



Rīgas Tehniskās universitātes  
Būvniecības fakultāte

## **Metāla konstrukcijas**

### **Studiju darbs**

**Ēkas starpstāvu pārseguma nesošo tērauda konstrukciju projekts**

Izpildīja: Kristaps Kuzņecovs  
Stud. apl. Nr. 081RBC049  
3. kurss, dienas nodaļa  
Specialitāte: RBCB03

Rīga 2010./2011. m.g.

## *Satura rādītājs*

Paskaidrojuma raksts .....	4
I klājsiju projektēšana .....	5
1. Lieces momenta un šķērsspēka vērtības .....	5
2. Tērauda stiprības klase un atbilstošā aprēķina pretestība .....	6
3. Tērauda sijas minimāli nepieciešamais elastīgais pretestības moments .....	6
4. Dubult T-profila izvēle .....	6
5. Izvēlētā šķērsriezuma pārbaudes .....	7
5.1 Šķērsriezuma klases noteikšana profilam Nr. 23 Б1 .....	7
5.2. Sijas stiprības pārbaude .....	7
Pie lieces momenta iedarbības .....	7
Pie šķērsspēka iedarbības .....	8
Pie lieces momenta un šķērsspēka vienlaicīgas iedarbības .....	8
5.3 Sijas sienīgas noturības nodrošinājums bīdes ietekmē .....	8
5.4. Sijas stinguma pārbaude .....	8
Slodzes epīra no lietderīgās slodzes normatīvās vērtības .....	9
Slodzes epīra no pilnās slodzes summārās normatīvās vērtības .....	9
II galvenās sijas projektēšana .....	10
1. Lieces momenta un šķērsspēka vērtības .....	10
1.1 Lieces moments un šķērsspēks no slodžu raksturīgajām vērtībām .....	10
1.2 Lieces moments un šķērsspēks no slodžu aprēķina vērtībām .....	11
2. Tērauda stiprības klase un atbilstošā aprēķina pretestība .....	11
3. Sijas šķērsriezuma komponēšana .....	11
3.1 Sijas šķērsriezuma mazākais augstums .....	11
3.2 Sijas šķērsriezuma optimālais augstuma noteikšana .....	12
3.3 Sijas sienīgas galīgā griezuma noteikšana .....	12
3.4 Sijas šķērsriezuma horizontālo plauktiņu izmēru noteikšana .....	12
4. Izvēlētā šķērsriezuma statisko raksturojumu noteikšana .....	13
5. Sijas šķērsriezumu pārbaudes .....	13
5.1 Šķērsriezuma klases noteikšana .....	13
5.2 Sijas stiprības pārbaudes .....	14
Pie lieces momenta iedarbības .....	14
Pie šķērsspēka iedarbības .....	14
Pie lieces momenta un šķērsspēka vienlaicīgas iedarbības .....	14
5.3 Sijas sienīgas vietējās noturības pārbaude .....	15
Ar stinguma ribām nenostiprinātas sienīgas gadījumā .....	15
5.4 Sijas vispārējās noturības pārbaude .....	17

5.5 Sijas ar izvēlēto šķērsriezumu stinguma pārbaude .....	17
6. Sijas plauktiņu (joslu) un sienīgas metinātā savienojuma .....	17
(t.i., joslu šuvju) aprēķins .....	17
7. Sijas balstadaļas aprēķins .....	18
III Galvenās sijas un klājsiju sajūguma mezgla projektēšana .....	20
1. Skrūvju izvēle .....	20
2. Skrūvju nestspējas aprēķins .....	20
3. Skrūvju skaita noteikšana .....	21
4. Skrūvju izvietošana .....	21
5. Sijas sienīgas stiprība uz izraušanu .....	22
IV Centriski spiestas kolonnas projektēšana .....	23
1. Kolonnas stieņa aprēķina shēma .....	23
2. Pilnsienas kolonnas stieņa šķērsriezuma projektēšana .....	24
2.1 Tērauda stiprības klases izvēle .....	24
2.2 Šķērsriezumu orientējošie parametri .....	24
2.3 Kolonnas plauktiņa un sienīgas noteikšana .....	25
2.4 Kolonnas šķērsriezuma klases noteikšana .....	25
2.5 Kolonnas šķērsriezuma statisko un ģeometrisko raksturojumu noteikšana .....	25
2.6 Kolonnas aprēķina parametru noteikšana .....	26
2.7 Kolonnas stieņa vispārējās noturības pārbaude .....	26
3. Kolonnas augšgala projektēšana .....	27
3.1 Kolonnas augšgala plātnes un vertikālās ribas izmēru noteikšana .....	27
3.2 Vertikālās ribas cirpes stiprības pārbaude .....	28
3.3 Kolonnas zaru sienīgu stiprības pārbaude atbalsta ribas pieslēguma vietā .....	28
4. Kolonnas bāzes projektēšana .....	28
4.1 Kolonnas balstplātnes platuma noteikšana .....	28
4.2 Kolonnas balstplātnes augstuma noteikšana .....	29
4.3 Kolonnas stieņa un balstplātnes metinātā savienojuma aprēķins .....	29

## ***Paskaidrojuma raksts***

Projektā paredzēta tā saucamā normālā tipa siju sistēma, kas sastāv no saliktām metinātām galvenajām sijām un velvētām klājsijām. Pēc statistiskās shēmas izmantotas statistiski noteicamas (vienlaiduma divbalstu) sijas.

Kā norādīts projektēšanas uzdevumā, galveno siju balstīšanai pa ēkas garenvirziena vidusasi paredzētas tērauda pilnsienas kolonnas.

Lai maksimāli samazinātu nepieciešamo materiāla (tērauda) patēriņu un projektu padarītu pēc iespējas ekonomisku, klājsijas izvietojumu pēc iespējas reti ar soli, kas uzdots kā maksimālais ( $s_{max} = 1,0$  m). Pie šāda klājsiju izvietojuma būs nepieciešami lielāki velvētie profili, kas sadārdzina projektu, bet tā kā montāžas elementu skaits ir maksimāli mazāks, tad tas ļauj samazināt montāžas izmaksas.

Klājsiju izvietojuma solis pieņemts vienāds visos laidumos, lai maksimāli unificētu siju sistēmas elementus.

Uz projektējamā pārseguma paredzēts izvietot noliktavas telpas. Ēkas jumta pārsegumu paredzēts balstīt uz ārsienām.

Zem pārseguma atrodošās telpas platums  $B = 11$  m, garums = 33 m, augstums = 6 m.

Starpstāvu pārsegumu siju sistēmu paredzēts balstīt uz ēkas ārsienām un uz 2 pilnsienas kolonnām, kuras izvietotas pa ēkas garenvirziena vidusasi 11 m attālumā viena no otras un no ārsienām.

Uz projektējamās siju sistēmas balstīta monolīta dzelzsbetona plātne ar biezumu  $t_p = 5$  cm, ar kuru iespējams pārsegt laidumu līdz  $s_{max} = 1$  m. Šī plātne stingri saistīta ar tērauda sijām un nodrošina to vispārējo noturību.

Ēkas otrā stāva grīdas konstrukcijā paredzēts 3 cm asfaltbetona slānis.

Starpstāvu pārsegumam pieliktās lietderīgās slodzes raksturīgā (normatīvā) vērtība  $p_k = 8,0$  kN/m<sup>2</sup>.

Tērauda konstrukciju rūpnīcas savienojumi paredzēti metināti, montāžas savienojumi – gan metināti, gan realizēti ar skrūvēm.

Nesošās kolonnas ir centriski spiestas un balstītas uz balstplātnēm, kuras ar enkurskrūvēm ir saistītas ar pamatni. Kolonnas apakšējais gals ir frēzēts, pie tam kolonnas stieņu (zaru) frēzētajiem galiem nodrošināta cieša saskare ar balstplātņi.

Konstrukciju aprēķini izpildīti saskaņā ar:

*EN 1993-1-1 „Vispārīgie noteikumi un noteikumi ēkām”*

*EN 1993-1-5 „Plātņu konstrukciju elementi”*

*EN 1993-1-8 „Savienotājelementu (mezglu) projektēšana”.*

## I klājsiju projektēšana

Dotie lielumi:  $\rho_b = 25 \text{ kN/m}^3$   
 $\rho_a = 18 \text{ kN/m}^3$   
 $l = 5600 \text{ mm}$

$\rho_b$  – dzelzsbetona blīvums

$\rho_a$  – asfaltbetona blīvums

$l$  – sijas aprēķina garums

$g_k$  – virsmas slodzes normatīvā vērtība;

$g_d$  – virsmas slodzes aprēķina vērtība;

$p_k$  – lineāras vienmērīgi izkliedētas lietderīgās slodzes normatīvā vērtība;

$p_d$  – lineāras vienmērīgi izkliedētas lietderīgās slodzes aprēķina vērtība;

$q_k$  – lineāras vienmērīgi izkliedētas pastāvīgas slodzes normatīvā vērtība;

$q_d$  – lineāras vienmērīgi izkliedētas pastāvīgas slodzes aprēķina vērtība;

Slodzes drošuma koeficientu  $\gamma_F$  pastāvīgai slodzei un mainīgām slodzēm pieņem attiecīgi 1,35 un 1,5. Nosakot slodžu summārās vērtības, ar koeficientu 1,03 ievērtē klājsiju pašsvaru.

