10^{-3}}{0,5863} = 4,4579 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Pre posúdenie v bode „3“ ešte potrebujeme charakteristiky prierezu z obr. 2.30, ktorý pôsobí pri prenose tiaže vodorovného nosníka a prevádzkového zaťaženia na lávke o veľkosti 2 kNm^2 . Podpery nosníka tvoria stĺpy priečnej väzby a šikmé vzpery profilu L vo vzdialenostiach po 3 m .



$$A' = 4,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_{y'} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_{y',3} = 72,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Obr. 2.30 Nosník lávky

2.5.8 Overenie odolnosti žeriavovej dráhy pri kombinovaných účinkoch

Na žeriavovej dráhe teraz uvažujeme zvislé a vodorovné účinky žeriavu. Zvislé účinky žeriavu spolu s jedným z jeho vodorovných účinkov sú považované za jedno krátkodobé

zaťaženie. V dôsledku malej tuhosti plechu lávky sa neuvažuje spolupôsobenie vodorovného nosníka so zvislým pri prenášaní zvislých účinkov na koľajnice.

a) Overenie na hornom povrchu pásnice zvislého nosníka - bod 1

Najväčšie namáhanie vyvodzuje kombinácia stáleho zaťaženia, zvislých kolesových síl a priečenia žeriavu.

$$M_{y,Sd} = M_{g,x=3,375} + M_{V,max} = 39,67 + 922,20 = 961,87 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} = M_{H\eta,ALT.2} = 146,762 \text{ kNm}$$

Vodorovný nosník je zabezpečený proti klopeniu nosníkom zvislým a opačne.

$$\sigma_{x,Ed,My} = \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y,1}} = \frac{0,96187}{7,10055 \cdot 10^{-3}} = 135,464 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed,Mz} = \frac{M_{z,Sd}}{W_{el,z,1}} = \frac{0,146762}{5,189 \cdot 10^{-3}} = 28,283 \text{ MPa}$$

Overíme klasifikáciu prierezu v prípade sily H_{η} pôsojacej „von“ z haly, teda vyvodzujúcej v bode 1 tlak. Veľkosť tlačenej časti steny je potom

$$d_c = 770 - 20 - 586,3 = 163,7 \text{ mm}$$

$$d_t = 586,3 - 65 = 521,3 \text{ mm}$$

$$d = d_c + d_t = 685 \text{ mm}$$

$$\psi = -\frac{d_t}{d_c} = -\frac{521,3}{163,7} = -3,184 < -1$$

$$\frac{d}{t} = \frac{685}{8} = 85,6 < 65 \cdot \varepsilon_m \cdot (1 - \psi) \cdot \sqrt{\psi} = 65 \cdot 1 \cdot (1 + 3,184) \cdot \sqrt{3,184} = 485,3$$

Prierez teda bezpečne spĺňa podmienku pre triedu prierezov 3. Overenie odolnosti

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} = \frac{\sigma_{x,Ed,My} + \sigma_{x,Ed,Mz}}{f_{yd}} = \frac{135,464 + 28,283}{213,636} = 0,7665 < 1,0 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

b) Overenie na povrchu spodnej pásnice zvislého nosníka - bod 2

V dolných vláknach zvislého nosníka ťahové napätie vyvodzuje stále zaťaženie, spolu so zvislými kolesovými silami a účinkami pozdĺžnej brzdnjej sily B . Vzhľadom k malej veľkosti pozdĺžnej sily, používame podobné kritérium ako pri hornej pásnici (bod 1).

$$N_{Sd} = B_d = 27,83 \text{ kN}$$

$$M_{y,Sd} = M_{g,x=3,375} + M_{V,max} + M_B = 39,67 + 922,20 + 13,845 = 975,715 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{sd}}{A_{zvisl.nos.}} + \frac{M_{y,sd}}{W_{el,y,2}} = \frac{0,02783}{2,04 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,975715}{5,266395 \cdot 10^{-3}} = 186,636 \text{ MPa}$$

Overenie napätí je potom podľa vzťahu

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} = \frac{186,636}{213,636} = 0,874 < 1,0 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

c) Overenie žeriavovej dráhy v bode 3, resp. 3' na vystužnom nosníku

Vodorovný vystužný nosník prenáša priečne vodorovné účinky žeriavu (B_t ; H_{tp}). Okrem toho sa nosník z obr. 2.30 podieľa na prenose vlastnej tiaže vodorovného nosníka a náhodilého krátkodobého zaťaženia pochôdzneho plechu revíznej lávky o intenzite 2 kNm^{-2} .

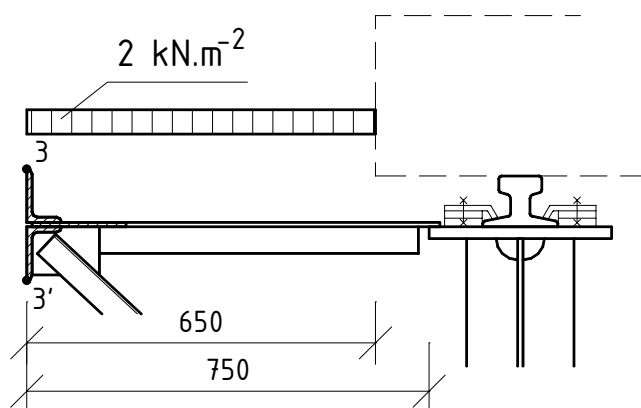
- *vodorovný ohyb*

Keďže budeme kombinovať účinok zvislého krátkodobého zaťaženia na vodorovnom plechu s vodorovnými účinkami žeriavu, bude súčiniteľ kombinácie $\psi_c = 0,9$. Môžeme teda uvažovať aj priečne sily H_{tp} aj brzdné a rozbehové sily od mačky B_t .

$$M_{z,Sd} = \psi_c \cdot \left(M_{H_{tp},ALT.1} + M_{B_t,koleso \text{ stred}} \right) = 0,9 \cdot \left(156,544 + \frac{1}{4} \cdot \frac{41,181}{2} \cdot 9 \right) = 182,585 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{x,Ed,Mz} = \frac{M_{z,Sd}}{W_{el,z,3}} = \frac{0,182585}{4,4579 \cdot 10^{-3}} = 40,958 \text{ MPa}$$

- *zvislý ohyb*



Obr. 2.31 Zaťaženie lávky

Vystužný nosník prenášajúci zvislé zaťaženie je podopretý na stĺpoch a v miestach šikmých vzpier vzdialených po 3 m , pôsobí ako trojpoľový spojité nosník. Preberá stále zaťaženie, ktoré približne uvážime tak, že prisúdime nosníku cca 75% odhadovanej hmotnosti revíznej lávky.

$$g_d = 1,1 \cdot 0,75 \cdot 1,0 \text{ kNm}^{-1} = 0,825 \text{ kNm}^{-1}$$

Vonkajší pás vystuženého nosníka prenáša aj ekvivalentnú časť náhodilého zaťaženia

$$q_d = 1,4 \cdot (2 \text{ kNm}^{-2} \cdot 0,65 \text{ m}) \cdot \frac{0,75 - 0,325}{0,75} = 1,031 \text{ kNm}^{-1}$$

Najväčší zvislý ohybový moment na spojitom nosníku získame pri zaťažení náhodilým zaťažením len stredného poľa.

$$M_{y,Sd} = 0,075 \cdot g_d \cdot l^2 + 0,025 \cdot \psi_c \cdot l^2 = 0,075 \cdot 0,825 \cdot 3^2 + 0,025 \cdot 0,9 \cdot 1,031 \cdot 3^2 = 0,766 \text{ kNm}$$

Korešpondujúce napätie v bode 3'

$$\sigma_{x,Ed,My} = \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,3}} = \frac{0,766 \cdot 10^{-3}}{72,1 \cdot 10^{-6}} = 10,624 \text{ MPa}$$

Overenie v strede medzi priečnymi väzbami

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} = \frac{\sigma_{x,Ed,My} + \sigma_{x,Ed,Mz}}{f_{yd}} = \frac{10,624 + 40,958}{213,636} = 0,241 < 1,0 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

Ak by sme overovali prierez vo vzdialenosti 3 m od stĺpa, kde vzniká maximálny moment nad šikmou vzperou od zvislého zaťaženia, uvážime bode 3

$$M_{y,Sd} = -0,1 \cdot (g_d + \psi_c \cdot q_d) \cdot l^2 = -0,1 \cdot (0,825 + 0,9 \cdot 1,031) \cdot 3^2 = -1,578 \text{ kNm}$$

Moment od priečenia žeriavu a brzdných a rozbehových síl od mačky bude (za predpokladu, že priečené koleso je vo vzdialenosti 3m od stĺpa)

$$\begin{aligned} M_{z,Rd} &= 0,9 \cdot \left[\left(H_{tp,d} + \frac{B_{t,\max,d}}{2} \right) \cdot \frac{3 \cdot 6}{9} + \frac{B_{t,\max,d}}{2} \cdot \frac{1,5 \cdot 7,5}{9} \right] \\ &= 0,9 \cdot \left[\left(69,575 + \frac{41,181}{2} \right) \cdot 2 + \frac{41,181}{2} \cdot 1,25 \right] = 185,462 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} = \frac{M_{z,Sd}}{W_{el,z,3} \cdot f_{yd}} - \frac{M_{y,Sd}}{W_{y,3} \cdot f_{yd}} = \frac{0,185462}{4,4579 \cdot 10^{-3} \cdot 213,636} - \frac{-0,001578}{72,1 \cdot 10^{-6} \cdot 213,636}$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} = 0,297 < 1,0 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

d) návrh šikmej vzpery

Vzpera dĺžky $d = \sqrt{0,85^2 + 0,92^2} = 1,253 \text{ m}$ prenáša silu

$$F = 3 \cdot (0,825 + 1,031) \cdot \frac{1,253}{0,85} = 8,208 \text{ kN}$$

Na túto silu sme známym postupom z predmetu „Kovové konštrukcie 1“ navrhli prierez z uholníka L 50 x 50 x 5, ktorý sa pripojí zvarmi účinnej výšky $a_w = 4 \text{ mm}$ a dĺžky $l_w = 40 \text{ mm}$ po obidvoch stranách.

Stenu vodorovného nosníka, rovinnú napätosť a jej pevnosť by sme overili obvyklými postupmi.

2.5.9 Priehyb vodorovného vystužného nosníka

Maximálnu vodorovnú deformáciu (priehyb) vodorovného vystužného nosníka získame vtedy, ak umiestnime silu od priečenia žeriavu do stredu rozpätia.

Priehyb vyčíslime ako

$$\delta = \frac{1}{48} \cdot \frac{H_{tp,k} \cdot a^3}{E \cdot I_z} = \frac{1}{48} \cdot \frac{63,25 \cdot 10^3 \cdot 9^3}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,613687 \cdot 10^{-3}} = 0,00175 \text{ m}$$

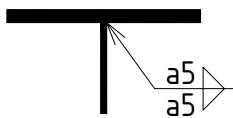
Maximálny povolený priehyb je podľa článku 5.2.7 STN 73 1401 [3] daný hodnotou

$$\delta_{\max} = \frac{l}{1000} = \frac{a}{1000} = \frac{9000}{1000} = 9 \text{ mm} > \delta = 1,75 \text{ mm}$$

Vodorovný priehyb nosníka žeriavovej dráhy vyhovuje. STN P ENV 1993-6 [7] v tabuľke 7.2 pripúšťa medzný priehyb dokonca o hodnote $1/600 l$.

2.5.10 Návrh krčných zvarov

Prípoj steny zvislého nosníka k hornej pásnici



Obr. 2.32 Kútové zvary

Navrhujeme zvary s účinnou výškou $a_w = 5 \text{ mm}$. Predpokladáme, že stena nedosadá tesne na pásnicu, teda celé zaťaženie v tomto mieste prenášajú iba krčné zvary.

Zvary posúdime na šmyk pri polohe, ktorá vyvoláva maximálny ohybový moment (podľa obr. 2.19). Posúdenie urobíme pod silou vzdialenou $1,125 \text{ m}$ od podpory.

Odpovedajúca priečna sila je

$$V_{sd} = V_V + V_g + V_B = 364,32 \cdot \left(\frac{3,375 + 7,875}{9} \right) + 4,179 \cdot (4,5 - 1,125) + 3,077 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,125}{9} \right) = 471,819 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{sd} \cdot S_{y,1}}{I_y \cdot 2 \cdot a_w} = \frac{471,813 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7845 \cdot 10^{-3}}{2,72136 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 0,005} = 48,276 \text{ MPa}$$

Lokálne bremeno reprezentované kolesovou silou $V_{1,max,d}^{\delta} = 364,32 \text{ kN}$ vyvolá napätie

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{V_{1,max,d}^{\delta}}{s_y \cdot 2 \cdot a_w \cdot \sqrt{2}} = \frac{364,32 \cdot 10^{-3}}{0,2189 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{2}} = 117,685 \text{ MPa}$$

Posúdenie zvarov

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

$$\sqrt{117,685^2 + 3 \cdot 117,685^2 + 3 \cdot 48,276^2} = 249,781 \text{ MPa} < \frac{360}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

... vyhovuje.

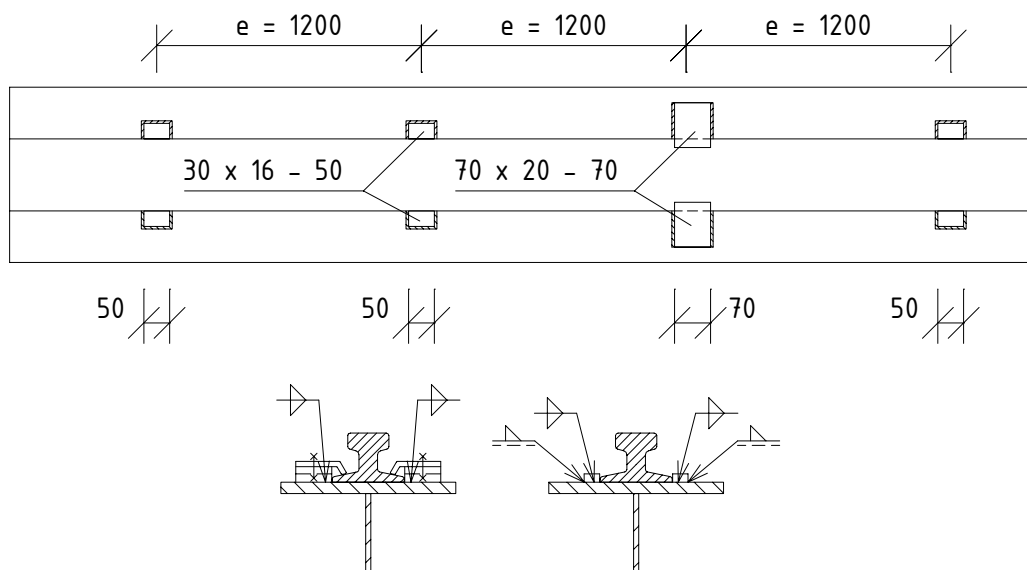
Rovnaké zvary (teda zvary účinnej výšky $a_w = 5 \text{ mm}$) použijeme aj na pripojenie dolnej pásnice. Podobne by sme navrhli aj prípoj vodorovného plechu k hornej pásnici. Tento návrh ako aj návrh ďalších zvarových prípojov nechávame na samoštúdiu študentov.

2.5.11 Uchytenie koľajnice

ALTERNATÍVNY NÁVRH 1

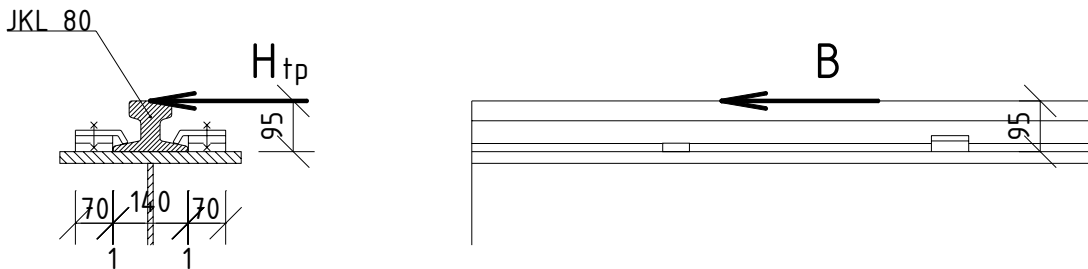
a) Návrh

Navrhované uchytenie je schematicky znázornené na obr. 2.33. Koľajnica je uchytená zarážkami vo vzdialenostiach $e = 1200 \text{ mm}$ (podľa [9]) pričom každú tretiu zarážku nahrádza príchytka. Zarážky majú s pôdorysným rozmerom $30 \times 50 \text{ mm}$ sú privarené z troch strán. Príchytky $70 \times 70 \text{ mm}$ sú privarené len po bokoch. Návrh zvarov: $a_w = 4 \text{ mm}$. Pri posúdení zvarov využijeme plastické rozdelenie napätí v zvaroch.



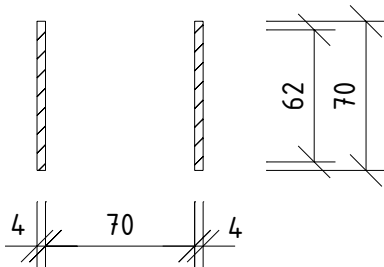
Obr. 2.33 Pripevnenie koľajnice – ALT. 1

Pôsobiská síl na ktoré je nutné príchytky (zarážky) nadimenzovať sú na obr. 2.34. Na prenose síl B sa podieľajú iba príchytky. Na prenose sily H_{tp} sa podieľa vždy záchytka alebo príchytka podľa toho, v ktorom mieste sa nachádza priečené koleso.



Obr. 2.34 Pôsobenie síl H_{tp} a B

b) Posúdenie zvarov príchytiek



Na dĺžke $a = 9 \text{ m}$ sa nachádza priemerne

$$n = 9 / 3,6 = 2,5 \text{ príchytiek}$$

Teda na zvarový prípoj každej z nich pripadnú od sily B napätia

Obr. 2.35 Zvar príchytky

$$\begin{aligned} \tau_{\perp, B} &= \frac{B_d}{2 \cdot n \cdot 2 \cdot (a_w \cdot l_w) \cdot \sqrt{2}} + \frac{B_d \cdot 0,095}{2 \cdot n \cdot 0,07 \cdot (a_w \cdot l_w) \cdot \sqrt{2}} = \\ &= \frac{27,83 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2,5 \cdot 2 \cdot (0,004 \cdot 0,062) \cdot \sqrt{2}} + \frac{27,83 \cdot 10^{-3} \cdot 0,095}{2 \cdot 2,5 \cdot 0,07 \cdot (0,004 \cdot 0,062) \cdot \sqrt{2}} = \\ &= 7,935 + 21,538 = 29,473 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\perp, B} = -\frac{B_d}{2 \cdot n \cdot 2 \cdot (a_w \cdot l_w) \cdot \sqrt{2}} + \frac{B_d \cdot 0,095}{2 \cdot n \cdot 0,07 \cdot (a_w \cdot l_w) \cdot \sqrt{2}} = -7,935 + 21,538 = 13,603 \text{ MPa}$$

Priečené koleso žerjavu vyvolá napätia v zvarovom prípoji jednej príchytky od momentu vyvolaného silou H_{tp}

$$\begin{aligned} \tau_{\perp, H_{tp}} = \sigma_{\perp, H_{tp}} &= \frac{H_{tp, d} \cdot 0,095}{(0,14 + 0,035) \cdot 2 \cdot (a_w \cdot l_w) \cdot \sqrt{2}} = \\ &= \frac{63,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,095}{(0,14 + 0,035) \cdot 2 \cdot (0,004 \cdot 0,062) \cdot \sqrt{2}} = 48,950 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Na opačnej strane sa päta koľajnice oprie o príchytku, potom vychádza napätie v zware druhej príchytky od priečnej sily H_{tp}

$$\tau_{\parallel, H_{tp}} = \frac{H_{tp,d}}{2 \cdot (a_w \cdot l_w)} = \frac{63,25 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (0,004 \cdot 0,062)} = 127,520 \text{ MPa}$$

Posúdenie príchytky na jednej strane päty koľajnice (dve krátkodobé zaťaženia)

$$\sigma_{\perp, B} + \sigma_{\perp, H_{tp}} = 0,9 \cdot (13,603 + 48,950) = 56,298 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360}{1,5} = 240 \text{ MPa}$$

... vyhovuje.

$$\sqrt{(\sigma_{\perp, B} + \sigma_{\perp, H_{tp}})^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp, B} + \tau_{\perp, H_{tp}})^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\sqrt{(0,9 \cdot (13,603 + 48,950))^2 + 3 \cdot (0,9 \cdot (29,473 + 48,950))^2} = 134,590 \text{ MPa}$$

$$134,590 \text{ MPa} < \frac{360}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

... vyhovuje.

Posúdenie príchytky na druhej strane päty koľajnice

$$\sigma_{\perp, B} = 13,603 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = 240 \text{ MPa}$$

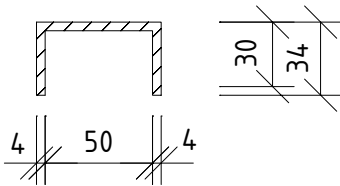
... vyhovuje.

$$\sqrt{(\sigma_{\perp, B})^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp, B})^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel, H_{tp}})^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$0,9 \cdot \sqrt{(13,603)^2 + 3 \cdot (29,473)^2 + 3 \cdot (127,520)^2} = 204,391 \text{ MPa} < 300 \text{ MPa}$$

... vyhovuje.

c) Posúdenie zvarov zarážiek



Obr. 2.36 Zvar zarážky

Zarážka sa podieľa iba na prenose sily H_{tp} . Za predpokladu plastického rozdelenia napätia predpokladáme, že únosnosť zvarového prípoja je daná súčtom únosností zvarov rovnobežných so silou H_{tp} a únosnosti zvaru kolmého na silu H_{tp} .

Únosnosť rovnobežných zvarov je potom

$$F_{w, Rd, \parallel} = 2 \cdot \frac{f_u \cdot a_w \cdot 0,03}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} = 2 \cdot \frac{360 \cdot 10^3 \cdot 0,004 \cdot 0,03}{0,8 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{3}} = 41,569 \text{ kN}$$

Únosnosť zvaru kolmého na pôsobiacu silu zistíme na základe napätia rovnobežného so smerom pôsobenia sily, teda

$$\sigma_w = \sqrt{2} \cdot \sigma_{\perp} = \sqrt{2} \cdot \tau_{\perp}$$

Z nasledovnej podmienky vyjadríme σ_w

$$\sqrt{(\sigma_{\perp})^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp})^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel})^2} = \sqrt{(\sigma_w / \sqrt{2})^2 + 3 \cdot (\sigma_w / \sqrt{2})^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\rightarrow \sigma_{w,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2}} = 212,132 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd,\perp} = \sigma_{w,Rd} \cdot a_w \cdot 0,05 = 212,132 \cdot 10^3 \cdot 0,004 \cdot 0,05 = 42,426 \text{ kN}$$

Posúdenie

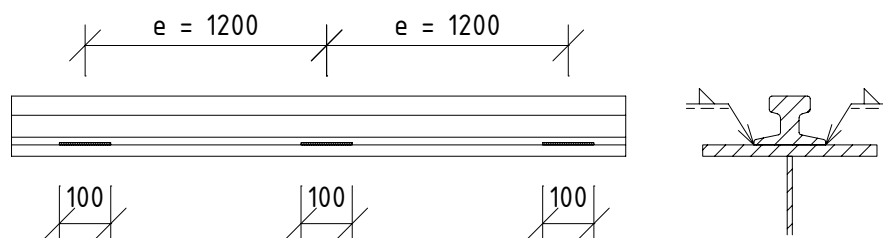
$$F_{w,Rd} = F_{w,Rd,\parallel} + F_{w,Rd,\perp} = 41,569 + 42,426 = 83,995 \text{ kN} > H_{tp,d} = 63,25 \text{ kN}$$

... zvar vyhovuje.

ALTERNATÍVNY NÁVRH 2

a) Návrh

Navrhované uchytenie je schematicky znázornené na obr. 2.37. Koľajnica je privarená po oboch stranách prerušovanými zvarmi dĺžky 100 mm a účinnej výšky $a_w = 4 \text{ mm}$. Zvary sú na každej strane prevedené vo vzdialenostiach $e = 1200 \text{ mm}$.



Obr. 2.37 Pripevnenie koľajnice – ALT. 2

b) Posúdenie zvarov

Na dĺžke $a = 9 \text{ m}$ sa nachádza na každej strane priemerne $n = 9000 / 1200 = 7,5$ zvarov. Teda v každom zvere dostávame od sily B napätia

$$\tau_{\perp,B} = \sigma_{\perp,B} = \frac{B_d \cdot 0,095}{2 \cdot n \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot a_w \cdot l_w^2\right) \cdot \sqrt{2}} = \frac{27,83 \cdot 10^{-3} \cdot 0,095}{2 \cdot 7,5 \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot 0,004 \cdot 0,092^2\right) \cdot \sqrt{2}} = 22,087 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,B} = \frac{B_d}{2 \cdot n \cdot (a_w \cdot l_w)} = \frac{27,83 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 7,5 \cdot (0,004 \cdot 0,092)} = 5,041 \text{ MPa}$$

Od priečenia žeriavu dostávame

$$\tau_{\perp, H_p} = \sigma_{\perp, H_p} = \frac{H_{ip,d} \cdot 0,095}{0,142 \cdot (a_w \cdot l_w) \cdot \sqrt{2}} = \frac{63,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,095}{0,142 \cdot (0,004 \cdot 0,092) \cdot \sqrt{2}} = 81,308 \text{ MPa}$$

Posúdenie zvaru potom vyjadríme (dve krátkodobé zaťaženia)

$$\sigma_{\perp, B} + \sigma_{\perp, H_p} = 0,9 \cdot (22,087 + 81,308) = 93,056 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360}{1,5} = 240 \text{ MPa}$$

... vyhovuje.

$$\sqrt{(\sigma_{\perp, B} + \sigma_{\perp, H_p})^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp, B} + \tau_{\perp, H_p})^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel, B})^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$0,9 \cdot \sqrt{(22,087 + 81,308)^2 + 3 \cdot (22,087 + 81,308)^2 + 3 \cdot (5,041)^2} = 167,684 \text{ MPa}$$

$$167,684 \text{ MPa} < \frac{360}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

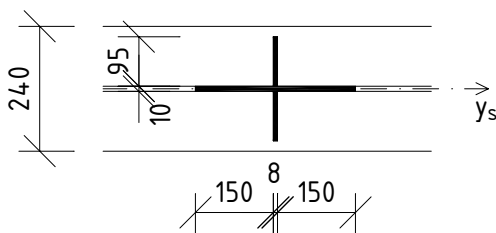
... vyhovuje.

Tento typ prípoja je jednoduchší na prevedenie. Jeho realizáciu však vystavujeme žeriavovú dráhu vyššiemu dynamickému namáhaniu a navyše, výmena poškodených alebo opotrebovaných koľajníc je oveľa náročnejšia, ako pri použití upevnenia koľajníc pomocou príchytiek a zarážok.

2.5.12 Priečne výstuhy zvislého nosníka

a) Vnútorne výstuhy

Účinný prierez je na obr. 2.38.



$$s_I = 15 \cdot t_w = 15 \cdot 10 = 150 \text{ mm}$$

$$b_s = 95 \text{ mm}$$

$$t_s = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{b_s}{t_s} = \frac{95}{8} = 11,875 < 15 \dots \text{ trieda 3}$$

Obr. 2.38 Vnútorne výstuhy

aa) overenie výstuhy na tuhosť

Potrebná tuhosť výstuh

$$I_{s,y} \geq 0,1 \cdot d \cdot t_w^3 \cdot \gamma_s \cdot \kappa_s = 0,1 \cdot 0,86 \cdot 0,01^3 \cdot 1,5333 \cdot 6,0 = 791,183 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$\text{kde } \frac{d}{t_w} = \frac{860}{10} = 86 \Rightarrow \gamma_s = 1,5333$$

$$\frac{a}{d} = \frac{1000}{860} = 1,1628 \Rightarrow \kappa_s = 6,0$$

Skutočný moment zotrvačnosti výstuh

$$I_{s,y} = \frac{1}{12} \cdot 0,008 \cdot (2 \cdot 0,095 + 0,01)^3 + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 0,15 \cdot 0,01^3 =$$

$$I_{s,y} = 5335,833 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 \gg 791,183 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 \quad \dots \text{vyhovuje.}$$

ab) posúdenie pevnosti

Výstuha musí preniesť

- 1) $F_{Sd} = V_{1,\max,d}^{\delta} = 364,32 \text{ kN}$
- 2) $N_{Sd} = V_{Sd,x} - V_{b,m,Rd}$

z odseku 2.5.4 vyplynulo, že

$$V_{b,m,Rd} = V_{b,pl,Rd} = \frac{A_w \cdot \tau_{yw}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,0086 \cdot 235 \cdot 10^3 / \sqrt{3}}{1,1} = 1060,75 \text{ kN}$$

Pretože $V_{sd,\max} = 568,363 \text{ kN}$, obdržíme $N_{Sd} = V_{Sd,x} - V_{s,m,Rd} < 0$. Výstuha teda musí preniesť koncentrované bremeno F_{Sd} . Jej vzperná dĺžka sa berie

$$L_{cr} \cong 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 0,86 = 0,645 \text{ m}$$

Prierezové charakteristiky výstuhy sú

$$A_s = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I_{y,s} = 5,3358 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_s = 0,03406 \text{ m}$$

Štíhlosť výstuhy je

$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i_s} = \frac{0,645}{0,03406} = 18,94$$

Pomerná štíhlosť

$$\overline{\lambda}_{cr} = \frac{\lambda_{cr}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{18,94}{93,9} \cdot \sqrt{1,0} = 0,2017 \rightarrow \chi = 1,0$$