### 1. Lieces momenta un šķērsspēka vērtības

Pastāvīgo slodžu raksturīgās vērtības:

- Dzelzsbetona plātne:  $g_{1k} = \rho_b \cdot t_p = 25 \cdot 0,05 = 1,250 \text{ kN/m}^2$
- Asfaltbetona grīda:  $g_{2k} = \rho_a \cdot t_a = 18 \cdot 0,03 = 0,540 \text{ kN/m}^2$

Lietderīgās slodzes raksturīgā vērtība:

$$p_k = 8 \text{ kN/m}^2$$

Pastāvīgo slodžu aprēķina vērtības:

- Dzelzsbetona plātne:  $g_{1d} = g_{1k} \cdot \gamma_F = 1,25 \cdot 1,35 = 1,625 \text{ kN/m}^2$
- Asfaltbetona grīda:  $g_{2d} = g_{2k} \cdot \gamma_F = 0,54 \cdot 1,35 = 0,729 \text{ kN/m}^2$

Lietderīgās slodzes aprēķina vērtība:

$$p_d = p_k \cdot \gamma_F = 8 \cdot 1,5 = 12 \text{ kN/m}^2$$

Slodžu summārās vērtības:

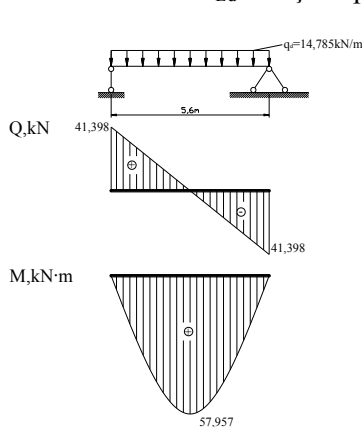
$$g_k = 1,03 \cdot (\Sigma g_{ik} + p_k) = 1,03 \cdot (1,250 + 0,540 + 8) = 10,084 \text{ kN/m}^2$$
$$g_d = 1,03 \cdot (\Sigma g_{id} + p_d) = 1,03 \cdot (1,625 + 0,729 + 12) = 14,785 \text{ kN/m}^2$$

Lineārās slodzes:

$$q_k = g_k \cdot s = 10,084 \text{ kN/m}$$

$$q_d = g_d \cdot s = 14,785 \text{ kN/m}$$

Lieces momenta  $M_{Ed}$  un šķērsspēka  $V_{Ed}$  lielākās vērtības.



- $M_A = \frac{q \cdot l^2}{2} + -V_B \cdot 5,600 = 0;$
- $V_B = \left( \frac{14,785 \cdot 5,600^2}{2} \right) : 5,600 = 41,398 \text{ kN};$
- $V_A = V_B = 41,398 \text{ kN};$
- $M_{Max} = V_A \cdot 2,800 - \frac{q \cdot \left( \frac{l}{2} \right)^2}{2} =$   
 $= 41,398 \cdot 2,800 - \frac{14,785 \cdot 2,800^2}{2} = 57,957 \text{ kN} \cdot \text{m};$

Tātad lielākā lieces momenta vērtība  $M_{Ed} = 57,957 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , bet lielākā šķērsspēka vērtība  $V_{Ed}$  ir  $41,398 \text{ kN}$ .

Attēls 1. Klājsijas statiskā aprēķina shēma un piepūļu epīras

## 2. Tērauda stiprības klase un atbilstošā aprēķina pretestība

Izvēlos S235 tērauda klasi pēc EN 1993-1-1 3.1 tab., kurai  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ , kad  $t \leq 40 \text{ mm}$ .

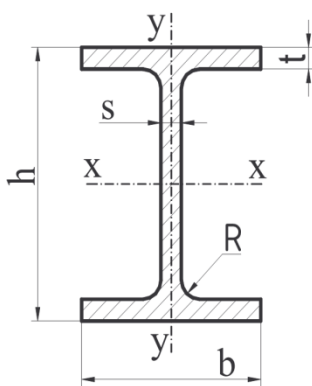
t- elementa nominālais biezums

## 3. Tērauda sijas minimāli nepieciešamais elastīgais pretestības moments

$$W_{el\text{ cal}} = \frac{M_{ed}}{f_y} = \frac{57,957}{235000} = 0,000247 \text{ m}^3 = 246,626 \text{ cm}^3$$

## 4. Dubult T-profila izvēle

Dubult-T profilu izvēlos no sortimenta tabulas 5.2 pēc GOST 26020-83 standarta. Tuvākā augstākā pretestības momenta vērtība ir profilam Nr. 23 B1 ( $W_{el} = 260,5 \text{ cm}^3$ ). Šo profilu arī apskatīšu tālākajos aprēķinos, jo tuvākā zemākais pretestības moments ir profilam Nr. 20 B1, tomēr tam elastīgais pretestības moments ir 194,3. Atšķirība ir 21,23% salīdzinājumā ar  $W_{el\text{ cal}}$ .



- $h - 230 \text{ mm}$
- $b - 110 \text{ mm}$
- $s - 5,6 \text{ mm}$
- $t - 9,0 \text{ mm}$
- $R - 12 \text{ mm}$
- Šķērsriezuma laukums ( $A$ ) -  $32,91 \text{ cm}^2$
- Šķērsriezuma perimetrs ( $P$ ) -  $86,82 \text{ cm}$
- Svars 1m ( $M$ ) -  $25,80 \text{ kg}$
- Inerces moments ( $I$ ) -  $I_x = 2996 \text{ cm}^4$   
 $I_y = 200,3 \text{ cm}^4$
- Pretestības moments ( $W$ ) -  $W_x = 260,5 \text{ cm}^3$   
 $W_y = 36,4 \text{ cm}^3$

Attēls 2. Klājsijas profila šķērsriezuma raksturlielumi

- Inerces rādiuss ( $i$ ) -  $i_x = 9,54 \text{ cm}$   
 $i_y = 2,47 \text{ cm}$
- Šķērsriezuma statistais moments ( $S$ ) -  $S_x = 147 \text{ cm}^3$

## 5. Izvēlētā šķērsriezuma pārbaudes

### 5.1 Šķērsriezuma klases noteikšana profilam Nr. 23 Б1

Vadoties pēc EN 1993-1-1 standarta 5.2 tabulas nosaku izvēlētā šķērsriezuma klasi, izejot no sieniņas un plauktiņa kritērija.

Pēc sieniņas kritērija:

$$c = h - 2(t + R) = 230 - 2(9+12) = 170\text{mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{s} = \frac{170}{5,6} = 30,357$$

Tātad  $\frac{c}{s} < 72\varepsilon$ . No tā izriet, ka šķērsriezums pieder 1. klasei.

Pēc plauktiņa kritērija:

$$c = \frac{b - s - 2R}{2} = \frac{110 - 5,6 - 24}{2} = 40,2\text{mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{40,2}{9} = 4,467$$

Tātad  $\frac{c}{t} < 9\varepsilon$ . No tā izriet, ka šķērsriezums pieder 1. klasei.

Līdz ar to  $W_{pl} = 2 \cdot 147 = 294 \text{ cm}^3$ . Tā kā šķērsriezums atbilst 1. klasei un  $W_{pl} > W_{el\text{ cal}}$  ( $294 > 260,5$ ), ir iespējams samazināt profila izmērus.

Tuvākais mazākais profils ir Nr. 20 Б1 pēc GOST 26020-83 standarta, kuram  $S = 110 \text{ cm}^3$ . Tātad  $W_{pl} = 220 \text{ cm}^3$ , kas ir par 15,4% mazāk kā nepieciešams. Līdz ar to tālākos aprēķinus veicu ar dubult-T profila Nr. 23 Б1 siju.

### 5.2. Sijas stiprības pārbaude

#### Pie lieces momenta iedarbības

Lieces momenta  $M_{Ed}$  aprēķina vērtībai katrā šķēlumā jāapmierina nosacījums:  $\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$ , kur

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f}{\gamma_{M1}} = \frac{294 \cdot 0,235}{1} = 69,090 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{57,957}{69,090} = 0,8389, \text{ tātad nosacījums izpildās.}$$

### Pie šķērsspēka iedarbības

Šķērsspēka  $V_{Ed}$  vērtībai katrā šķēlumā jāapmierina nosacījums:  $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$ . Plastiskā aprēķina gadījumā  $V_{c,Rd}$  ir plastiskās bīdes pretestība  $V_{pl,Rd}$ .

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M1}}$$

$A_v$ - bīdes laukums, kuru aprēķina pēc sakarības  $A - 2bt + (s+2R)t$ . Tas nevar būt mazāks par  $\eta h_w t_w$ , kur  $\eta=1,3$ , ja tērauda klase ir S235. (EN 1993-1-1 6.2.6 (3))

$$A_v = 32,91 - 2 \cdot 11 \cdot 0,9 + (0,56 + 2,4)0,9 = 15,774 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{52,22(23500/\sqrt{3})}{1} = 214,02 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq \frac{41,398}{214,02} = 0,193, \text{ nosacījums izpildās.}$$

### Pie lieces momenta un šķērsspēka vienlaicīgas iedarbības

Ja darbojas šķērsspēks, ir jāpieņem, ka tas ietekmē lieces pretestību. Ja šķērsspēks ir mazāks par pusi no plastiskās bīdes pretestības, tā ietekmi uz lieces pretestību var neņemt vērā (EN 1993-1-1 6.2.8. (2)).

### 5.3 Sijas sienīgas noturības nodrošinājums bīdes ietekmē

Ar stinguma ribām nepastiprinātas sienīgas gadījumā  $\frac{d}{t_w} \leq 72\left(\frac{\epsilon}{\eta}\right)$ ; (EN 1993-1-5 5.1)

$\eta = 1,2$ , jo tērauda klase ir S235

$\epsilon = 1$

d- sijas sienīgas augstums = 188mm

$t_w$ - sienīgas biezums = 5,6mm

$$\frac{188}{5,6} < \frac{72}{1,2} = 33,574 < 60, \text{ nosacījums izpildās.}$$

### 5.4. Sijas stinguma pārbaude

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad I = 2996 \text{ cm}^4$$

Lai noteiktu izlieci sijas vidū, konstruēju vienības epīru,

$$V_A = V_B = 0,5;$$

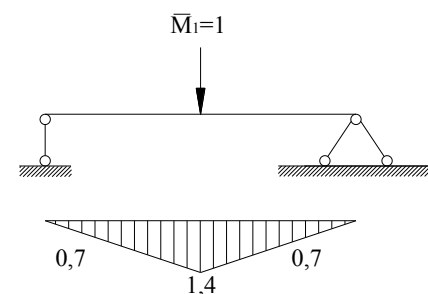
$$M_1 = 0 \text{ m}$$

$$M_2 = 0,7 \text{ m}$$

$$M_2 = 1,4 \text{ m}$$

$$M_2 = 0,7 \text{ m}$$

$$M_3 = 0 \text{ m}$$



Attēls 3. Klājsijas vienības epīra



Slodzes epīra no lietderīgās slodzes normatīvās vērtības

$$M_A = \frac{p_k \cdot l^2}{2} - V_B \cdot 5,6 = 0;$$

$$V_B = \left( \frac{8 \cdot 5,6^2}{2} \right) : 5,6 = 22,40 \text{ kN};$$

$$V_A = V_B = 22,40 \text{ kN};$$

$$M_1 = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = 22,4 \cdot 1,4 - \frac{8 \cdot 1,4^2}{2} = 23,52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_3 = 22,4 \cdot 2,8 - \frac{8 \cdot 2,8^2}{2} = 31,36 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_4 = 22,4 \cdot 4,2 - \frac{8 \cdot 4,2^2}{2} = 23,52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_5 = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\delta_2 = \frac{2,8}{6EI} (4 \cdot 0,7 \cdot 23,52 + 1,4 \cdot 31,36) + \frac{2,8}{6EI} (1,4 \cdot 31,36 + 4 \cdot 0,7 \cdot 23,52) = \frac{102,443 \text{ kN} \cdot \text{m}^3}{EI}$$

$$\delta_2 = \frac{102443000}{21000 \cdot 2996} = 1,63 \text{ cm}$$

Robežvērtība:  $560/300 = 1,87 \text{ cm}$ , tātad nosacījums izpildās.

Slodzes epīra no pilnās slodzes summārās normatīvās vērtības

$$M_A = \frac{q_k \cdot l^2}{2} - V_B \cdot 5,6 = 0;$$

$$V_B = \left( \frac{10,084 \cdot 5,6^2}{2} \right) : 5,6 = 28,24 \text{ kN};$$

$$V_A = V_B = 28,24 \text{ kN};$$

$$M_1 = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = 28,24 \cdot 1,4 - \frac{10,084 \cdot 1,4^2}{2} = 29,65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_3 = 28,24 \cdot 2,8 - \frac{10,084 \cdot 2,8^2}{2} = 39,54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_4 = 28,24 \cdot 4,2 - \frac{10,084 \cdot 4,2^2}{2} = 29,65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

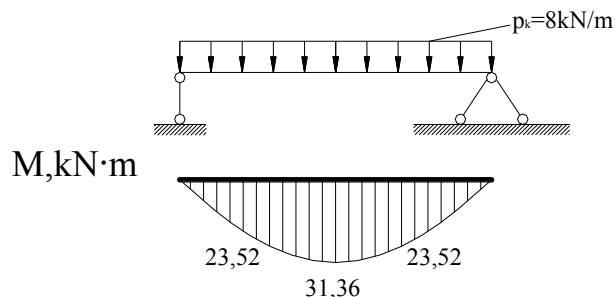
$$M_5 = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\delta_{MAX} = \frac{2,8}{6EI} (4 \cdot 0,7 \cdot 29,65 + 1,4 \cdot 39,54) + \frac{2,8}{6EI} (1,4 \cdot 39,54 + 4 \cdot 0,7 \cdot 29,65) = \frac{129,151 \text{ N} \cdot \text{m}^3}{EI}$$

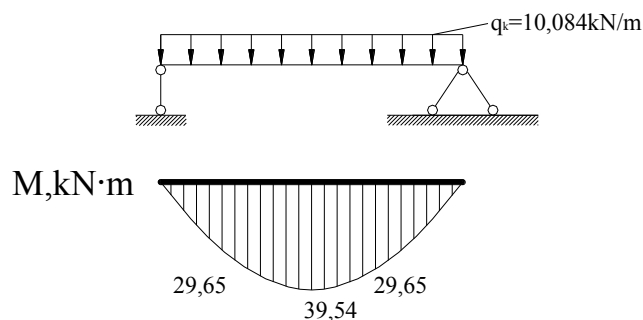
$$\delta_2 = \frac{129151000}{21000 \cdot 2996} = 2,053 \text{ cm}$$

Robežvērtība:  $560/250 = 2,24 \text{ cm}$ , tātad vēl ir 8,35% rezerve.

Dotā sija atbilst visām uzstādītajām prasībām, un to var nodot ekspluatācijai.



Attēls 4. Klājsijas piepūļu epīra no lietderīgās slodzes



Attēls 5. Klājsijas piepūļu epīra no pilnās slodzes

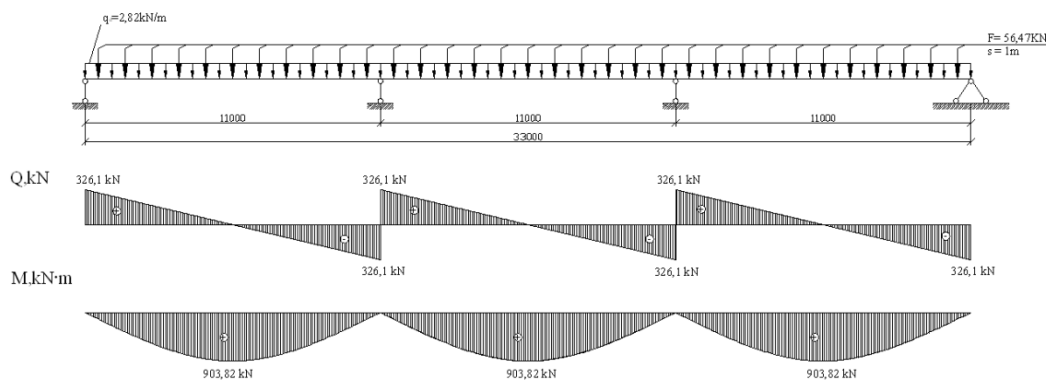
## II galvenās sijas projektēšana

Dotie lielumi:  $q_d = 4,14 \text{ kN/m}$   
 $F_d = 82,796 \text{ kN}$   
 $q_k = 2,82 \text{ kN/m}$   
 $F_k = 56,47 \text{ kN}$   
 $l = 11000 \text{ mm}$

### 1. Lieces momenta un šķērsspēka vērtības

#### 1.1 Lieces moments un šķērsspēks no slodžu raksturīgajām vērtībām

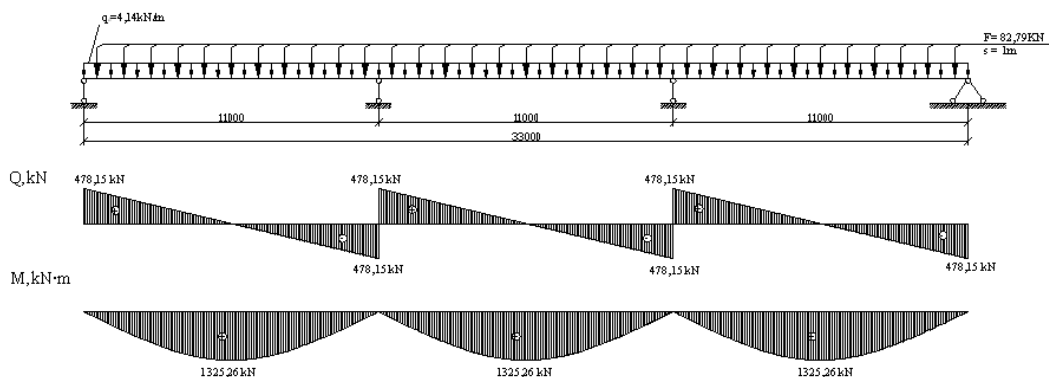
- $M_{Ak} = \frac{q_k \cdot l^2}{2} + F_k \cdot (0,5 + 1,5 + \dots + 10,5) - V_{Bk} \cdot 11 = 0;$
- $V_{Bk} = \left( \left( \frac{2,82 \cdot 11^2}{2} \right) + 56,47 \cdot (60,5) \right) : 11 = 326,1 \text{ kN};$
- $V_{Ak} = V_{Bk} = 326,1 \text{ kN};$
- $M_{Ek} = V_{Ak} \cdot \frac{L}{2} - \frac{q_k \left(\frac{L}{2}\right)^2}{2} - F_k \cdot (5,0 + 4,0 + \dots + 1,0) = 326,1 \cdot 5,5 - \frac{2,82 \cdot 5,5^2}{2} - 56,47(15) =$   
 $= 903,82 \text{ kN} \cdot \text{m};$