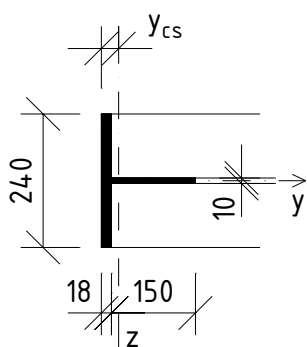
Overenie

$$F_{Sd} < N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

$$364,32 \text{ kN} < 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3 / 1,1 = 982,72 \text{ kN}$$

Návrh medziľahlých výstuh 8 x 95 po oboch stranách steny vo vzdialenostiach 1 m vyhovuje.

b) Podperové výstuhy



Obr. 2.39 Podperová výstuha

Návrh výstuhy je na obr. 2.39.

$$s_l = 15 \cdot t_w = 15 \cdot 10 = 150 \text{ mm}$$

$$b_s = 115 \text{ mm}$$

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

$$\frac{b_s}{t_s} = \frac{115}{18} = 6,39 < 9 \quad \dots \text{ trieda 1}$$

$$\text{avšak } \frac{s_l}{t_w} = \frac{150}{10} = 15 = 15 \quad \dots \text{ trieda 3}$$

$$\begin{aligned} \text{Prierezové charakteristiky výstuhy } A_s &= 5,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 & i_s &= 0,0597 \text{ m} \\ I_{y,s} &= 20,749 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 & W_{z,s} &= 78,524 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ba) *overenie výstuhy na tuhosť*

$$I_{s,y} = 20,749 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \gg 0,1 \cdot d \cdot t_w^3 \cdot \gamma_s \cdot \kappa_s = 0,791183 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad \dots \text{ vyhovuje.}$$

bb) *overenie na pevnosť*

Krajná podperová výstuha by mala bezpečne preniešť osamelé bremeno, v našom prípade reakciu

$$F_{sd} = R = V_{sd} = 568,363 \text{ kN}$$

Súčasne musí preniešť ohybový moment v rovine steny, ktorý vzniká po vytvorení ťahových polí v krajnom poli steny.

$$M_{sd} = \frac{A_w \cdot (\tau - \tau_m) \cdot d}{10 \cdot (\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha)} = \frac{0,0086 \cdot (66,089 - 123,343) \cdot 10^3 \cdot 0,86}{10 \cdot (\sqrt{1 + 1,163^2} - 1,163)} = -114,197 \text{ kNm}$$

$$\text{kde } \tau = \frac{V_{sd}}{A_w} = \frac{568,363 \cdot 10^{-3}}{0,86 \cdot 0,01} = 66,089 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = \frac{f_{yw} \cdot \rho_{vm}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{235 \cdot 1,0}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 123,343 \text{ MPa}$$

$$\rho_{v,m} = 1,0 \quad \text{pozri kapitolu 2.5.4}$$

Keďže $M_{sd} < 1,0$, neuvažujeme ho vo výpočte a posudzujeme výstuhu na účinky tlakovej sily F_{sd} pôsobiacej voči ťažisku na excentricite $y_{cs} = 21,65 \text{ mm}$.

$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i_s} = \frac{0,645}{0,0597} = 10,80$$

$$\overline{\lambda}_{cr} = \frac{\lambda_{cr}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{10,80}{93,9} \cdot \sqrt{1,0} = 0,1150 \rightarrow \chi = 1,0$$

Posúdenie môžeme vykonať približne ako

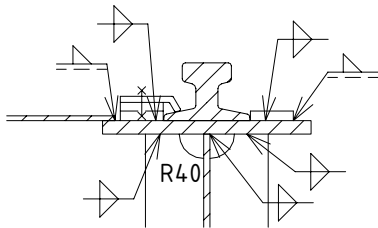
$$\begin{aligned} \frac{F_{Sd}}{\chi \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{F_{Sd} \cdot y_{cs}}{W_{z,s} \cdot f_{yd}} &= \frac{568,363 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 5,82 \cdot 10^{-3} \cdot 213,636} + \frac{568,363 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02165}{78,524 \cdot 10^{-3} \cdot 213,636} \\ &= 0,457 + 0,001 = 0,458 < 1,0 \quad \dots \text{podperová výstuha vyhovuje.} \end{aligned}$$

2.5.13 Overenie nosníka žeriavovej dráhy na únavu

a) Konštrukčné detaily na hornej pásnici

Posúdenie na únavu prevedieme podľa STN 73 1401 [3], pričom kategórie detailov určujeme na základe prílohy L v STN P ENV 1993-2 [8]. Konštrukčné detaily, rozhodujúce pri posúdení na únavu hornej pásnice, vyznačujeme na obr. 2.40.

Na hornej pásnici môžeme do najnižšej a najnepriaznivejšej kategórie zaradiť *detail privarenia príchytok a zarážok koľajnice*, ktorý má podľa STN 73 1401 [3] $KD 71$; $m = 3$.



Potom z tabuľky 28 v [3] získame

$$\Delta \sigma_C = 71 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_D = 52 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_M \text{ neobmedzené}$$

Obr. 2.40 Únavové detaily - hore

Ak pomerné vyťaženie žeriavu počas životnosti zohľadňujeme 60%, potom rozkmit napätia v hornej pásnici približne zistíme ako

$$\Delta \sigma = 60\% \cdot \frac{M_{V,\max}}{\gamma_F \cdot W_{y,el,1}} = 0,6 \cdot \frac{922,20 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 7,10055 \cdot 10^{-3}} = 64,94 \text{ MPa}$$

- parciálny súčiniteľ spoľahlivosti únavového zaťaženia $\gamma_{Ff} = 1,00$
- parciálny súčiniteľ spoľahlivosti únavovej pevnosti $\gamma_{Mf} = 1,15$
- pre hrúbku materiálov $t < 25$ mm je súčiniteľ vplyvu hrúbky $\varphi_t = 1,00$
- súčiniteľ nesúmernosti kmitov je pre pulzujúci tlak $\varphi_r = 1,67$

$$\varphi = \frac{\varphi_r \cdot \varphi_t}{\gamma_{Mf}} = \frac{1,67 \cdot 1,0}{1,15} = 1,452$$

Overenie podľa článku 8.7.1.2 v STN 731401 [3]

$$\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff} = 64,94 \cdot 1,0 = 64,94 \text{ MPa} < \Delta \sigma_D \cdot \varphi = 52 \cdot 1,452 = 75,50 \text{ MPa}$$

Únavové poškodenie by počas životnosti nemalo nastať, detail preto vyhovuje.

Prechod medzi hornou pásnicou a stenou je potrebné posúdiť pre kategóriu detailu KD 36 na účinky zvislých kolesových síl, podľa STN P ENV 1993-6 [7]. Privarenie kútovými zvarmi má podľa tab. 9.1 v [7]

$$\Delta \sigma_C = 36 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_D = 27 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_M \text{ neobmedzené}$$

Zvislé napätie od kolesovej sily určíme analogicky s kap. 2.5.4. Teda

$$\Delta \sigma = 60\% \cdot \frac{V_{1,\max,k} \cdot \delta}{s_y \cdot t_w} = 0,6 \cdot \frac{253 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2}{0,2189 \cdot 0,01} = 83,216 \text{ MPa}$$

Predpokladaný počet kmitov za životnosť je podľa prevádzkovateľa $n = 6 \cdot 10^5$ cyklov.

Za podmienky

$$\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff} = 83,216 \cdot 1,0 = 83,216 \text{ MPa} > \Delta \sigma_D \cdot \varphi = 27 \cdot 1,452 = 39,204 \text{ MPa}$$

a zároveň platí

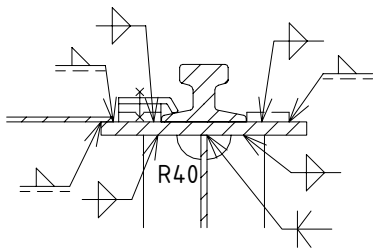
$$\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff} = 83,216 \text{ MPa} < \Delta \sigma_M \cdot \varphi = \text{neobmedzene}$$

je posúdenie dané tvare

$$N = 2 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{\Delta \sigma_C \cdot \varphi}{\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff}} \right]^3 = 2 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{36 \cdot 1,452}{83,216 \cdot 1,0} \right]^3 = 4,96 \cdot 10^5$$

$$N = 4,96 \cdot 10^5 < n = 6 \cdot 10^5 \text{ [cykly]} \quad \dots \text{ nevyhovuje}$$

Navrhne teda prípoj pásnice a steny pomocou tupého K zvaru, obr. 2.41.



$$\Delta \sigma_C = 71 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_D = 52 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_M \text{ neobmedzené}$$

Obr. 2.41 Nový prípoj hornej pásnice

Nakoľko platí

$$\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff} = 83,216 \cdot 1,0 = 83,216 \text{ MPa} > \Delta \sigma_D \cdot \varphi = 52 \cdot 1,452 = 75,504 \text{ MPa}$$

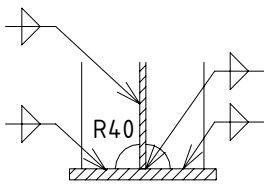
je posúdenie dané tvare

$$N = 2 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{\Delta \sigma_C \cdot \varphi}{\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff}} \right]^3 = 2 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{71 \cdot 1,452}{83,216 \cdot 1,0} \right]^3 = 3,80 \cdot 10^6$$

$$N = 3,80 \cdot 10^6 > n = 6 \cdot 10^5 \text{ [cykly]} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

b) Konštrukčné detaily pri spodnej pásnici

Ako ukazuje obrázok 2.42, priečne výstuhy sú privarené na stenu i na dolnú pásnicu *obojstranným kútovým zvarom* (ovarenie okolo obvodu neuvažujeme), čo odpovedá *KD 71*; $m = 3$.



Z tabuľky 28 v [3]

$$\Delta \sigma_C = 71 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_D = 52 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_M \text{ neobmedzené}$$

Obr. 2.42 Únavové detaily - dole

Rozkmit napätia v ťahu je

$$\Delta \sigma = 60\% \cdot \frac{M_{V,\max}}{\gamma_F \cdot I_y} \cdot z_{w2} = 0,6 \cdot \frac{922,20 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 2,72136 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,49874 = 84,51 \text{ MPa}$$

Pre pulzujúci ťah je súčiniteľ nesúmernosti kmitov $\varphi_r = 1,0$, teda

$$\varphi = \frac{\varphi_r \cdot \varphi_t}{\gamma_{M,f}} = \frac{1,0 \cdot 1,0}{1,15} = 0,8696$$

Predpokladaný počet kmitov za životnosť je podľa prevádzkovateľa $n = 6 \cdot 10^5$ cyklov.

Za podmienok

$$\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff} = 84,51 \cdot 1,0 = 84,51 \text{ MPa} > \Delta \sigma_D \cdot \varphi = 52 \cdot 0,8696 = 51,31 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff} = 84,51 \text{ MPa} < \Delta \sigma_M \cdot \varphi = \text{neobmedzene}$$

je posúdenie dané tvare

$$N = 2 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{\Delta \sigma_C \cdot \varphi}{\Delta \sigma \cdot \gamma_{Ff}} \right]^3 = 2 \cdot 10^6 \cdot \left[\frac{71 \cdot 0,8696}{84,51 \cdot 1,0} \right]^3 = 7,799 \cdot 10^5$$

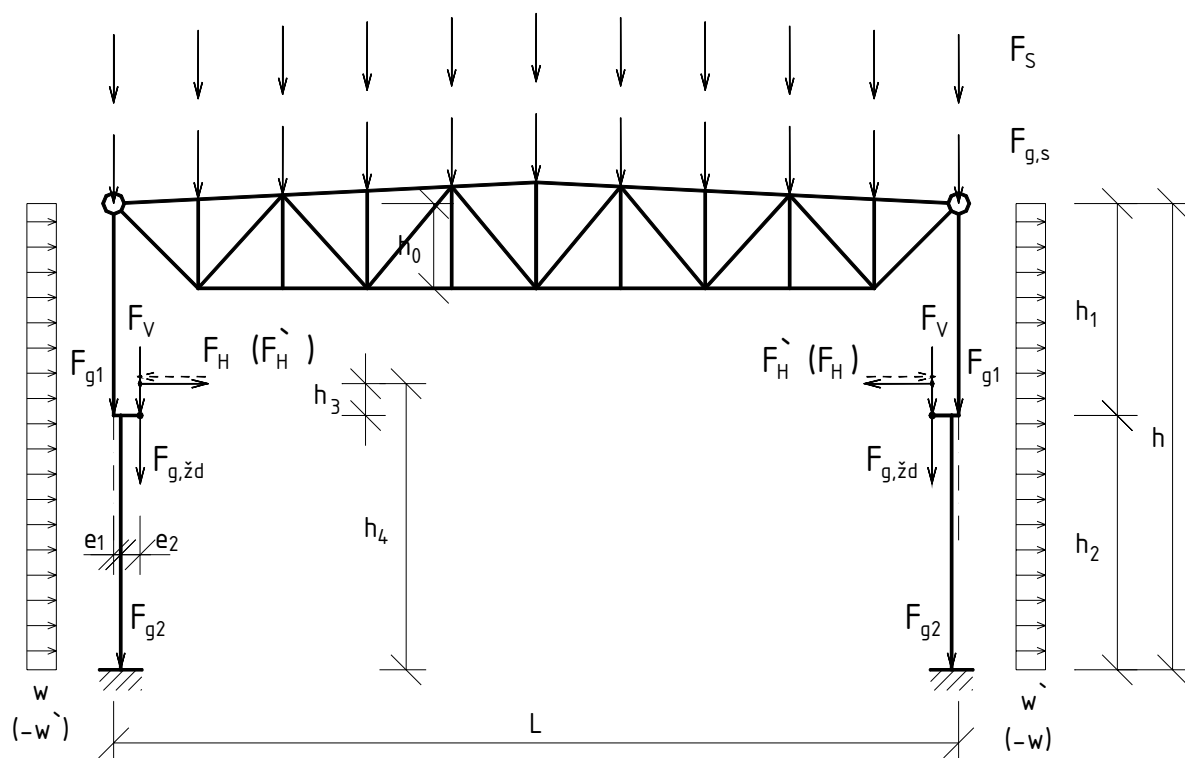
$$N = 7,799 \cdot 10^5 > n = 6 \cdot 10^5 \text{ [cykly]}$$

Nosník žeriavovej dráhy vyhovuje na únavové zaťaženie.