Attēls 6. Galvenās sijas piepūļu epīras no slodžu raksturīgās vērtības

## 1.2 Lieces moments un šķērsspēks no slodžu aprēķina vērtībām

- $M_{Ad} = \frac{q d \cdot l^2}{2} + F_d \cdot (0,5 + 1,5 + \dots + 10,5) - V_{Bd} \cdot 11 = 0;$
- $V_{Bd} = \left( \left( \frac{4,14 \cdot 11^2}{2} \right) + 82,796 \cdot (60,5) \right) : 11 = 478,15 \text{ kN};$
- $V_{Ad} = V_{Bd} = V_{Ed} = 478,15 \text{ kN};$
- $M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{L}{2} - \frac{q d \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2}{2} - F_d \cdot (5,0 + 4,0 + \dots + 1,0) = 478,15 \cdot 5,5 - \frac{4,14 \cdot 5,5^2}{2} - 82,796(15) =$   
 $= 1325,26 \text{ kN} \cdot \text{m};$



Attēls 7. Galvenās sijas piepūļu epīras no slodžu normatīvās vērtības

Tātad lielākā lieces momenta vērtība  $M_{Ed} = 1325,26 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , bet lielākā šķērsspēka vērtība  $V_{Ed}$  ir  $478,15 \text{ kN}$ .

## 2. Tērauda stiprības klase un atbilstošā aprēķina pretestība

Izvēlos S235 tērauda klasi pēc EN 1993-1-1 3.1 tab., kurai  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$  un  $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ , kad  $t \leq 40 \text{ mm}$ .  
 t- elementa nominālais biezums

## 3. Sijas šķērsgriezuma komponēšana

### 3.1 Sijas šķērsgriezuma mazākais augstums

$$h_{min} = \frac{(f_y / \gamma_{M0}) \cdot L}{10^4 [\delta / l]} \cdot \frac{M_{Ek}}{M_{Ed}}, \text{ kur}$$

$M_{Ed}, M_{Ek}$  - lielākās lieces momentu vērtības sijas laidumā attiecīgi no slodžu aprēķina un raksturīgajām (normatīvajām) vērtībām;

$[\delta / l]$  - sijas relatīvā robežizliece no slodžu pilnās raksturīgās vērtības, kuru saskaņā ar EN var pieņemt  $[\delta / l] = 1/250$ .

$$h_{min} = \frac{235 \cdot 11}{10^4 \cdot 0,004} \cdot \frac{903,82}{1325,26} = 44,07 \text{ cm}$$

### 3.2 Sijas šķērsgriezuma optimālais augstuma noteikšana

$$h_{opt} = k \sqrt{\frac{W_{elcal}}{t_w}}, \text{ kur}$$

$k = 1.15 \dots 1.23$  (metinātām sijām);

$W_{elcal}$  – sijas šķērsgriezuma nepieciešamais elastīgais pretestības moments

$t_w$  – sijas sienas biezums (pirmajā tuvinājumā ie teicams pieņemt  $t_w = 8 \dots 10$  mm).

$$W_{elcal} = \frac{M_{ed}}{f_y} = \frac{1325,26}{235000} = 0,00564 m^3$$

$$h_{opt} = 1,15 \sqrt{\frac{0,00564}{0,01}} = 0,864 m$$

### 3.3 Sijas sienas galīgā griezuma noteikšana

Veicot tālākās darbības, pieņem sijas sienas augstumu  $h_w \approx h_{opt}$  (bet noapaļotu līdz pilniem 100 mm).

$$h_w = 900 \text{ mm}$$

Sienas minimālo biezumu  $t'_w$ , pie kura būs nodrošināta sijas stiprība pēc tangenciāliem spriegumiem, nosaka pēc formulas :

$$t'_w = \frac{3}{2} \frac{V_{Ed}}{h_w f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3})} = \frac{3}{2} \cdot \frac{478150}{900 \cdot 235 / \sqrt{3}} = 1,96 \text{ mm}$$

Lai varētu nodrošināt sijas sienas vietējo noturību tikai ar stinguma pamatšķērsribām (t.i., bez papildus stinguma garenribas), sijas sienas biezums nedrīkst būt mazāks par  $t''_w$ , kuru nosaka pēc formulas:

$$t''_w = \frac{h_w \sqrt{\frac{f_y}{\gamma_{M0} E}}}{5,5} = \frac{900 \sqrt{\frac{235}{210000}}}{5,5} = 5,47 \text{ mm}$$

Izrietot no šīm sakarībām un lokšņu tērauda sortimenta, sienas biezumu  $t_w$  pieņemu 8 mm.

### 3.4 Sijas šķērsgriezuma horizontālo plauktiņu izmēru noteikšana

Viena plauktiņa (joslas) nepieciešamo šķērsgriezuma laukumu nosaka pēc formulas:

$$A_{fcal} = \frac{2I_{fcal}}{h_0^2}, \text{ kur}$$

$I_{fcal}$  - plauktiņu nepieciešamais inerces moments

$I_{cal}$  - sijas visa šķērsgriezuma nepieciešamais inerces moments

$I_w$  - sijas sienas inerces moments

$$I_{fcal} = I_{cal} - I_w;$$

$$I_{cal} = W_{elcal} \cdot \frac{h_s}{2},$$

$$I_w = \frac{t_w h_w^3}{12}$$

$h_s$  – sijas šķērsgriezuma pilns augstums (orientējoši pieņem  $h_s = h_w + 40$ mm);

$h_0$  – atstatums starp plauktiņu laukuma smaguma centriem (orientējoši pieņem  $h_0 = h_w + 20$ mm).

$$I_w = \frac{0,8 \cdot 90^3}{12} = 48600 \text{ cm}^4$$

$$I_{cal} = (0,00564 \cdot 10^6) \cdot \frac{94}{2} = 0,2651 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$$

$$I_{fcal} = (0,2651 - 0,0486) \cdot 10^6 = 0,2165 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$$

$$A_{f\text{ cal}} = \frac{2 \cdot 0,2165 \cdot 10^6}{92^2} = 51,15 \text{ cm}^2$$

Sijas plauktiņu izmēri, ņemot vērā rekomendācijas un universālā platlokšņu tērauda standartu izmērus, ir:

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

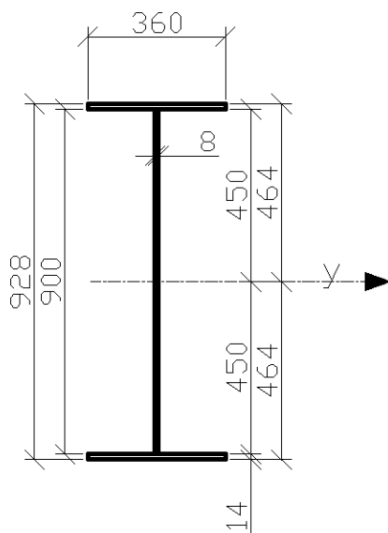
$$b_f = 360 \text{ mm}$$

Sijas augstuma ( $h_s$ ) un sieniņas augstuma ( $h_w$ ) galīgo vērtību noteikšana:

Sijas augstums ( $h_s$ ) = 928 mm

Sijas sieniņas augstums ( $h_w$ ) = 900 mm

#### 4. Izvēlētajā šķērsriezuma statisko raksturojumu noteikšana



- $A = t_w h_w + 2 t_f b_f$   
 $A = 0,8 \cdot 900 + 2 \cdot 14 \cdot 360 = 172,8 \text{ cm}^2$
- $I_y = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 \left( \frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right)$   
 $I_y = 259136,26 \text{ cm}^4$
- $W_{yel} = \frac{2 I_y}{h_s}$   
 $W_{yel} = 5584,8 \text{ cm}^3$
- $S_{yj} = b_f t_f \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)$   
 $S_{yj} = 2303,28 \text{ cm}^3$

Attēls 8. Galvenās sijas profila šķērsriezums

#### 5. Sijas šķērsriezumu pārbaudes

##### 5.1 Šķērsriezuma klases noteikšana

Vadoties pēc EN 1993-1-1 standarta 5.2 tabulas nosaku izvēlētajā šķērsriezuma klasi, izejot no sieniņas un plauktiņa kritērija.

Pēc sieniņas kritērija:

$$c = h_w - 2 \cdot 5 = 900 - 10 = 890 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{s} = \frac{890}{8} = 111,25$$

Tātad  $\frac{c}{s} < 124\varepsilon$ . No tā izriet, ka šķērsriezums pieder 3. klasei.

Pēc plauktiņa kritērija:

$$c = \frac{b - s - 10}{2} = \frac{360 - 8 - 10}{2} = 171 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{c}{t} = \frac{171}{14} = 12,21$$

Tātad  $\frac{c}{t} < 14\varepsilon$ . No tā izriet, ka šķērsgriezums pieder 3. klasei.