2.6 PRIEČNA VÄZBA - NÁVRH STĽPOV

Stĺpy navrhujeme ako plnostenné zvarané prierezy. V rovine priečnej väzby votknuté do základov. Na horné konce oboch stĺpov sa v priečnej väzbe kĺbovo pripája priehradový väzník. Za predpokladu, že väzník považujeme za tuhú rámovú priečľu, je možné priečnu väzbu riešiť ako 1 x staticky neurčitú konštrukciu. Navrhujeme iba stĺp, ktorý nie je súčasťou krajnej väzby ani priečného stuženia haly. So spolupôsobením priečných väzieb pri bežnom výpočte neuvažujeme, čo je na strane bezpečnej. Zaťaženie priečnej väzby je schematicky znázornené na obr. 2.43, pričom jednotlivé rozmery na obrázku sú

$L = 24 \text{ m}$	$h = 13,2 \text{ m}$	$h_3 = 0,9 \text{ m}$
$e_1 = 200 \text{ mm}$	$h_1 = 6,0 \text{ m}$	$h_4 = 8,1 \text{ m}$
$e_2 = 550 \text{ mm}$	$h_2 = 7,2 \text{ m}$	$h_0 = 2,4 \text{ m}$



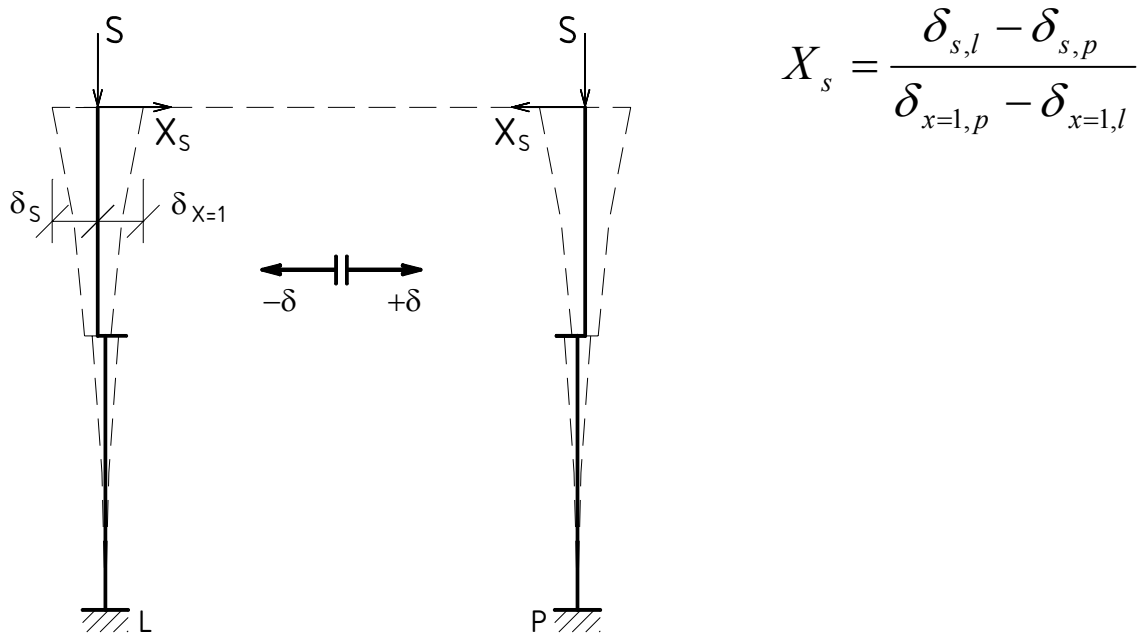
Obr. 2.43 Zaťaženie priečnej väzby

Takúto staticky neurčitú konštrukciu je najefektívnejšie riešiť niektorým z bežne dostupných výpočtových programov na výpočet stavebných konštrukcií.

Dalej je ale ukázaný približný výpočet naznačenej priečnej väzby. Ak predpokladáme, že väzník pôsobí ako tiahlo (vzperadlo), jedná sa o jeden krát staticky neurčitú konštrukciu. Základnú schému výpočtu 1 x staticky neurčitej priečnej väzby ukazuje obr. 2.44.

Najprv stanovíme staticky neurčitú silu vo väzníku pre každý zaťažovací stav. Vychádza sa pritom z deformačnej podmienky vyjadrujúcej fakt, že v prípade zanedbateľnej dĺžkovej deformácie väzníka, je vodorovný posun vrcholu ľavého a pravého stĺpa rovnaký.

Potom nasleduje výpočet vnútorných síl v konzolovom stĺpe, ktorý je zaťažovaný príslušným zaťažením a staticky neurčitou silou vo vrchole.



$$X_s = \frac{\delta_{s,l} - \delta_{s,p}}{\delta_{x=1,p} - \delta_{x=1,l}}$$

Obr. 2.44 Princíp výpočtu priečnej väzby

2.6.1 Zaťaženie

a) Stále zaťaženie

aa) Tiaž strechy

Sústredíme ju do dvoch síl v hlave stĺpov. Ak uvažujeme priťaženie konštrukcie vlastnou tiažou, berieme súčiniteľ zaťaženia $\gamma_F = 1,1$. Keď uvažujeme jej priaznivý vplyv, potom $\gamma_F = 0,9$.

$$F_{gs,k} = (4,5 + 0,6) \cdot (q_{k,väznice} \cdot a + g_{VL,väznika} \cdot a \cdot b) = 5,1 \cdot (1,414 \cdot 9 + 0,141 \cdot 9 \cdot 2,4) = 80,437 \text{ kN}$$

$$F_{gs,d,min} = F_{gs,k} \cdot 0,9 = 80,437 \cdot 0,9 = 72,395 \text{ kN}$$

$$F_{gs,d,max} = 5,1 \cdot (g_{d,väznice} + 1,1 \cdot g_{VL,väznika} \cdot a \cdot b) = 5,1 \cdot (1,625 \cdot 9 + 1,1 \cdot 0,141 \cdot 9 \cdot 2,4) = 91,673 \text{ kN}$$

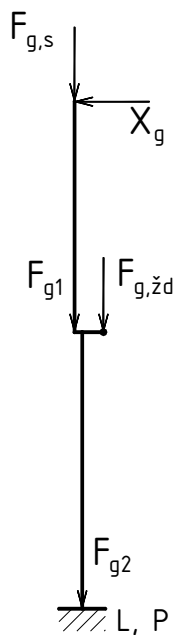
ab) Tiaž žeriavovej dráhy

Akcia od priľahlých žeriavových dráh k stĺpu

$$F_{gž,k} = g_{k,ž} \cdot a = 3,799 \cdot 9 = 34,191 \text{ kN}$$

Jej návrhová hodnota

$$F_{gž,d,max} = 1,1 \cdot F_{gž,k} = 1,1 \cdot 34,191 = 37,610 \text{ kN}$$



Obr. 2.45 Zaťaženie stále

V prípade priaznivého účinku berieme iba

$$F_{gž,d,min} = 0,9 \cdot F_{gž,k} = 0,9 \cdot 34,191 = 30,772 \text{ kN}$$

ac) *Vlastná tiaž stĺpa*

Hornú časť predpokladáme o hmotnosti $g = 1,1 \text{ kNm}^{-1}$. Jej výsledná tiaž

$$F_{g1,k} = g_1 \cdot h_1 = 1,1 \cdot 6 = 6,6 \text{ kN}$$

$$\text{- pri priťžení} \quad F_{g1,d,max} = 6,6 \cdot 1,1 = 7,26 \text{ kN}$$

$$\text{- pri odľahčení} \quad F_{g1,d,min} = 6,6 \cdot 0,9 = 5,94 \text{ kN}$$

Dolná časť väčšieho prierezu má tiaž na bm hodnotu $g = 2,2 \text{ kNm}^{-1}$. Výsledná sila je

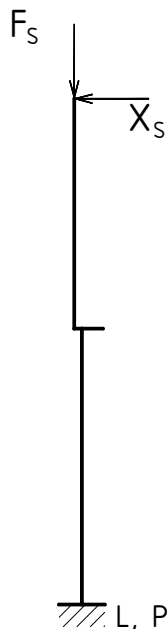
$$F_{g2,k} = g_2 \cdot h_2 = 2,2 \cdot 7,2 = 15,84 \text{ kN}$$

$$\text{- pri priťžení} \quad F_{g2,d,max} = 15,84 \cdot 1,1 = 17,42 \text{ kN}$$

$$\text{- priaznivý efekt} \quad F_{g2,d,min} = 15,84 \cdot 0,9 = 14,26 \text{ kN}$$

b) Krátkodobé náhodilé zaťaženie

ba) *sneh*



Bremeno nahrádzajúce sneh z polovice haly je

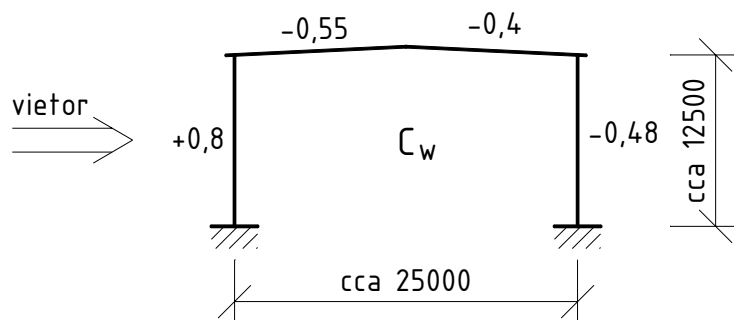
$$F_s = (5 + 0,1) \cdot b \cdot a \cdot s_d = 5,1 \cdot 2,4 \cdot 9 \cdot 1,68 \\ = 185,069 \text{ kN}$$

Obr. 2.46 Zaťaženie snehom

bb) vietor

Budeme uvažovať iba priečny vietor (zľava alebo sprava), keďže pozdĺžny vietor je nepodstatný pre návrh priečných väzieb, neobsahujúcich vetrové stuženie. Inak je tomu samozrejme pri určovaní pozdĺžneho pôsobenia haly i stužení.

Z STN 73 0035 [2] odčítame tvarové súčinitele pre zaťaženie tlakom vetra. Uvedené sú na obr. 2.47.



Zaťaženie vetrom podľa [2]

$$w_k = w_0 \cdot \kappa_w \cdot c_w$$

$$w_d = \gamma_{Fw} \cdot w_k$$

kde základný tlak vetra

$$w_0 = 0,45 \text{ kNm}^{-1}$$

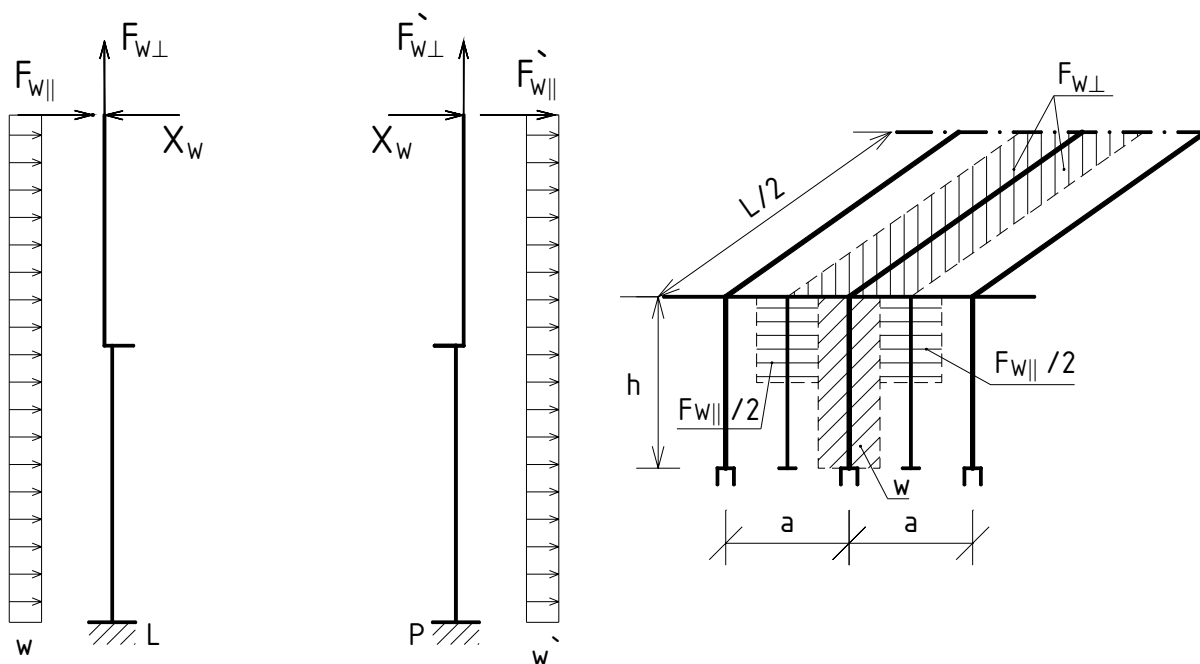
súčiniteľ výšky nad terénom

$$\chi_w = 1,03$$

súčiniteľ zaťaženia

$$\gamma_{Fw} = 1,3$$

Obr. 2.47 Tvarové súčinitele



Obr. 2.48 Zaťaženie vetrom

Obrázok obr. 2.48 znázorňuje približný výpočet pôsobenia vetra zľava. Samozrejme možný je aj prípad vetra sprava. Vietor je prenášaný plášťom haly do hlavných stĺpov priečnej väzby a do medzistĺpikov. Stĺp priečnej väzby tak preberá rovnomerné zaťaženie zo šírky $a / 2$ a silu $F_{w||}$, ako akciu pozdĺžneho odkvapového stužidla, ktoré na hornom konci podopiera medzistĺpik. K týmto účinkom pristupuje ešte sanie vetra na strešný plášť. Jeho výslednicou sú bremená vo vrchole stĺpov. Rovnomerné zaťaženia na stĺp priečnej väzby

$$w = \gamma_F \cdot w_0 \cdot \chi_w \cdot c_w \cdot \frac{a}{2} = 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1,03 \cdot 0,8 \cdot 4,5 = 2,169 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w' = \gamma_F \cdot w_0 \cdot \chi_w \cdot c_w \cdot \frac{a}{2} = 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1,03 \cdot (-0,48) \cdot 4,5 = -1,301 \text{ kNm}^{-1}$$

Akcie medzistĺpikov

$$F_{wII} = \gamma_F \cdot w_0 \cdot \chi_w \cdot c_w \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{h}{2} = 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1,03 \cdot 0,8 \cdot \frac{9}{2} \cdot \frac{13,2}{2} = 14,317 \text{ kN}$$

$$F'_{wII} = \gamma_F \cdot w_0 \cdot \chi_w \cdot c_w \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{h}{2} = 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1,03 \cdot (-0,48) \cdot \frac{9}{2} \cdot \frac{13,2}{2} = -8,590 \text{ kN}$$

Výsledné sily od sania na krytine strechy

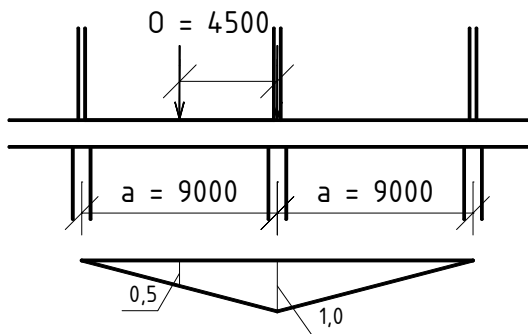
$$F_{w\perp} = \gamma_F \cdot w_0 \cdot \chi_w \cdot c_w \cdot a \cdot \frac{L}{2} = 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1,03 \cdot (-0,55) \cdot 9 \cdot 12 = -35,794 \text{ kN}$$

$$F'_{w\perp} = 1,3 \cdot 0,45 \cdot 1,03 \cdot c_w \cdot a \cdot \frac{L}{2} = 0,60255 \cdot (-0,40) \cdot 9 \cdot 12 = -26,032 \text{ kN}$$

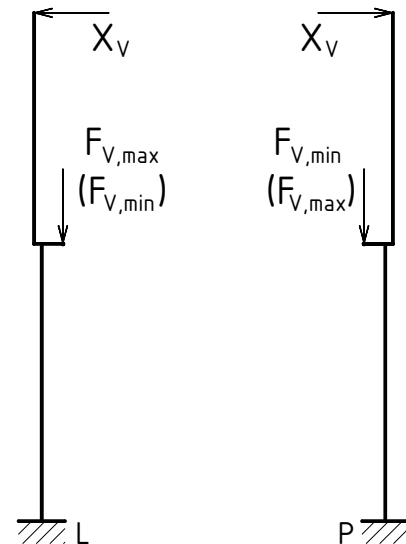
c) Zaťaženie žeriavom

ca) zvislé účinky

Maximálne účinky na stĺpy priečnej väzby od kolesových síl získame, ak je žeriav umiestnený podľa obr. 2.49.



Obr. 2.49 Postavenie žeriavu vyvolávajúce maximálne priťaženie stĺpa



Obr. 2.50 Zvislé zaťaženie žeriavom

Dynamické účinky na podpory žeriavovej dráhy je možné vyjadriť súčiniteľom $\delta = 1,05$ [2]. Zvislé reakcie, pôsobiace na stĺp, potom budú

$$F_{V,d,max} = V_{l,max,d} \cdot \delta \cdot (1 + 0,5) = 303,6 \cdot 1,05 \cdot 1,5 = 478,17 \text{ kN}$$

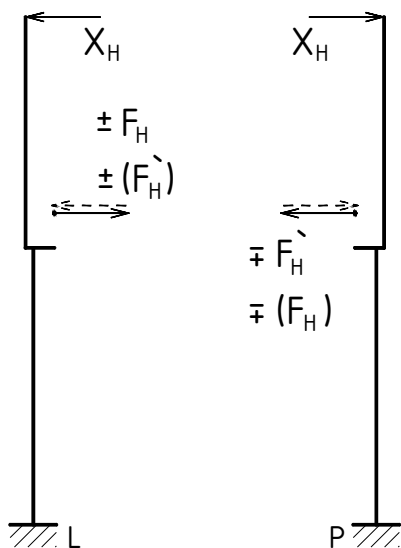
$$F_{V,d,min} = V_{l,min,d} \cdot \delta \cdot (1 + 0,5) = 90 \cdot 1,05 \cdot 1,5 = 141,75 \text{ kN}$$

cb) vodorovné účinky žeriavu

Pri návrhu vodorovného nosníka žeriavovej dráhy sme konštatovali, že maximálne sily v stĺpe vzniknú od síl H_{lp} . Ostatné vodorovné účinky žeriavu nebudeme preto pri priečnej väzbe uvažovať. Pre postavenie žeriavu, vyvodzujúce extrémne zvislé reakcie (obr. 2.50) zistíme aj najväčšie horizontálne sily.

$$F_H = H_{lp,d} \cdot 1,0 = 69,575 \cdot 1,0 = 69,575 \text{ kN}$$

$$F'_H = H_{lp,d} \cdot 0,5 = 69,575 \cdot 0,5 = 34,788 \text{ kN}$$



Väčšia z týchto horizontálnych reakcií pôsobí priamo na stĺp. Na opačnej strane priečnej väzby je vzpričené koleso vzdialené od stĺpa o rázvor žeriavu O a v tomto mieste pôsobí druhá sila F'_H . Sily pôsobia na stĺpy podľa obr. 2.51.

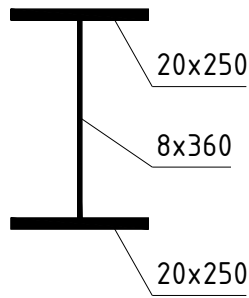
Obr. 2.51 Horizontálne účinky

2.6.2 Výpočet staticky neurčitých síl (X) v priečnej väzbe

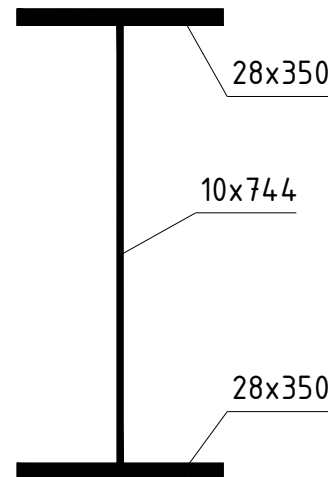
a) Základné vzťahy

Ukážeme obvyklý výpočet staticky neurčitých síl aplikáciou silovej metódy. Pre deformácie základnej sústavy od jednotlivých zaťažení pritom využijeme vzorce prehľadne uvedené v tabuľke 2.4 (znamienková konvencia je na obr. 2.44).

Ako je známe staticky neurčité sily sú funkciou priereзов stĺpov. Ich výšky už poznáme z dispozície a treba preto odhadnúť hodnoty momentov zotrvačnosti obidvoch častí stĺpa v rovine väzby. Zvyčajne býva pomer I_2 / I_1 medzi 7 až 20. Navrhujeme prierezy dimenzií vyznačených na obrázkoch.



Obr. 2.52 Predpokladaný prierez hornej časti stĺpa; $I_1 = 3,924374 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$



Obr. 2.53 Odhadnutý prierez dolnej časti stĺpa; $I_2 = 3,264795 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

Potrebný parameter k potom je

$$k = \frac{I_2}{I_1} - 1 = \frac{3,264795 \cdot 10^{-3}}{3,924374 \cdot 10^{-4}} - 1 = 8,319 - 1 = 7,319$$

Súčinitele α v tabuľke 2.4 nadobúdajú hodnoty

$$\alpha_1 = h_1 / h = 6 / 13,2 = 0,4545$$

$$\alpha_2 = h_2 / h = 7,2 / 13,2 = 0,5455$$

$$\alpha_3 = h_3 / h = 0,9 / 13,2 = 0,0682$$

$$\alpha_4 = h_4 / h = 8,1 / 13,2 = 0,6136$$

Výpočet deformácií stĺpa od staticky neurčitej jednotkovej sily $X = 1$ (pri kladnom premiestnení v smere doprava - obr. 2.44)

- priehyb vrcholu ľavého stĺpa od $X = 1$

$$EI_2 \cdot \delta_{L,1} = -1 \cdot \frac{13,2^3}{3} \cdot (1 + 7,319 \cdot 0,4545^3) = -1293,466 \text{ m}^3$$

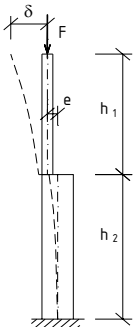
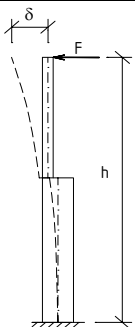
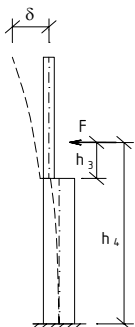
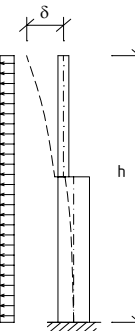
- na pravom stĺpe zhodného prierezu máme

$$EI_2 \cdot \delta_{P,1} = +1293,466 \text{ m}^3$$

V menovateli vzorca na výpočte staticky neurčitých síl pri obrázku 2.44 potom obdržíme sumu

$$\delta_{P,1} - \delta_{L,1} = 1293,466 - (-1293,466) = 2586,932 \text{ m}^3$$

Tabuľka 2.4 Vzorce na výpočet deformácií stĺpov s odstupňovaným prierezom

	$\delta = -(F \cdot e) \cdot h^2 \cdot \alpha_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2}\right) \cdot \frac{1}{EI_2}$
	$\delta = -F \cdot \frac{h^3}{3} \cdot (1 + k \cdot \alpha_1^3) \cdot \frac{1}{EI_2}$
	$\delta = -F \cdot \frac{h^3}{6} \cdot \left[\alpha_4^2 \cdot (3 - \alpha_4) + 3 \cdot k \cdot \alpha_3^2 \cdot \left(1 - \alpha_4 + \frac{2}{3} \cdot \alpha_3\right) \right] \cdot \frac{1}{EI_2}$
	$\delta = -w \cdot \frac{h^4}{8} \cdot (1 + k \cdot \alpha_1^4) \cdot \frac{1}{EI_2}$
<p>Kde I_1 moment zotrvačnosti hornej časti stĺpa výšky h_1 I_2 moment zotrvačnosti dolnej časti stĺpa výšky h_2</p> $k = \frac{I_2}{I_1} - 1$ $\alpha_1 = \frac{h_1}{h}; \quad \alpha_2 = \frac{h_2}{h}; \quad \alpha_3 = \frac{h_3}{h}; \quad \alpha_4 = \frac{h_4}{h}$	

b) Stále zaťaženie

ba) *maximálna veľkosť stálych zaťažení vyvodí deformáciu*

$$\begin{aligned} EI_2 \cdot \delta_{L,g,\max} &= -EI_2 \cdot \delta_{P,g,\max} = -\left[(F_{gs,\max} + F_{g1,\max}) \cdot e_1 + F_{gž,\max} \cdot e_2 \right] \cdot h^2 \cdot \alpha_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2} \right) = \\ &= -\left[(91,673 + 7,26) \cdot 0,2 - 37,610 \cdot 0,55 \right] \cdot 13,2^2 \cdot 0,5455 \cdot \left(1 - \frac{0,5455}{2} \right) = 62,135 \text{ kNm}^3 \end{aligned}$$

Príslušná staticky neurčitá sila vo vrchole stĺpa

$$X_{g,\max} = \frac{62,135 - (-62,135)}{2586,932} = 0,048 \text{ kN} \quad (\text{tlak vo väzníku})$$

Vplyvom vlastnej tiaže vo väzníku teda vzniká tlak.

bb) *minimálna hodnota stálych zaťažení produkuje*

$$\begin{aligned} EI_2 \cdot \delta_{L,g,\min} &= -EI_2 \cdot \delta_{P,g,\max} = \\ &= -\left[(72,392 + 5,94) \cdot 0,2 - 30,772 \cdot 0,55 \right] \cdot 13,2^2 \cdot 0,5455 \cdot \left(1 - \frac{0,5455}{2} \right) = 86,971 \text{ kNm}^3 \end{aligned}$$

Staticky neurčitá sila plynie z deformačnej podmienky

$$X_{g,\min} = \frac{86,971 - (-86,971)}{2586,932} = 0,067 \text{ kN} \quad (\text{tlak})$$

c) Zaťaženie snehom spôsobí premiestnenie stĺpa

$$\begin{aligned} EI_2 \cdot \delta_{L,s} &= -EI_2 \cdot \delta_{P,s} = -F_s \cdot e_1 \cdot h^2 \cdot \alpha_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2} \right) = \\ &= -185,069 \cdot 0,2 \cdot 13,2^2 \cdot 0,5455 \cdot \left(1 - \frac{0,5455}{2} \right) = -2558,527 \text{ kNm}^3 \end{aligned}$$

Korešpondujúca sila od rámového účinku

$$X_s = \frac{-2558,527 - 2558,527}{2586,932} = -1,978 \text{ kN} \quad (\text{ťah vo väzníku})$$

Okrem osových síl od primárneho uzlového zaťaženia snehom, vo väzníku vzniká ešte prídavná ťahová sila X_s . Túto silu preberajú pásové prúty.

d) Zaťaženie priečnym vetrom, pôsobiacim na halu „zľava“

- premiestnenie stĺpa na náveternej strane

$$\begin{aligned} EI_2 \cdot \delta_{L,w} &= w \cdot \frac{h^4}{8} \cdot (1 + k \cdot \alpha_1^4) + F_{wII} \cdot \frac{h^3}{3} \cdot (1 + k \cdot \alpha_1^3) + F_{w\perp} \cdot e_1 \cdot h^2 \cdot \alpha_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2}\right) = \\ &= 2,169 \cdot \frac{13,2^4}{8} \cdot (1 + 7,319 \cdot 0,4545^4) + 14,317 \cdot \frac{13,2^3}{3} \cdot (1 + 7,319 \cdot 0,4545^3) + \\ &+ 35,794 \cdot 0,2 \cdot 13,2^2 \cdot 0,5455 \cdot \left(1 - \frac{0,5455}{2}\right) = 29815,341 \text{ kNm}^3 \end{aligned}$$

- stĺp na záveternej strane haly vykazuje deformáciu

$$\begin{aligned} EI_2 \cdot \delta_{P,w} &= w \cdot \frac{h^4}{8} \cdot (1 + k \cdot \alpha_1^4) + F_{wII} \cdot \frac{h^3}{3} \cdot (1 + k \cdot \alpha_1^3) - F_{w\perp} \cdot e_1 \cdot h^2 \cdot \alpha_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2}\right) = \\ &= 1,301 \cdot \frac{13,2^4}{8} \cdot (1 + 7,319 \cdot 0,4545^4) + 8,590 \cdot \frac{13,2^3}{3} \cdot (1 + 7,319 \cdot 0,4545^3) - \\ &- 26,032 \cdot 0,2 \cdot 13,2^2 \cdot 0,5455 \cdot \left(1 - \frac{0,5455}{2}\right) = 17230,164 \text{ kNm}^3 \end{aligned}$$

Statically neurčitá sila od priečného vetra potom bude

$$X_w = \frac{29815,341 - 17230,164}{2586,932} = 4,865 \text{ kN} \quad (\text{tlak})$$

e) Zvislé účinky žeriavu

- premiestnenia stĺpa, na ktorý pôsobí $F_{v,max}$

$$\begin{aligned} EI_2 \cdot \delta_{L,V} &= F_{v,max} \cdot e_2 \cdot h^2 \cdot \alpha_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2}\right) = \\ &= 478,17 \cdot 0,55 \cdot 13,2^2 \cdot 0,5455 \cdot \left(1 - \frac{0,5455}{2}\right) = 18179,057 \text{ kNm}^3 \end{aligned}$$

- na druhej strane haly, kde stĺp zaťažuje sila $F_{v,min}$ obdržíme

$$EI_2 \cdot \delta_{P,V} = -\frac{F_{v,min}}{F_{v,max}} \cdot 18179,057 = -\frac{141,75}{478,17} \cdot 18179,057 = -5389,049 \text{ kNm}^3$$