## 5.2 Sijas stiprības pārbaudes

### Pie lieces momenta iedarbības

Lieces momenta  $M_{Ed}$  aprēķina vērtībai katrā šķēlumā jāapmierina nosacījums:  $\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$ , kur

$$M_{Ed} = 1325,26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f}{\gamma_{M1}} = \frac{5584,8 \cdot 23500}{1} = 1312,42 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1325,26}{1312,42} = 1,009$$

Tā kā pārslodze sastāda tikai 1%, tad turpmākajiem aprēķiniem varu izmantot doto šķērsgriezumu.

### Pie šķērsspēka iedarbības

Elastiskā aprēķina gadījumā katrā šķēlumā jāizpildās nosacījumam:  $\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3}\gamma_{M1})} \leq 1,0$ , kur

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t} = \frac{478,15 \cdot 2303,28}{259136,26 \cdot 0,8} = 5312,42 \text{ N/cm}^2$$

$$\frac{5312,42}{23500/\sqrt{3}} = 0,131, \text{ nosacījums izpildās.}$$

### Pie lieces momenta un šķērsspēka vienlaicīgas iedarbības

Ja darbojas šķērsspēks, ir jāpieņem, ka tas ietekmē lieces pretestību. Ja šķērsspēks ir mazāks par pusi no plastiskās bīdes pretestības, tā ietekmi uz lieces pretestību var neņemt vērā (EN 1993-1-1 6.2.8. (2)).

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M1}}$$

$A_v$ - bīdes laukums, kuru aprēķina pēc sakarības  $A - 2bt_f + t_w t_f$ . Tas nevar būt mazāks par  $\eta h_w t_w$ , kur  $\eta=1,3$ , ja tērauda klase ir S235. (EN 1993-1-1 6.2.6 (3))

$$A_v = 172,8 - 2 \cdot 36 \cdot 1,4 + 0,8 \cdot 1,4 = 73,12 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{73,12(23500/\sqrt{3})}{1} = 992,07 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq \frac{478,15}{992,07} = 0,482$$

Tā kā šķērsspēka vērtība ir mazāka par pusi no plastiskās bīdes pretestības, tad tā ietekmi uz lieces pretestību neņem vērā.

### 5.3 Sijas sienīgas vietējās noturības pārbaude

Sijas sienīgas vietējā noturība (lokāla izkļaušanās) šķērsspēka iedarbībā nav jāpārbauda, ja izpildās sekojoši nosacījumi:

Ar stinguma ribām nenostiprinātas sienīgas gadījumā:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \left(\frac{\varepsilon}{\eta}\right) \rightarrow 112,5 \stackrel{?}{\leq} 72 \cdot \left(\frac{1}{1,2}\right) \rightarrow 112,5 \not\leq 60 \quad \underline{\text{prasība neizpildās.}}$$

Ar stinguma ribām nostiprinātas sienīgas gadījumā:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 31 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\eta}\right) \cdot \sqrt{K_\tau}$$

Koeficientu  $k_\tau$  nosaka pēc formulas:  $k_\tau = 5,34 + 4 \cdot (h_w / a)^2$

Aprēķinam tika pieņemts, ka stinguma ribas sijai ir izvietotas tikai sijas galos un klājsiju balstījuma vietās.

$a = 1000$  mm (atstatums starp sijas sienīgu pastiprinošajām šķērsribām)

$\eta = 1,2$  tēraudiem ar stiprības klasi līdz S460

$$\varepsilon = \sqrt{235/235} = 1$$

$$k_\tau = 8,58$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 31 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\eta}\right) \cdot \sqrt{K_\tau} \Rightarrow \frac{900}{8} \stackrel{?}{\leq} 31 \cdot \left(\frac{1}{1,2}\right) \sqrt{8,58} = 112,5 \not\leq 75,67$$

Tā kā šīs prasības neizpildījās, tāpēc ir jāveic sijas sienīgas vietējās noturības pārbaude.

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{b,Rd} \leq 1,0, \text{ kur}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$V_{b,Rd}$  – sijas sienīgas veidotā nestspējas sastāvdaļa,  $V_{bf,Rd}$  – sijas plauktiņa veidotā nestspējas sastāvdaļa

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$\sigma_E = 190000 \cdot \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2 \text{ Mpa} = 190000 \cdot \left(\frac{0,8}{90}\right)^2 = 15,012 \text{ Mpa} = 1,501 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{er} = K_\tau \cdot \sigma_E = 8,58 \cdot 1,501 = 12,879 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_w = 0,76 \cdot \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{er}}} = 0,76 \cdot \sqrt{\frac{23,5}{12,879}} = 1,027$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\lambda_w} = \frac{0,83}{1,027} = 0,808$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,808 \cdot 23,5 \cdot 90}{\sqrt{3}} = 986,645 \text{ kN}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right]$$

$$c = a \cdot \left( 0,25 + \frac{1,6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t_w \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) = 100 \cdot \left( 0,25 + \frac{1,6 \cdot 36 \cdot 1,4^2 \cdot 23,5}{0,8 \cdot 90^2 \cdot 23,5} \right) = 26,742 \text{ cm}$$

$$I_f = \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left( \frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 = \frac{36 \cdot 1,4^3}{12} + 36 \cdot 1,4 \cdot \left( \frac{90 + 1,4}{2} \right)^2 = 105268,13 \text{ cm}^4$$

$$W_f = \frac{2 \cdot I_{yf}}{h_s} = \frac{2 \cdot 105268,13}{92,8} = 2268,71 \text{ cm}^3$$

$$M_{f,k} = W_f \cdot f_{yf} = 2268,71 \cdot 235 = 53314,68 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{M_{f,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{533,1468}{1} = 53314,68 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{36 \cdot 1,4^2 \cdot 23,5}{26,742} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{132526}{53314,68} \right)^2 \right] = -321,12 \text{ kN}$$

Tā kā  $V_{bf,Rd} < 0$ , tad rēķinot  $V_{b,Rd}$ , tas nav jāņem vērā.

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_{tw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \Rightarrow 986,654 \leq \frac{1,2 \cdot 23,5 \cdot 90 \cdot 0,8}{\sqrt{3}} \Rightarrow 986,654 \leq 1172,252, \text{ līdz ar to}$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{478,15}{986,654} = 0,4846 \leq 1,0$$

Nosacījums izpildās!

Šķērsribu šķērsriezuma ieteicamie izmēri:

- platums  $b_h \geq \frac{h_w}{30} + 40 \text{ mm} \rightarrow b_h \geq 70 \text{ mm}$
- biezums  $t_s \geq 2b_h \sqrt{f_y/E} \rightarrow b_h \geq 5 \text{ mm}$

Galīgos ribi izmērus  $b_h$  un  $t_s$  saskaņoju ar klājsiju sajūguma mezglu un karsti velmēto lokšņu tēraudu sortimentu:

- $b_h = 100 \text{ mm}$  (nepieciešams loksni ar platumu 200 mm griezt uz pusēm)
- $t_s = 8 \text{ mm}$  (plānākam tēraudam nevar nodrošināt pietiekamu korozijizturību)
- $h = 900 \text{ mm}$

Šo šķērsribu izgatavošanai ir vislietderīgāk izmantot universālo platlokšņu tēraudu, kas ir 900 mm platumā, to sagriežot 100 mm garās joslās.

Saskaņā ar EN 1993-1-5 9.3.3.p. jānosaka kombinēta šķērsriezuma (divpusējo šķērsribu kopā ar sijas sienīgas efektīvo daļu zonā  $15\epsilon t_w$  uz abām pusēm no ribām) laukuma inerces moments  $I_{st}$  pret sienīgas garenvirziena vidusasi, un jāpārbauda, vai iegūtā vērtība apmierina nosacījumu:  $a/h_w < 1,4$   $I_{st} \geq 1,5 h_w^3 t_w^3 / a^2$



$$15\epsilon t_w = 15 \cdot 1 \cdot 8 = 120 \text{ mm}$$

Sijas sienīgas efektīvā daļa –  $2 \cdot 120 + 8 = 248 \text{ mm}$ , kopējais šķērsriezuma platums ir  $360 \text{ mm}$ , tāpēc aprēķinos lietošu  $15\epsilon t_w$ .

$$I_{st} = \frac{b \cdot h_w^3}{12} = \frac{24,8 \cdot 90^3}{12} = 1506600 \text{ cm}^4$$

$$I_{st} \geq 1,5 \cdot \frac{h_w^3 \cdot t_w^3}{a^2} = 1,5 \cdot \frac{90^3 \cdot 0,8^3}{100^2} = 37,32 \text{ cm}^4$$

$$1506600 > 37,32$$

Nosacījums izpildās!

#### 5.4 Sijas vispārējās noturības pārbaude

Šī pārbaude veicama saskaņā ar EN 1993-1-3 6.3.2 p. Taču konkrētajā gadījumā šo pārbaudi var neveikt, jo, saskaņā ar uzdevuma nosacījumiem, uz sijas augšējā plauktiņa ir nobalstīta un ar to droši savienota monolīta dzelzsbetona plātne (tātad nav iespējama sijas augšējā - spiestā - plauktiņa izkļaušanās no vertikālās plaknes, kas ir sijas vispārējās noturības zaudēšanas iemesls).