Vyvedená staticky neurčitá sila

$$X_V = \frac{18179,057 - (-5389,049)}{2586,932} = 9,110 \text{ kN} \quad (\text{tlak})$$

f) Vodorovné účinky žeriavu

Uvažujeme teda len najúčinnejšie sily H_{ip} . Môžeme zostaviť štyri rôzne kombinácie síl F_H a F_H^{\cdot} (pozri obr. 2.51). Staticky neurčitá sila vo väzníku pritom nemení svoju veľkosť, ale len orientáciu. Na stĺpe zaťaženom silou F_H máme

$$\begin{aligned} EI_2 \cdot \delta_{L,H} &= F_H \cdot \frac{h^3}{6} \cdot \left[\alpha_4^2 \cdot (3 - \alpha_4) + 3 \cdot k \cdot \alpha_3^2 \cdot \left(1 - \alpha_4 + \frac{2}{3} \cdot \alpha_3 \right) \right] = \\ &= 69,575 \cdot \frac{13,2^2}{6} \cdot \left[0,6136^2 \cdot (3 - 0,6136) + 3 \cdot 7,319 \cdot 0,0682^2 \cdot \left(1 - 0,6136 + \frac{2}{3} \cdot 0,0682 \right) \right] = \\ &= 69,575 \cdot 361,3237 = 25139,096 \text{ kNm}^3 \end{aligned}$$

Stĺp zaťažený silou F_H má deformáciu

$$EI_2 \cdot \delta_{P,H} = -F_H^{\cdot} \cdot 361,3237 = -34,788 \cdot 361,3237 = -12569,729 \text{ kNm}^3$$

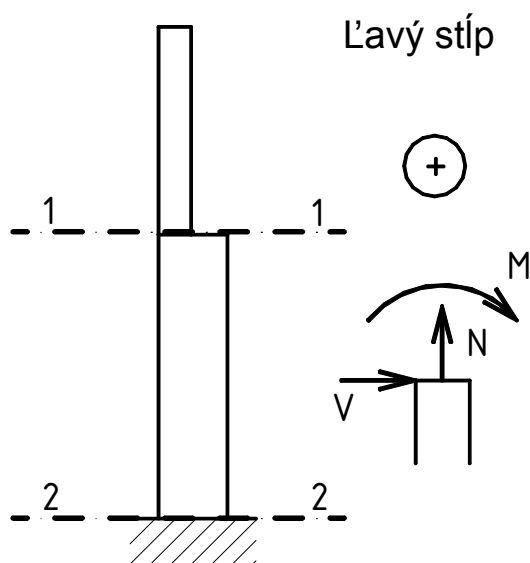
Staticky neurčitá sila od vodorovného priečenia žeriavu v najúčinnejšej polohe na stĺpy potom bude

$$X_H = \frac{25139,096 - (-12569,729)}{2586,932} = 14,577 \text{ kN} \quad (\text{tlak})$$

V prípade síl F_H a F_H^{\cdot} pôsobiacich „von“ z haly, máme

$$X_H = -14,577 \text{ kN} \quad (\text{ťah vo väzníku})$$

2.6.3 Výpočet vnútorných síl na ľavom stĺpe



Obr. 2.54 Rozhodujúce prierezy a znamienková konvencia pre vnútorné sily

Vnútorne sily zisťujeme na votknutom stĺpe, ktorý po vyriešení staticky neurčitých síl považujeme za konzolu. Pomocou tejto statickej schémy vypočítame vnútorné sily v prierezoch, v ktorých budeme overovať odolnosť stĺpa.

- prierez 1-1 ... prierez hornej časti stĺpa v mieste prípoja na spodnú časť

- prierez 2-2 ... prierez dolnej časti stĺpa v mieste teoretického votknutia do základu

a) Vnútorne sily od stáleho a dlhodobého náhodilého zaťaženia

aa) *maximálne vnútorné sily od priťažujúcich účinkov zaťaženia*

horná časť stĺpa

$$N_1 = -F_{gs} - F_{gl} = -91,673 - 7,26 = -98,933 \text{ kN}$$

$$V_1 = -X_g = -0,048 \text{ kN}$$

$$M_1 = -X_g \cdot h_1 = -0,048 \cdot 6 = -0,288 \text{ kNm}$$

spodná časť stĺpa

$$N_2 = N_1 - F_{gž} - F_{g2} = -98,933 - 37,610 - 17,424 = -153,967 \text{ kN}$$

$$V_2 = -X_g = -0,048 \text{ kN}$$

$$M_2 = -F_{gs} \cdot e_1 - F_{gl} \cdot e_1 + F_{gž} \cdot e_2 - X_g \cdot h = -91,673 \cdot 0,2 - 7,26 \cdot 0,2 + 37,610 \cdot 0,55 - 0,048 \cdot 13,2 = 0,265 \text{ kNm}$$

ab) *minimálne hodnoty vnútorných síl vyvođených zaťažením s odľahčujúcim efektom*

horná časť stĺpa

$$N_1 = -72,395 - 5,94 = -78,335 \text{ kN}$$

$$V_1 = -0,067 \text{ kN}$$

$$M_1 = -0,067 \cdot 6 = -0,402 \text{ kNm}$$

spodná časť stĺpa

$$N_2 = -78,335 - 30,772 - 14,256 = -123,363 \text{ kN}$$

$$V_2 = -0,067 \text{ kN}$$

$$M_2 = -72,395 \cdot 0,2 - 5,94 \cdot 0,2 + 30,772 \cdot 0,55 - 0,067 \cdot 13,2 = 0,373 \text{ kNm}$$

b) Vnútorne sily od náhodilého krátkodobého zaťaženia

ba) *zaťaženie snehom*

horná časť stĺpa

$$N_1 = -F_s = -185,069 \text{ kN}$$

$$V_1 = -X_s = 1,978 \text{ kN}$$

$$M_1 = -X_s \cdot h_1 = 1,978 \cdot 6 = 11,868 \text{ kNm}$$

spodná časť stĺpa

$$N_2 = -F_s = -185,069 \text{ kN}$$

$$V_2 = -X_s = 1,978 \text{ kN}$$

$$M_2 = -X_s \cdot h_1 - F_s \cdot e_1 = 1,978 \cdot 13,2 - 185,069 \cdot 0,2 = -10,904 \text{ kNm}$$

bb) zaťaženie vetrom

A) pôsobiacim na halu zľava

horná časť stĺpa

$$N_1 = F_{w\perp} = 35,794 \text{ kN}$$

$$V_1 = -X_w + F_{wII} + w \cdot h_1 = -4,865 + 14,317 + 2,169 \cdot 6 = 22,466 \text{ kN}$$

$$M_1 = (-X_w + F_{wII}) \cdot h_1 + w \cdot \frac{h_1^2}{2} = (-4,865 + 14,317) \cdot 6 + 2,169 \cdot \frac{6^2}{2} = 95,754 \text{ kNm}$$

spodná časť stĺpa

$$N_2 = 35,794 \text{ kN}$$

$$V_2 = V_1 + w \cdot h_2 = 22,466 + 2,169 \cdot 7,2 = 38,083 \text{ kN}$$

$$M_2 = (-X_w + F_{wII}) \cdot h + w \cdot \frac{h^2}{2} + F_{w\perp} \cdot e_1 =$$

$$= (-4,865 + 14,317) \cdot 13,2 + 2,169 \cdot \frac{13,2^2}{2} + 35,794 \cdot 0,2 = 320,888 \text{ kNm}$$

B) alternatíva vetra zaťažujúceho sprava

horná časť stĺpa

$$N_1 = F'_{w\perp} = 26,032 \text{ kN}$$

$$V_1 = -X_w - F'_{wII} + w' \cdot h_1 = -4,865 - 8,590 - 1,301 \cdot 6 = -21,261 \text{ kN}$$

$$M_1 = (-X_w + F'_{wII}) \cdot h - w' \cdot \frac{h_1^2}{2} = (-4,865 - 8,59) \cdot 6 - 1,301 \cdot \frac{6^2}{2} = -104,148 \text{ kNm}$$

spodná časť stĺpa

$$N_2 = 26,032 \text{ kN}$$

$$V_2 = V_1 - w' \cdot h_2 = -21,261 - 1,301 \cdot 7,2 = -30,628 \text{ kN}$$

$$M_2 = (-X_w + F_{wII}) \cdot h - w \cdot \frac{h^2}{2} + F_{w\perp} \cdot e_1 =$$

$$= (-4,865 - 8,59) \cdot 13,2 - 1,301 \cdot \frac{13,2^2}{2} + 26,032 \cdot 0,2 = -285,743 \text{ kNm}$$

c) Zvislé zaťaženie stĺpov žeriavom

ca) *najväčšie kolesové sily*

horná časť stĺpa

$$N_1 = 0 \text{ kN}$$

$$V_1 = -X_v = -9,11 \text{ kN}$$

$$M_1 = -X_v \cdot h_1 = -9,11 \cdot 6 = -54,66 \text{ kNm}$$

spodná časť stĺpa

$$N_2 = -F_{v,max} = -478,17 \text{ kN}$$

$$V_2 = -9,11 \text{ kN}$$

$$M_2 = -X_v \cdot h + F_{v,max} \cdot e_2 = -9,11 \cdot 13,2 + 478,17 \cdot 0,55 = 142,742 \text{ kNm}$$

cb) *minimálne kolesové sily*

horná časť stĺpa

$$N_1 = 0 \text{ kN}$$

$$V_1 = -9,11 \text{ kN}$$

$$M_1 = -54,66 \text{ kNm}$$

spodná časť stĺpa

$$N_2 = -F_{v,min} = -141,75 \text{ kN}$$

$$V_2 = -9,11 \text{ kN}$$

$$M_2 = -X_v \cdot h + F_{v,min} \cdot e_2 = -9,11 \cdot 13,2 + 141,75 \cdot 0,55 = -42,290 \text{ kNm}$$

d) Vodorovné zaťaženie stĺpov žeriavom

da) *od sily priečenia F_H na stĺpe*

horná časť

$$N_1 = 0 \text{ kN}$$

$$V_1 = \mp X_H \pm F_H = \mp 14,577 \pm 69,575 = \pm 54,998 \text{ kN}$$

$$M_1 = \mp X_H \cdot h_1 \pm F_H \cdot h_3 = \mp 14,577 \cdot 6 \pm 69,575 \cdot 0,9 = \mp 24,845 \text{ kNm}$$

spodná časť

$$N_2 = 0 \text{ kN}$$

$$V_2 = \mp X_H \pm F_H = \pm 54,998 \text{ kN}$$

$$M_2 = \mp X_H \cdot h \pm F_H \cdot h_4 = \mp 14,577 \cdot 13,2 \pm 69,575 \cdot 8,1 = \pm 371,141 \text{ kNm}$$

db) od vodorovnej sily produkovanej druhým vzpričeným kolesom žeriavu

horná časť

$$N_1 = 0 \text{ kN}$$

$$V_1 = \mp X_H \pm F_H' = \mp 14,577 \pm 34,788 = \pm 20,211 \text{ kN}$$

$$M_1 = \mp X_H \cdot h_1 \pm F_H' \cdot h_3 = \mp 14,577 \cdot 6 \pm 34,788 \cdot 0,9 = \mp 56,153 \text{ kNm}$$

spodná časť

$$N_2 = 0 \text{ kN}$$

$$V_2 = \mp X_H \pm F_H' = \mp 14,577 \pm 34,788 = \pm 20,211 \text{ kN}$$

$$M_2 = \mp X_H \cdot h \pm F_H' \cdot h_4 = \mp 14,577 \cdot 13,2 \pm 34,788 \cdot 8,1 = \pm 89,366 \text{ kNm}$$

2.6.4 Prehľad vnútorných síl a ich rozhodujúce kombinácie

Vnútorné sily od jednotlivých zaťažovacích stavov sú prehľadne uvedené v tabuľke 7.5 a ich kombinácie v tab. 7.6 a 7.7.

Tabuľka 2.5 Prehľad vnútorných síl na stĺpe

Zaťaženie "ľavého" stĺpa	Stále + náhodilé dlhodobé		Náhodilé krátkodobé						
	max.	min.	sneh	vietor		účinky žeriavu			
				"zľava"	"sprava"	zvislé max.	zvislé min.	vodorovné	
	G_{\max}	G_{\min}	S	W_L	W_P			V_{\max}	V_{\min}
								$\pm H$	$\pm H'$
N_1 [kN]	-98,933	-78,335	-185,069	35,794	26,032	0,000	0,000	0,000	0,000
V_1 [kN]	-0,048	-0,067	1,978	22,466	-21,261	-9,110	-9,110	$\pm 54,998$	$\pm 20,211$
M_1 [kN.m]	-0,288	-0,402	11,868	95,754	-104,148	-54,660	-54,660	$\mp 24,845$	$\mp 56,153$
N_2 [kN]	-153,967	-123,363	-185,069	35,794	26,032	-478,170	-141,750	0,000	0,000
V_2 [kN]	-0,048	-0,067	1,978	38,083	-30,628	-9,110	-9,110	$\pm 54,998$	$\pm 20,211$
M_2 [kN.m]	0,265	0,373	-10,904	320,888	-285,743	142,742	-42,290	$\pm 371,141$	$\pm 89,366$

Tabuľka 2.6 Kombinácie vnútorných síl - Horná časť stĺpa, prierez 1-1

Kombinácia		N_1	V_1	M_1	poznámka
		[KN]	[KN]	[KN.m]	
$G_{\max}+S$	1	-284,002	1,930	11,580	min N
$G_{\min}+0,9(W_P+(V_{\max}+H'))$	2	-54,906	-9,211	-193,867	min M
$G_{\max}+W_L$	3	-63,139	22,418	95,466	max M
$G_{\max}+0,9(S+(V_{\max}+H'))$	4	-265,495	11,723	-89,339	
$G_{\max}+0,9(S+W_P+(V_{\max}+H'))$	5	-242,066	-7,412	-183,072	rozhoduje

Tabuľka 2.7 Kombinácie vnútorných síl - Dolná časť stĺpa, prierez 2-2

Kombinácia		N_2	V_2	M_2	poznámka
		[KN]	[KN]	[KN.m]	
$G_{\max}+0,9(S+(V_{\max}+H))$	1	-750,882	43,031	452,946	min N
$G_{\min}+0,9(S+W_P+(V_{\min}-H))$	2	-394,071	-83,549	-638,697	min M
$G_{\max}+0,9(W_L+(V_{\max}+H))$	3	-552,105	75,526	751,559	max M
$G_{\max}+0,9(S+W_L+(V_{\max}+H))$	4	-718,668	77,306	741,745	rozhoduje

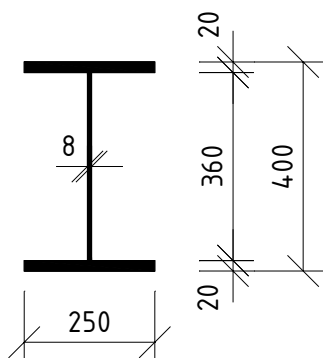
Ako vidno z týchto tabuliek, stĺp by sme mali v oboch prierezoch overiť pre niekoľko kombinácií. Keďže sú namáhané kombináciou tlaku s ohybom, môžeme niektoré kombinácie vopred vylúčiť. Pre ilustráciu prierezy overíme na najúčinnejšie kombinácie, ktoré sa javia ako rozhodujúce.

Poznámka: Výpočet haly programom potvrdil, že rozhodovali tieto kombinácie

2.6.5 Návrh prierezov stĺpa

a) Horná časť stĺpa (zvoleného prierezu v ods. 2.6.2)

Prierezové veličiny



Obr. 2.55 Prierez hornej časti stĺpa

$$A = 1,288 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 3,924374 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_z = 5,209869 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_t = 1,398187 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 1,891815 \cdot 10^{-6} \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = 1,962187 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 4,167895 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 2,1592 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 6,3076 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$i_y = 174,55 \text{ mm}$$

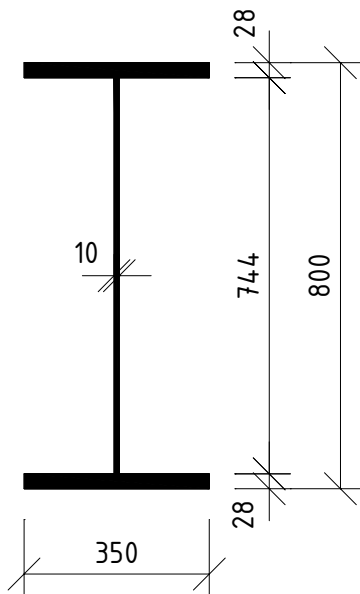
$$i_z = 63,60 \text{ mm}$$

Odhadneme súčiniteľ vzperu na $\chi = 0,6$ a súčiniteľ klopenia na $\chi_{LT} = 0,8$.
 Približným výpočtom odhadnutý prierez predbežne overíme

$$\frac{N_{Sd}}{\chi \cdot A} + \frac{M_{Sd,y}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y}} = \frac{242,066 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 1,288 \cdot 10^{-2}} + \frac{183,072 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 1,962187 \cdot 10^{-3}} = 147,95 \text{ MPa} < f_{yd} = 213,636 \text{ MPa}$$

Prierez by mal vyhovieť. Podrobnejší výpočet, zohľadňujúci aj iné kritériá, urobíme v ods. 2.6.6.

b) Dolná časť stĺpa (predbežne zvoleného prierezu)



Obr. 2.56 Prierez hornej časti stĺpa

Prierezové veličiny

$$A = 2,704 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_y = 3,264795 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_z = 2,001453 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_t = 5,379467 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_w = 3,022567 \cdot 10^{-5} \text{ m}^6$$

$$W_{el,y} = 8,161986 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{el,z} = 1,143688 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,y} = 8,94944 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,7336 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$i_y = 347,48 \text{ mm}$$

$$i_z = 86,03 \text{ mm}$$

Opäť si prierez približne otestujeme s $\chi = 0,6$ a $\chi_{LT} = 0,8$. Ak by prierez nevyhovel tomuto posúdeniu, bolo by potrebné zmeniť jeho rozmery

$$\frac{N_{Sd}}{\chi \cdot A} + \frac{M_{Sd,y}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y}} = \frac{718,668 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 2,704 \cdot 10^{-2}} + \frac{741,745 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 8,161986 \cdot 10^{-3}} = 157,89 \text{ MPa} < f_{yd} = 213,636 \text{ MPa}$$

Tento prierez preto uvažíme aj pri podrobnejšom výpočte.

2.6.6 Overenie hornej časti stĺpa

Rozhodujúca kombinácia zaťaženia vyvodzuje nasledujúce vnútorné sily

$$N_{Sd} = N = - 242,066 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,z} = V = - 7,412 \text{ kN}$$

$$M_{Sd,y} = M_y = - 183,072 \text{ kNm}$$

a) Klasifikácia prierezu

Napätie v horných vláknoch steny bez uvažovania vzperu, klopenia a vydúvania je

$$\begin{aligned}\sigma_{1,w} &= -\frac{|N|}{A} - \frac{|M_y|}{I_y} \cdot z_{1,w} = -\frac{242,066 \cdot 10^{-3}}{1,288 \cdot 10^{-2}} - \frac{183,072 \cdot 10^{-3}}{3,9243 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,18 = \\ &= -18,794 - 83,972 = -102,766 \text{ MPa}\end{aligned}$$

V ťahových, prípadne menej tlačných vláknoch, je

$$\sigma_{2,w} = -\frac{|N|}{A} + \frac{|M_y|}{I_y} \cdot z_{2,w} = -18,794 + 83,972 = 65,178 \text{ MPa}$$

Parameter nesymetrie napätí

$$\psi = \frac{\sigma_{2,w}}{\sigma_{1,w}} = \frac{65,178}{-102,766} = -0,6342 > -1,0$$

Príslušná tlačná výška steny

$$d_c = \frac{h_w}{1 - \psi} = \frac{360}{1 - (-0,6342)} = 220,3 \text{ mm}$$

Pre triedu prierezov 3 platí podmienka

$$\frac{40 \cdot \varepsilon_m}{0,654 + 0,346 \cdot \psi} = \frac{40 \cdot 1,0}{0,654 + 0,346 \cdot (-0,6342)} = 92,05 > \beta = \frac{d}{t} = \frac{360}{8} = 45$$

Stĺp vyhovuje podmienke pre triedu prierezov 3, pretože štíhlosť steny neprevyšuje limitnú hodnotu.

b) Vplyv šmyku na ohybovú pevnosť

Plastická šmyková únosnosť steny

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot A_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235 \cdot 10^3 \cdot 2,88 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 355,23 \text{ kN}$$

$$\frac{V}{V_{pl,Rd}} = \frac{7,412}{355,23} = 0,021 \ll 0,5$$

Vplyv šmyku neuvažujeme.

c) Určenie vzperných dĺžok a vzpernostných súčiniteľov χ

ca) *na vybočenie z roviny priečnej väzby*

- vzperná dĺžka $L_{cr,z} = h_1 = 6 \text{ m}$

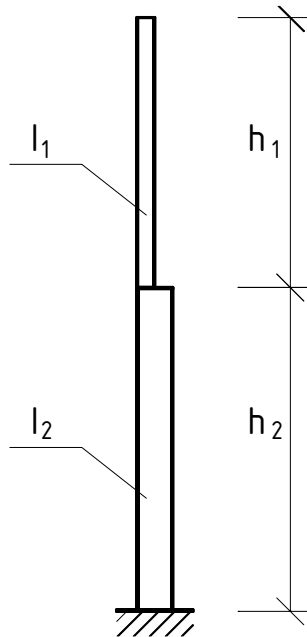
- štíhlosť $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6000}{63,6} = 94,34$

- pomerná štíhlosť $\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{94,34}{93,9} \cdot \sqrt{1,0} = 1,0047$

Z krivky vzpernej pevnosti c plynie $\chi_z = 0,5372$

cb) *na vybočenie v rovine priečnej väzby*

Vybočenie v rovine väzby je závislé na tuhosti a dĺžke jednotlivých častí stĺpa.



Kritickú štíhlosť stĺpa na obr. 2.57 získame zo vzťahov

$$L_{cr,y,1} = \beta_1 \cdot h_1$$

$$L_{cr,y,2} = \beta_2 \cdot h_2$$

β_2 odčítame z tabuľky 2.8 a súčiniteľ pre hornú časť stĺpa vypočítame ako $\beta_1 = \beta_2 / c$.

Pre interpoláciu v tabuľke potrebujeme nasledujúce hodnoty

$$k = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{h_2}{h_1}$$

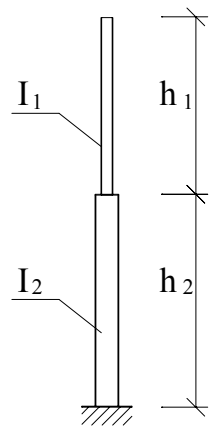
$$c = \frac{h_1}{h_2} \cdot \sqrt{\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{l_2}{l_1}}$$

Obr. 2.57 Schéma stĺpa

Do vzorca pre súčiniteľ c je potrebné dosadiť sily N_1 a N_2 v dolnej časti stĺpa „2“, resp. v hornej časti „1“, prislúchajúcu kombináciu, rozhodujúcu pre posudzovaný prierez. Adekvátnu silu N_2 získame z nasledujúcej kombinácie

$$\begin{aligned} N_2 &= N_{G,\max} + 0,9 \cdot [N_S + N_{Wp} + (N_{V,\max} + N_H)] = \\ &= -153,967 + 0,9 \cdot [-185,069 + 26,032 - 478,17 + 0] = -727,453 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabuľka 2.8 Súčinitele vzperných dĺžok votknutého stĺpa

 $k = \frac{I_1 \cdot h_2}{I_2 \cdot h_1}$ $c = \frac{h_1}{h_2} \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot I_2}{N_2 \cdot I_1}}$ $\beta_2 = \dots \text{ tabuľka}$ $\beta_1 = \frac{\beta_2}{c} \leq 3,0$	c \ k	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
	0,0	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	4,00	5,00
0,1	2,00	2,01	2,04	2,11	2,25	2,50	3,43	5,44	5,55	6,65	
0,2	2,00	2,02	2,08	2,20	2,42	2,73	3,77	4,90	6,08	7,25	
0,3	2,00	2,03	2,11	2,28	2,58	2,94	4,07	5,29	6,56	7,82	
0,4	2,00	2,04	2,13	2,36	2,70	3,13	4,35	5,67	7,00	-	
0,5	2,00	2,05	2,18	2,44	2,83	3,29	4,61	6,03	-	-	
0,6	2,00	2,06	2,21	2,52	2,96	3,44	4,86	-	-	-	
0,7	2,00	2,06	2,25	2,59	3,07	3,59	5,08	-	-	-	
0,8	2,00	2,07	2,28	2,66	3,17	3,74	-	-	-	-	
0,9	2,00	2,08	2,32	2,73	3,27	3,87	-	-	-	-	
1,0	2,00	2,09	2,35	2,80	3,36	4,00	-	-	-	-	
1,2	2,00	2,10	2,42	2,93	3,55	-	-	-	-	-	
1,4	2,00	2,12	2,48	3,05	3,74	-	-	-	-	-	
1,6	2,00	2,14	2,54	3,17	-	-	-	-	-	-	
1,8	2,00	2,15	2,60	3,28	-	-	-	-	-	-	
2,0	2,00	2,17	2,66	3,39	-	-	-	-	-	-	
2,5	2,00	2,21	2,80	-	-	-	-	-	-	-	
5,0	2,00	2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	
10,0	2,00	2,76	-	-	-	-	-	-	-	-	
20,0	2,00	3,38	-	-	-	-	-	-	-	-	

preto potrebné parametre

$$k = \frac{I_1 \cdot h_2}{I_2 \cdot h_1} = \frac{1}{8,319} \cdot \frac{7,2}{6} = 0,144 \quad \text{a} \quad c = \frac{6}{7,2} \cdot \sqrt{\frac{242,066}{727,453}} \cdot 8,319 = 1,386$$

Interpoláciou z tabuľky získame $\beta_2 = 3,357$

$$\beta_1 = 3,357 / 1,386 = 2,422$$

Vzperná dĺžka horného stĺpa potom bude $L_{cr,y} = \beta_1 \cdot h_1 = 2,422 \cdot 6 = 14,532 \text{ m}$

Jej štíhlosť $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{14532}{174,55} = 83,254$

Pomerná hodnota štíhlosti $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{83,254}{93,9} \cdot \sqrt{1,0} = 0,8866$

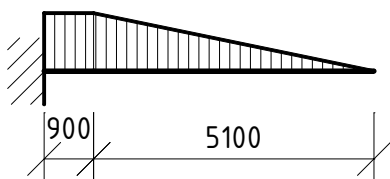
Z krivky vzpernej pevnosti b tejto štíhlosti priradíme súčiniteľ $\chi_y = 0,6698$

Klopenie hornej časti stĺpa overíme podľa prílohy H normy STN 73 1401 [3]. Stĺp je zabezpečený proti klopeniu v mieste uloženia žeriavovej dráhy a v úrovni prípoja väzníka. Voľná dĺžka na klopenie preto bude $L_{cr,LT} = h_I = 6 \text{ m}$.

Parameter krútenia

$$\alpha_t = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h^*} \cdot \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{6,0}{0,38} \cdot \sqrt{\frac{1,398187 \cdot 10^{-6}}{5,209869 \cdot 10^{-5}}} = 1,6037 \xrightarrow{KK} \gamma = 0,835$$

kde h^* je vzdialenosť stredov pásnic.



Obr. 2.58 Približný priebeh ohybového momentu

Súčiniteľ vzpernej dĺžky pri klopení zistíme pre približný priebeh ohybových momentov podľa obr. 2.58.

$$\chi_M = \frac{0,9 \cdot 1,0 + 5,1 \cdot 0,86}{6,0} = 0,881$$

Ak polomer zotrvačnosti tlačeneho pásu

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{I_z}{I_y} \cdot z_1 \cdot a_1} = \sqrt{\frac{5,209869 \cdot 10^{-5}}{3,924374 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,19^2} = 0,0692 \text{ m}$$

kritickú štíhlosť získame ako

$$\lambda = \gamma \cdot \frac{\chi_M \cdot L_{z1}}{i_{z1}} = 0,835 \cdot \frac{0,881 \cdot 6,0}{0,0692} = 63,783$$

Štíhlosť pri klopení potom bude

$$\lambda_{LT} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}} = 63,783 \cdot \sqrt{\frac{2,1592 \cdot 10^{-3}}{1,962187 \cdot 10^{-3}}} = 66,909$$

Jej pomerná hodnota

$$\overline{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_w} = \frac{66,909}{93,9} \cdot \sqrt{0,9088} = 0,6793$$

Príslušný súčiniteľ pri klopení bude

$$\chi_{LT} = 0,8636$$

d) Overenie prierezu

Prierez triedy 3 musí spĺňať nasledujúce podmienky

$$\text{- na vzper} \quad \frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1,0$$

$$- \text{na klopenie} \quad \frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1,0$$

kde $\chi_{min} = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,6698; 0,5372) = 0,5372$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{-0,461 \cdot 242,066 \cdot 10^{-3}}{0,6698 \cdot 1,288 \cdot 10^{-2} \cdot 235} = 1,055 < 1,5$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) = 0,8866 \cdot (2 \cdot 1,74 - 4) = -0,461 < 0,90$$

$\beta_{My} = 1,74$ označuje súčiniteľ ekvivalentného konštantného momentu pri vybočení ohybom pre priebeh ohybového momentu podľa obr. 2.58.

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LTy} \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{0,112 \cdot 242,066 \cdot 10^{-3}}{0,5372 \cdot 1,288 \cdot 10^{-2} \cdot 235} = 0,982 < 1,0$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 \cdot 1,0047 \cdot 1,74 - 0,15 = 0,112 < 0,9$$

$$\beta_{M,LT} \approx \beta_{My} = 1,74$$

Kritérium pri vzpere

$$\frac{242,066 \cdot 10^{-3}}{0,5372 \cdot 1,288 \cdot 10^{-2} \cdot 213,636} + \frac{1,055 \cdot 183,072 \cdot 10^{-3}}{1,962187 \cdot 10^{-3} \cdot 213,636} = 0,1638 + 0,4607 = 0,625 < 1,0$$

Horná časť stĺpa na vzper vyhovuje.