#### 5.5 Sijas ar izvēlēto šķērsriezumu stinguma pārbaude

Tā kā sijas pieņemtais galīgais augstums  $h_s > h_{\min}$ , tad sijas stingums automātiski ir jau nodrošināts, un veikt šo pārbaudi nav nepieciešams.

## 6. Sijas plauktiņu (joslu) un sienīgas metinātā savienojuma (t.i., joslu šuvju) aprēķins

Saliktu siju plauktiņu un sienīgas savstarpējo savienojumu parasti realizē ar divpusējām joslu šuvēm. Plauktiņu un sienīgas savienojumu rēķina uz bīdes spēku, kurš izraisās sienīgas un plauktiņu saskarvietās. Metinātās sijas bīdes spēku  $T$ , kurš izraisās  $1 \text{ cm}$  garā sijas posmā, rēķina pēc formulas

$$T = \frac{V_{Ed} S_{yj}}{I_y} = \frac{478,15 \cdot 2303,28}{259136,26} = 4,2499 \text{ kN/cm}$$

Joslu šuvēm jābūt nepārtrauktām, ar pastāvīgu, pēc iespējas mazāku, biežumu visā sijas garumā. To veidošanā parasti izmanto automātisko metināšanas paņēmieni, šuvi metinot "silītē". Šuvju nepieciešamo kateti  $k_f$  nosaka, balstoties uz EN 1993-1-8 4.2. formulu – proti,

$$F_{w,Ed} = 0,5T \leq F_{w,Rd},$$

$$F_{w,Ed} = 0,5T = 2,125 \text{ kN/cm} - \text{aprēķina spēks uz vienas šuves garuma vienību (cm);}$$

$F_{w,Rd}$  – šuves aprēķina pretestība uz garuma vienību, un

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \times a;$$

$f_{vw,d}$  – stūra šuves materiāla aprēķina pretestība

$$f_{vw,d} = \frac{f_y / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{0,58 f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{0,58 \cdot 360}{0,8 \cdot 1,25} = 208,8 \text{ N/mm}^2$$

( $f_u$  – viena no savienojamo elementu tērauda aprēķina pretestībām – EN 1993-1-1 3.1. tab.;  $\beta_w$  – korelācijas koeficients no EN 1993-1-5 4.1. tab.;  $\gamma_{M2} = 1.25$ ).

Robežgadījumā:

$$0,5T = \frac{0,58f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \cdot a$$

No šejienes izsaka šuves aprēķina šķērsriezuma platumu „a” un tam atbilstošās šuves katetes aprēķina vērtību  $k_f = 1,4$  a (kā vienādsānu taisnleņķa trīsstūra kateti atkarībā no šī trīsstūra augstuma).

$$a = \frac{0,5T \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}{0,58 \cdot f_u} = \frac{21,25 \cdot 0,8 \cdot 1,25}{0,58 \cdot 360} = 1,02 \text{ mm}$$

Tā kā pastāv konstruktīvais šuvju ierobežojums  $a \geq 3 \text{ mm}$ , tad pieņem, ka šuves platums ir  $a = 3 \text{ mm}$ .

$$k_f = 1,4 \cdot a = 1,4 \cdot 3 = 4,2 \text{ mm}$$

Iegūto rezultātu jānoapaļo līdz veseliem milimetriem, jo konstruktīvi ir iespējams izveidot pilnu milimetru lieluma metinājuma šuves, tāpēc  $k_f = 5 \text{ mm}$ .

## 7. Sijas balstdaļas aprēķins

Balstribas nepieciešamais sšķērsriezuma laukums:

$$A_{1-1} = \frac{F_v}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{478,15}{23,5} = 20,35 \text{ cm}^2$$

$$F_v = V_{Ed} = 627,191 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

Balstribas uz leju izvirzītās daļas „a” garumu parasti pieņem robežās 15-25 mm, es pieņemu 15 mm.

Balsta ribas izmērus „b” un „t” jāpieņem, vadoties no iepriekš atrastā šķērsriezuma laukuma  $A_{1-1}$  un ievērojot universālā platslokšņu tērauda standarta izmērus. Konstruktīvu apsvērumu dēļ balsta ribas platumu „b” pieņem vismaz 200 mm, un biežumu „t” robežās 16 ... 20 mm.

Pieņemu minimālos ribas izmērus:

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

$$t = 16 \text{ mm}$$

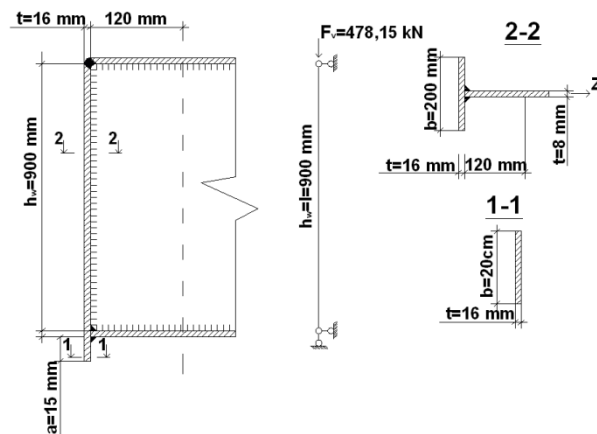
Lai būtu nodrošināta balsta ribas vietējā noturība, jāizpildās nosacījumam:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{E}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \rightarrow \frac{200}{16} \leq \sqrt{\frac{210000}{235}} \rightarrow 12,5 \leq 29,89$$

Prasība izpildās!

Jāpārbauda sijas balsta daļas noturību kompleksajam šķēlumam 2-2, kurā ietilpst pašas šķēsrības laukums un daļa no sijas sienīgas laukuma  $15\epsilon t_w$  garā posmā pret asi „z” (t.i., virzienā, kas perpendikulārs sijas plaknei), izmantojot formulu:

$$F_v/N_{b,Rd} \leq 1,0, \text{ kur } N_{b,Rd} = \chi A_{2-2} F_y / \gamma_{M1}$$



Attēls 9. Sijas balstdaļas šķērsriezums

Saskaņā ar EN 1993-1-5 9.4. p. iestrādātajiem norādījumiem nosakot koeficientu  $\chi$ , jāizmanto lodzes raksturliķne „c” un ieteicams pieņemt  $L_{cr} = h_w$ . Lai varētu izmantot lodzes raksturliķni, nepieciešams noteikt bezdimensijas

laidumu „ $\lambda$ ”, ko nosaka pēc šādas izteiksmes:  $\lambda = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$

$$A_{2-2} = b \cdot t + 15\epsilon t_w = 20 \cdot 1,6 + 15 \cdot 1 \cdot 0,8 = 44 \text{ cm}^2 \text{ (laukums noteikts izmantojot šķēlumu 2-2)}$$

$$L_{cr} = h_w = 900 \text{ mm}$$

$$I_z = \frac{tb^3}{12} + \frac{15\epsilon t_w^3}{12} = \frac{1,4 \cdot 20^3}{12} + \frac{15 \cdot 1 \cdot 0,8^3}{12} = 933,97 \text{ cm}^4 \text{ (inerces moments noteikts izmantojot šķēlumu 2-2)}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{2 \cdot I_z}{A_{2-2}}} = 6,5156 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_1} = \frac{90}{6,52 \cdot 93,9} = 0,147 \rightarrow \chi = 1 \text{ (no lodzes raksturlīknes)}$$

$$N_{b,Rd} = \chi A_{2-2} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot 44 \cdot 23,5 / 1 = 1034 \text{ kN}$$

$$\frac{F_v}{N_{b,Rd}} = \frac{478,15}{1034} = 0,462 < 1,0 \quad \text{Nosacījums izpildās!}$$

Apskatāmajā balstmezglā jāaprēķina vertikālās stūra šuves, ar kurām balstribā tiek piemināta pie sijas gala. Šuvju nepieciešamo kateti  $k_f$  nosaka, balstoties uz formulu:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$F_{w,Ed}$  - aprēķina spēks uz šuves garuma vienību (cm),

$$F_{w,Ed} = \frac{F_v}{2(h_w - 10 \text{ mm})} = \frac{478,15}{2 \cdot (900 - 10)} = 2,68 \text{ kN/cm};$$

$F_{w,Rd}$  - šuves aprēķina pretestība uz garuma vienību,

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$$

$f_{vw,d}$  - stūra šuves materiāla aprēķina pretestība

$$f_{vw,d} = \frac{f_y / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{0,58 f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{0,58 \cdot 36,0}{0,8 \cdot 1,25} = 208,0 \text{ kN/mm}^2$$

Robežgadījumā:

$$F_{w,Ed} = f_{vw,d} \cdot a \rightarrow 2,68 = 20,88 \cdot a \rightarrow a = 1,28 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

Tehnoloģiski minimālais metinājuma šuves augstums ir 3mm, tāpēc  $a = 3 \text{ mm}$ .