Kritérium, uvažujúce klopenie

$$\frac{242,066 \cdot 10^{-3}}{0,5372 \cdot 1,288 \cdot 10^{-2} \cdot 213,636} + \frac{0,982 \cdot 183,072 \cdot 10^{-3}}{0,8636 \cdot 1,962187 \cdot 10^{-3} \cdot 213,636} = 0,1638 + 0,4966 = 0,660 < 1,0$$

Horná časť stĺpu v styku so spodnou časťou vyhovuje.

2.6.7 Dolná časť stĺpa

Obdobným postupom ako pri hornej časti stĺpa, overíme aj dolnú časť.

$$N_{Sd} = N = -718,668 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,z} = V = 77,306 \text{ kN}$$

$$M_{Sd,y} = M_y = 741,745 \text{ kNm}$$

a) Klasifikácia prierezu

Extrémne tlakové napätie

$$\sigma_{1,w} = -\frac{|N|}{A} - \frac{|M_y|}{I_y} \cdot z_{2,w} = -\frac{718,668 \cdot 10^{-3}}{2,704 \cdot 10^{-2}} - \frac{741,745 \cdot 10^{-3}}{3,264795 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,372 =$$

$$= -26,578 - 84,517 = -111,095 \text{ MPa}$$

Napätie v ťahanej časti

$$\sigma_{2,w} = -26,578 + 84,517 = 57,939 \text{ MPa}$$

Parameter nesymetrie

$$\psi = \frac{\delta_{2,w}}{\delta_{1,w}} = \frac{57,939}{-111,095} = -0,5215 > -1,0$$

Tlačená časť steny

$$d_c = \frac{h_w}{1 - \psi} = \frac{744}{1 - (-0,5215)} = 489,0 \text{ mm}$$

Podmienka pre klasifikáciu prierezu do 3. triedy

$$\frac{40 \cdot \varepsilon_m}{0,654 + 0,346 \cdot \psi} = \frac{40 \cdot 1,0}{0,654 + 0,346 \cdot (-0,5215)} = 84,47 > \beta = \frac{d}{t} = \frac{h_w}{t_w} = \frac{744}{10} = 74,4$$

b) Vplyv šmyku na odolnosť prierezu

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot A_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235 \cdot 10^3 \cdot 7,44 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 917,672 \text{ kN}$$

$$\frac{V}{V_{pl,Rd}} = \frac{77,306}{917,672} = 0,084 \ll 0,5 \quad \text{preto je vplyv šmyku zanedbateľný}$$

c) Určenie vzperných dĺžok a súčiniteľov vzpernosti χ

ca) *vybočenie z roviny priečnej väzby*

Stĺpy sú kĺbovo uložené v pozdĺžnom smere haly. Pre spodnú časť stĺpa je preto vzperná dĺžka $L_{cr,z} = 7,2 \text{ m}$.

$$\text{Príslušná štíhlosť} \quad \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7200}{86,03} = 83,692$$

$$\text{Jej pomerná veľkosť} \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{83,692}{93,9} \cdot \sqrt{1,0} = 0,8913$$

$$\text{Súčiniteľ vzperu pre krivku c} \quad \chi_z = 0,6052$$

cb) vybočenie v rovine priečnej väzby

Zodpovedajúca sila v hornom stĺpe pre kombináciu, rozhodujúcu pre prierez vo votknutí

$$N_1 = N_{G,\max} + 0,9 \cdot (N_S + N_{W_L} + N_{V,\max} + N_H) =$$

$$= -98,933 + 0,9 \cdot (-185,069 + 35,794 + 0 + 0) = -233,281 \text{ kN}$$

Pre parametre $k = 0,144$ a $c = \frac{6}{7,2} \cdot \sqrt{\frac{233,281}{718,668}} \cdot 8,319 = 1,369$

z tabuľky 2.8 plyníe $\beta_2 = 3,323$

Vzperné dĺžky

$$L_{cr,y} = \beta_2 \cdot h_2 = 3,323 \cdot 7,2 = 23,926 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{23926}{347,48} = 68,856$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{68,856}{93,9} \cdot \sqrt{1,0} = 0,7333$$

- z krivky vzpernej pevnosti b obdržíme $\chi_y = 0,7646$

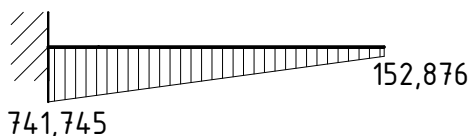
Klopenie postupom podľa prílohy H v STN 73 1401 [3].

- voľná dĺžka pri klopení $L_{cr,LT} = h_2 = 7,2 \text{ m}$

- parameter krútenia

$$\alpha_t = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h^*} \cdot \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{7,2}{0,772} \cdot \sqrt{\frac{5,379467 \cdot 10^{-6}}{2,001453 \cdot 10^{-4}}} = 0,9480$$

- parameter vplyvu uloženia, zaťaženia a tuhosti $\gamma = 0,924$



- súčiniteľ vzpernej dĺžky pri klopení, zistený pre priebeh ohybových momentov, približne

Obr. 2.59 Priebeh ohybového momentu

$$\chi_M = \frac{1 + 0,86}{2} = 0,93$$

- polomer zotrvačnosti tlačeneho pásu

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{I_z}{I_y}} \cdot z_1 \cdot a_1 = \sqrt{\frac{2,001453 \cdot 10^4}{3,264795 \cdot 10^{-3}}} \cdot 0,386^2 = 0,0956 \text{ m}$$

- kritická a pomerná štíhlost' pri klopení

$$\lambda = \gamma \cdot \frac{\chi_M \cdot L_{z1}}{i_{z1}} = 0,924 \cdot \frac{0,93 \cdot 7,2}{0,0956} = 64,719$$

$$\lambda_{LT} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}} = 64,719 \cdot \sqrt{\frac{8,94944 \cdot 10^{-3}}{8,161986 \cdot 10^{-3}}} = 67,769$$

- pomerná štíhlost' pri klopení je potom $\overline{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_w} = \frac{67,769}{93,9} \cdot \sqrt{0,912} = 0,6892$

- odkiaľ súčiniteľ vzpernosti pri klopení $\chi_{LT} = 0,8577$

d) Overenie

- menšia z hodnôt súčiniteľov vzpernosti

$$\chi_{min} = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,7646; 0,6052) = 0,6052$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{-0,5048 \cdot 718,668 \cdot 10^{-3}}{0,7646 \cdot 2,704 \cdot 10^{-2} \cdot 235} = 1,0747 < 1,5$$

$$\mu_y = \overline{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) = 0,7333 \cdot (2 \cdot 1,6558 - 4) = -0,5048 < 0,90$$

Súčiniteľ ekvivalentného konštantného momentu, zistený pre približný priebeh ohybových momentov z obr. 2.59 je

$$\beta_{My} = 1,8 - 0,7 \cdot (0,206) = 1,6558$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LTy} \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{0,0714 \cdot 718,668 \cdot 10^{-3}}{0,6052 \cdot 2,704 \cdot 10^{-2} \cdot 235} = 0,9867 < 1,0$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \overline{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 \cdot 0,8913 \cdot 1,6558 - 0,15 = 0,0714 < 0,9$$

$$\beta_{M,LT} \approx \beta_{My} = 1,6558$$

Overenie na vzper

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1,0$$

$$\frac{718,668 \cdot 10^{-3}}{0,6052 \cdot 2,704 \cdot 10^{-2} \cdot 213,636} + \frac{1,0747 \cdot 741,745 \cdot 10^{-3}}{8,161986 \cdot 10^{-3} \cdot 213,636} = 0,2056 + 0,4572 = 0,663 < 1,0$$

Prierez na vzper vyhovuje.

Overenie pri klopení

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1,0$$
$$\frac{718,668 \cdot 10^{-3}}{0,6052 \cdot 2,704 \cdot 10^{-2} \cdot 213,636} + \frac{0,9867 \cdot 741,745 \cdot 10^{-3}}{0,8577 \cdot 8,161986 \cdot 10^{-3} \cdot 213,636} = 0,2056 + 0,4894 =$$
$$= 0,695 < 1,0$$

Stĺp na klopenie vyhovuje.

Prierezy stĺpov sú mierne predimenzované. Úlohou tejto časti bolo ukázať princíp ručného výpočtu rámovej väzby. Bolo by možno vhodné zmeniť hrúbky a prípadne šírky pásnic horného aj dolného stĺpa, tak aby sa významne nezmenil pomer medzi ich momentami zotrvačnosti. Vtedy by sme zopakovali iba jednotlivé posúdenia, pretože pri približne rovnakom pomere I_2 / I_1 sa hodnoty staticky neurčitých síl X a teda aj vnútorných síl na stĺpoch prakticky nezmenia.

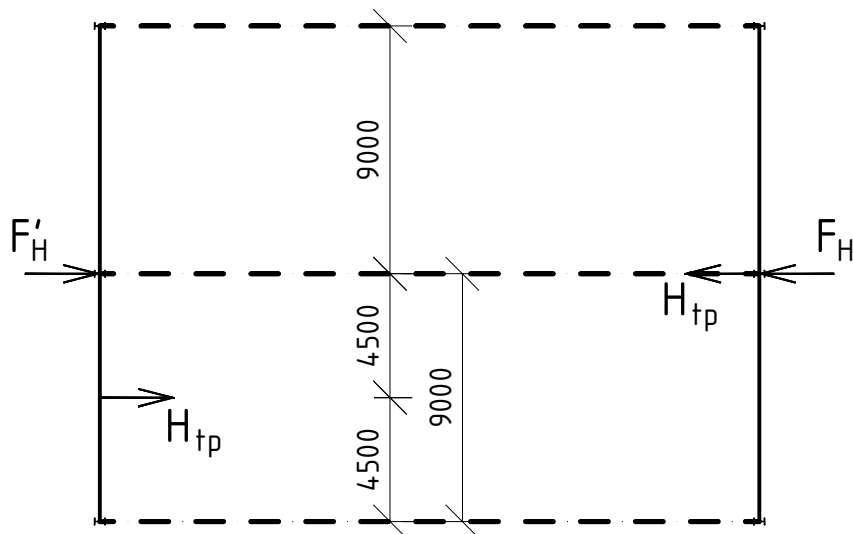
2.6.8 Posúdenie priečného vodorovného priehybu od žeriavu

Posudzuje sa vodorovná priečna deformácia stĺpa v úrovni temena koľajnice žeriavovej dráhy, vyvolaná vodorovnými účinkami žeriavu. Do úvahy sa berie prevádzkové zaťaženie, v našom prípade ide o sily

$$F_{H,p} = \gamma_F \cdot H_{tp,k} \cdot 1,0 = 1,0 \cdot 63,25 \cdot 1,0 = 63,25 \text{ kN}$$

$$F'_{H,p} = \gamma_F \cdot H_{tp,k} \cdot 0,5 = 1,0 \cdot 63,25 \cdot 0,5 = 31,625 \text{ kN}$$

Maximálny vodorovný účinok na stĺp vyvolá žeriav pri postavení podľa obr. 2.60.



Obr. 2.60 Postavenie žeriavu pri vyšetrowaní priehybu

Statically neurčitá sila sa potom zistí (pozri 2.6.2)

$$EI_2 \cdot \delta_{L,H} = \frac{63,25}{69,575} \cdot 25139,096 = 22853,724 \text{ kNm}^3$$

$$EI_2 \cdot \delta_{P,H} = \frac{31,625}{34,788} \cdot (-12569,729) = -11426,862 \text{ kNm}^3$$

$$X_{Hp} = \frac{22853,724 - (-11426,862)}{2586,932} = 13,251 \text{ kN}$$

Priehyb v úrovni žeriavovej dráhy získame ako

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{EI_2} \cdot \left\{ +F_{H,p} \cdot \frac{h_4^3}{3} \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{h_3}{h_4} \right)^3 \right] - X_{Hp} \cdot \frac{h^3}{6} \cdot \left[\alpha_4^2 \cdot (3 - \alpha_4) + 3 \cdot k \cdot \alpha_3^2 \cdot \left(1 - \alpha_4 + \frac{2}{3} \cdot \alpha_3 \right) \right] \right\} = \\ &= \frac{10^3}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,264795 \cdot 10^{-3}} \cdot \left\{ \begin{array}{l} +63,25 \cdot \frac{8,1^3}{3} \cdot \left[1 + 7,319 \cdot \left(\frac{0,9}{8,1} \right)^3 \right] - \\ -13,251 \cdot \frac{13,2^3}{6} \cdot \left[0,6136^2 \cdot (3 - 0,6136) + \right. \\ \left. + 3 \cdot 7,319 \cdot 0,0682^2 \cdot \left(1 - 0,6136 + \frac{2}{3} \cdot 0,0682 \right) \right] \end{array} \right\} = \\ &= 0,0165 - 0,0070 = 0,0095 \text{ m} \end{aligned}$$

Limitný priehyb podľa čl. 5.2.5 STN 73 1401 [3] je

$$\delta_{\max} = \frac{h_4}{1000} \cdot 2 = \frac{8100}{1000} \cdot 2 = 16,2 \text{ mm} > \delta = 9,5 \text{ mm}$$

Stĺp vyhovuje. Uvedené posúdenie je striktnnejšie v porovnaní s STN P ENV 1993-6 [7], ktorá pripúšťa medzný posun temena koľajnice vplyvom vodorovného priehybu stĺpa hodnotou 1/400 výšky temena koľajnice nad votknutím stĺpa (h_4).

Poznámka: Ešte ostáva navrhnuť stuženia haly, prídavné sily v priečných väzbách, ktoré sú súčasťou stužení, spôsobia dodatočné namáhanie stĺpov. Rovnako treba preukázať, či vyhovie kotvenie pätky stĺpa. Ďalšie detaily návrhu konštrukčných prvkov haly, oplášťovania, spojov a pod. nechávame na dodatočnom samoštúdiu študentov ([1], [5], [9]).

LITERATÚRA

- [1] P. Marek a kol.: Kovové konstrukce pozemních staveb. SNTL / ALFA 1985
- [2] STN 73 0035: Zařazení stavebných konstrukcí. 1986.
- [3] STN 73 1401: Navrhování ocelových konstrukcí. 1998.
- [4] STN 27 0200: Elektrické mostové žeriavy nosnosti 5 - 50 t. 1976.
- [5] Votlučka, L. a kol.: Ocelové konstrukce. Pomůcka pro navrhování ocelových konstrukcí pozemních staveb. ČVUT 1992.
- [6] Hořejší, J. - Šafka, J. a kol.: Statické tabulky. Technický průvodce 51. SNTL / ALFA 1987.
- [7] STN P ENV 1993-6: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 6: Konstrukce podopírající žeriavy. 2000.
- [8] STN P ENV 1993-2: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty. 1998.
- [9] Studnička, J. a kol.: Kovové konstrukce (Průmyslová hala). ČVUT 1988.