$k_f = a \cdot 1,4 = 3 \cdot 1,4 = 4,2 \approx 5 \text{ mm}$  (noapaļojumu veic uz augšu, jo tehnoloģiski iespējams izveidot metinājuma šuvi, kuras lielums ir dots pilnos milimetros)

Tā kā šuves garums (šajā gadījumā  $h_w$ ) lielāks par 150a stūra šuves materiāla aprēķina pretestība  $f_{vw,d}$  (saskaņā ar EN 1993-1-8 4.11. p.) jākorģē, reizinot to ar redukcijas faktoru  $\beta_{Lw,1}$ , kur

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - 0,2 h_w / (150a), \text{ bet jebkurā gadījumā } \beta_{Lw,1} \leq 1,0.$$

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - \frac{0,2 \cdot 90}{150 \cdot 0,3} = 0,8 < 1$$

$$f_{vw,d} = 208,8 \cdot 0,8 = 167,04 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{w,Ed} = f_{vw,d} \cdot a \rightarrow 2,68 = 16,704 \cdot a \rightarrow a = 1,60 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

$$k_f = a \cdot 1,4 = 3 \cdot 1,4 = 4,2 \approx 5 \text{ mm}$$

### III Galvenās sijas un klājsiju sajūguma mezgla projektēšana

Galvenās sijas un klājsiju sajūguma mezgls paredzēts kā locīkla veida sajūgums vienā līmenī, sastiprināts ar iepriekš nesaspriegtām skrūvēm.

#### 1. Skrūvju izvēle

No skrūvju sortimenta izvēlos skrūves M16:

- Skrūvju kāta diametrs  $d = 16$  mm
- Urbuma diametrs  $d_0 = 18$  mm
- Skrūves kāta šķērsriezuma laukums  $A = 201$  mm<sup>2</sup>
- Skrūves kāta šķērsriezuma neto laukums  $A_s = 157$  mm<sup>2</sup>
- Stiprības klase 5,6:

$$f_{yb} = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ub} = 500 \text{ N/mm}^2$$

Skrūves atbilst franču standarta 2.8 4. grupai!

#### 2. Skrūvju nestspējas aprēķins

Skrūvsavienojuma, kurā iestrādātas iepriekš nesaspriegtas skrūves, nestspēju nosaka pēc diviem kritērijiem – proti:

a) pēc skrūves nestspējas cirpē (vienā cirpes plāknē)  $F_{v,Rd} = \alpha_f f_{ub} A / \gamma_{M2}$ ;

b) pēc savienojamo elementu nestspējas virsmas spiedē  $F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2}$ .

$F_{v,Rd}$  un  $F_{b,Rd}$  aprēķina formulās ietilpstošos parametrus nosaka pēc EN 1993-1-8 3.4 tabulas.

- Pēc skrūves nestspējas cirpē vienas cirpes plāknē

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot 500 \cdot \frac{201}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

- Pēc savienojumu elementu nestspējas virsmas spiedē

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot \frac{d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Formulā ietilpstošos aprēķina parametrus var atrast EN 1993-1-8 3.4. tabulā.

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$p_1 = 40 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$p_2 = 45 \text{ mm}$$

$$e_1 = 25 \text{ mm}$$

$$t = 5,6 \text{ mm}$$

$$e_2 = 25 \text{ mm}$$

Malējās skrūves:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{25}{3 \cdot 18} = 0,46$$

$$k_1 = \min\left\{2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right\} = \min\{2,19; 2,5\} = 2,19$$

$$\alpha_b = \min\left\{\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} = \min\{0,46; 1,39; 1\} = 0,46$$

$$F_{v,Rd} = 2,19 \cdot 0,46 \cdot 360 \cdot \frac{16 \cdot 5,6}{1,25} = 25,996 \text{ kN}$$

Vidējās skrūves:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{40}{3 \cdot 18} - 0,25 = 0,49$$

$$k_1 = \min\left\{1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right\} = \min\{1,8; 2,5\} = 1,8$$

$$\alpha_b = \min\left\{\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} = \min\{0,49; 1,39; 1\} = 0,49$$

$$F_{b,Rd} = 1,8 \cdot 0,49 \cdot 360 \cdot \frac{16 \cdot 5,6}{1,25} = 22,760 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = \min\{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = 22,760 \text{ kN}$$

$F_{v,Rd}$  un  $F_{b,Rd}$  attiecas uz savienojumā ietilpstošu vienu skrūvi;

Nestspējas  $F_{b,Rd}$  aprēķina formulā ar parametru „t” apzīmēts mazākais summārais to savienojamo elementu biezums, kuri tiek stiepti (spiesti) vienā virzienā.

### 3. Skrūvju skaita noteikšana

Nepieciešamo skrūvju skaitu nosaka pēc formulas:

$$n = 1,2 \cdot \frac{F_{v1}}{F_{Rd}} = 1,2 \cdot \frac{41,398}{22,760} = 2,18 \approx 3$$

Konkrētā tipa savienojumos, kuros ietilpst vairākas skrūves, konstrukciju elementus un sastiprināšanas detaļas rēķina uz spēku  $F = 1,2 F_{v1}$ , kur  $F_{v1}$  ir klājsijas balstrekcija. Ar papildus koeficientu 1,2 ievērtē daļējā iespīlējuma, kas veidojas sajūguma mezglā, ietekmi. Šis daļējais iespīlējums ir cēlonis tam, ka sajūguma vietā rodas balstmoments  $M$ , kas savukārt izraisa uz skrūvēm papildus iedarbojošus horizontālus spēkus  $F_h$ .

### 4. Skrūvju izvietošana

Klājsiju sienīņas augstums sajūguma vietā  $h = 230$  mm.

Izvietojuma ierobežojumi:

$$25 \text{ mm} \leq e_1 \leq 4t + 40 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} \leq e_1 \leq 75 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} \leq e_2 \leq 75 \text{ mm}$$

$$40 \text{ mm} \leq p_1 \leq 14t \text{ vai } 200 \text{ mm}$$

$$40 \text{ mm} \leq p_1 \leq 14t \text{ vai } 200 \text{ mm}$$

$$40 \text{ mm} \leq p_1 \leq 112 \text{ mm}$$

$$45 \text{ mm} \leq p_1 \leq 112 \text{ mm}$$

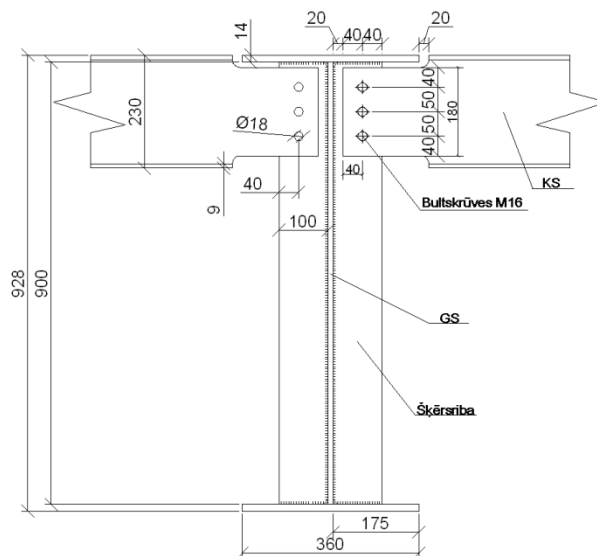
Izvēlētais skrūvju izvietojums:

Skrūvju izvietojuma attālum:

$$e_1 = 40 \text{ mm};$$

$$e_2 = 40 \text{ mm};$$

$$p_1 = 50 \text{ mm};$$



Attēls 10. Galvenās sijas un klājsijas sajūguma mezgli

## 5. Sijas sienīgas stiprība uz izraušanu

Jāpārbauda sijas sienīgas stiprība uz izraušanu pēc formulas:  $1,2F_{v1} \leq V_{eff Rd}$ :

$$V_{eff Rd} = \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}Y_{M0}} \right) \cdot A_{v,eff}, \text{ kur efektīvais cirpes laukums } A_{v,eff} = t_w L_{v,eff}$$

$$L_{v,eff} = L_v + L_1 + L_2 \leq L_3$$

$$L_1 = a_1 \leq 5d \Rightarrow 40 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$$

$$L_2 = (a_2 - kd_0) \cdot \frac{f_u}{f_y} = (40 - 0,5 \cdot 18) \cdot \frac{360}{235} = 47,49 \text{ mm}$$

$$L_3 = L_v + a_1 + a_3 \leq (L_v + a_1 + a_3 - nd_0) \frac{f_u}{f_y}$$

$$L_v + a_1 + a_3 = 100 + 40 + 40 = 180 \text{ mm}$$

$$(L_v + a_1 + a_3 - nd_0) \frac{f_u}{f_y} = (100 + 40 + 40 - 3 \cdot 18) \frac{360}{235} = 193,02 \text{ mm}$$

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

$$a_1 = a_2 = a_3 = 40 \text{ mm}$$

$k = 0,5$  (vienas skrūvju vertikālās rindas gadījumā)

$$L_{v,eff} = L_v + L_1 + L_2 \leq L_3 \rightarrow 100 + 40 + 47,4 > 180 \rightarrow L_{v,eff} = 180 \text{ mm}$$

$$A_{v,eff} = t_w L_{v,eff} = 9 \cdot 180 = 1620 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff Rd} = \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}Y_{M0}} \right) \cdot A_{v,eff} = \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right) \cdot 1620 = 219,80 \text{ kN}$$

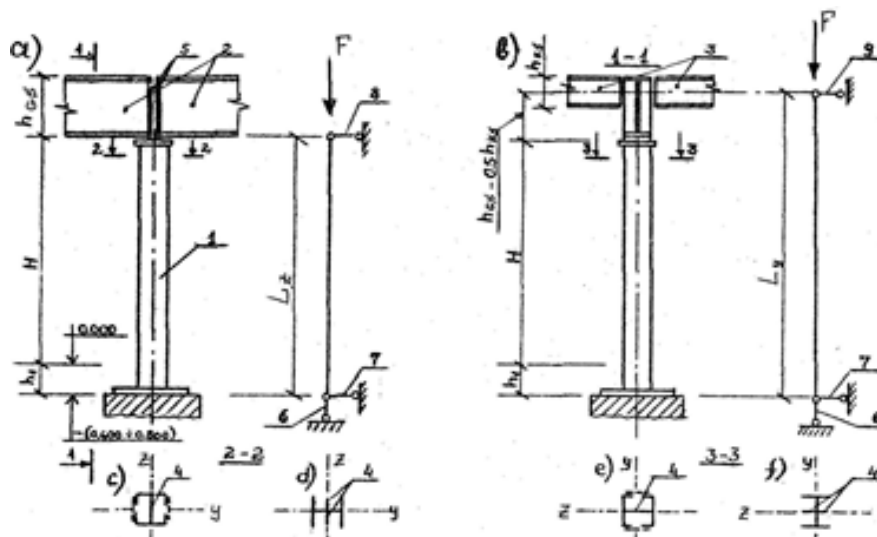
$$1,2F_{v1} \leq V_{eff Rd} \rightarrow 1,2 \cdot 41,398 \stackrel{?}{\leq} 219,80 \Rightarrow 49,678 < 219,80$$

Sijas sienīgas stiprības pārbaude uz izraušanu pierāda, ka projektētajam mezglam ir pietiekama izturība uz izraušanu.

## IV Centriski spiestas kolonnas projektēšana

### 1. Kolonnas stieņa aprēķina shēma

Kolonnas aprēķina garumu nosaka pēc sekojošas shēmas:



Attēls 11. Kolonnas stieņa aprēķina garuma noteikšana  
(a – šķēluma shēma prez z asi; b) – y asi

Kad izvēlēta kolonnas aprēķina shēma, kolonnas stieņa aprēķina garumu  $L_{cr}$  pret stieņa šķērsriezuma attiecīgo galveno inerces asi izsaka itļo pēc formulas:

$$L_{cr} = \mu \cdot L, \text{ kur}$$

$L$  – stieņa ģeometriskais garums attiecīgajā plaknē (resp., atstatums starp pret pārvietojumiem nostiprinātiem šķēlumiem)

$\mu$  - aprēķina garuma koeficients, kas atkarīgs no stieņa galu nostiprinājumam (šajā gadījumā  $\mu = 1$ )

Kolonnas stieņa ģeometriskais garums:

- galveno siju plaknē – t.i., plaknē pa asi „z”

$$L_z = H + h_1 = 6 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = 6,6 \text{ m}$$

- plaknē pa asi „y” pie nosacījuma, ka abu veidu sijas (galvenās sijas un klājsijas) sajūgtas vienā līmenī

$$L_y = H + h_1 + (h_{GS} - 0,5h_{KS}) = 6 + 0,6 + (0,928 - 0,5 \cdot 0,23) = 7,413 \text{ m}$$

$H$  – telpas augstums saskaņā ar projekta izejas datiem;

$h_1$  – kolonnas bāzes iedziļinājums zem 1. stāva grīdas līmeņa – šo iedziļinājumu pieņem robežās 0,6 ... 0,8 m;

$h_{GS}$  – galvenās sijas šķērsriezuma augstums;

$h_{KS}$  – klājsiju šķērsriezuma augstums.

Kolonnas stieņa aprēķina garums:

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

$$L_{cr,y} = L_y \cdot \mu = 7,413 \cdot 1 = 7,413 \text{ m}$$

Kolonna i pieliktā slodze no galvenās sijas:

$$F = 2 \cdot R = 2 \cdot 478,15 = 956,3 \text{ kN}$$

Ass spēks kolonnas stienī:

$$N_{Ed} = F = 956,3 \text{ kN}$$

## 2. Pilnsienas kolonnas stieņa šķērsriezuma projektēšana

Dotajā gadījumā ir jāizveido pilnsienas kolonna, kas būtu platplauktu dubult-T profils.

### 2.1 Tērauda stiprības klases izvēle

Vadoties pēc standarta EN 10025-2 jāizvēlas tērauda stiprības klasi. Pieņemot, ka plauktiņu un sienīņas biezumi nepārsniedz 40 mm, nosaku atbilstošās aprēķina pretestības:

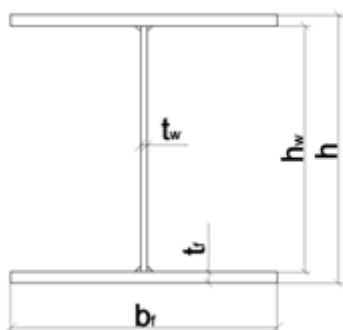
$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

Aprēķina formulās ietilpstošo drošuma koeficientu  $\gamma_{M1}$  pieņem pēc EN1993-1-1 6.1.p

$$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,0; \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

### 2.2 Šķērsriezumu orientējošie parametri



$h$  - kolonnas pilnais augstums;  
 $h_w$  - kolonnas sienīņas augstums;  
 $t_w$  - kolonnas sienīņas biezums;  
 $b_f$  - kolonnas plauktiņu platums;  
 $t_f$  - kolonnas plauktiņu biezums.

Attēls 12. Pilnsienas kolonnas šķērsriezums

Lai noteiktu noturību pret  $y$  asi, jāizskaitļo šķērsriezuma orientējošie parametri:

$$A_{cal} = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi \cdot f_y}$$

$$i_{z,cal} = \frac{L_{cr,z}}{\lambda_z}$$

$$\lambda_z = 80 \dots 100 \rightarrow \lambda_z = 80$$

Lai pēc EN1993-1-1 6.3.att. „Ļodzes raksturlīknes” „c” grafika noteiktu  $\chi$  vērtību ir jāizmanto sekojošas sakarības:

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$f_y$  - aprēķina pretestība  $\text{N/mm}^2$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_{z,cal} \cdot \lambda_1} = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{80}{93,9} = 0,852 \rightarrow \chi = 0,64$$

$$A_{cal} = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi \cdot \lambda_z} = \frac{956,3 \cdot 1}{0,64 \cdot 235} = 63,58 \text{ cm}^2$$

$$i_{z,cal} = \frac{L_{cr,z}}{\lambda_z} = \frac{660}{80} = 8,25 \text{ cm}$$

$\lambda_z$  - brīvi pieņemtais stieņa lokanums, ieteicams pieņemt 80... 100;

$\chi$  - kolonnas lokanumam atbilstošais stieņa garenlieces koeficients (nolasot no grafika - 064);



### 2.3 Kolonnas plauktiņa un sienīņas noteikšana

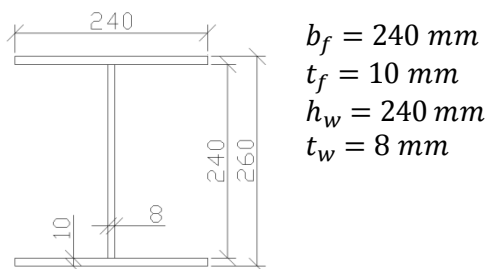
Lai noskaidrotu profila plauktiņa platumu izmantoju sakarību:

$$b_f = \frac{i_{z,cal}}{0,24} = \frac{8,25}{0,24} = 34,38 \text{ cm}$$

Izvēloties kolonnas sienīņas un plauktiņu izmērus ir jāņem vērā izrēķinātais laukums, platlokšņu tērauda sortiments un arī sekojošas sakarības:

$$h \geq b_f$$
$$t_w \leq t_f \leq 3t_w$$

Lai izrēķinātu izveidotā profila piemērotākos lokšņu izmērus tika izveidota tabula datorprogrammā Microsoft Excel un izraudzīts vispiemērotākais materiāla daudzums, kas atbilst sortimentam un apmierina dotās sakarības. Tika iegūti šādi lielumi:



Attēls 13. Pilnsienas kolonnas šķērs griezums ar izmēriem

### 2.4 Kolonnas šķērs griezuma klases noteikšana

Pēc EN1993-1-1 5.2. tab. jānosaka kolonnas šķērs griezuma klasi pēc sienīņas un plauktiņa kritērija.

Pēc sienīņas kritērija:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{240}{8} = 30 \rightarrow 1. \text{ klase}$$

Pēc plauktiņa kritērija:

$$\left(\frac{b_f - t_w}{2}\right) / t_f = \left(\frac{240 - 10}{2}\right) / 8 = 11,60 \rightarrow 3. \text{ klase}$$

Kā galīgā tiek pieņemta 3. šķērs griezuma klase.

### 2.5 Kolonnas šķērs griezuma statisko un ģeometrisko raksturojumu noteikšana

$$A = h_w \cdot t_w + 2 \cdot b_f \cdot t_f = 24 \cdot 0,8 + 2 \cdot 240 \cdot 1 = 67,2 \text{ cm}^2$$

$$I_z = \frac{h_w \cdot t_w^3}{12} + 2 \cdot \frac{t_f \cdot b_f^3}{12} = \frac{24 \cdot 0,8^3}{12} + 2 \cdot \frac{1 \cdot 24^3}{12} = 2305 \text{ cm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2305}{121,60}} = 5,86 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + \left(\frac{h_w + t_f}{2}\right)^2 \cdot b_f \cdot t_f\right) = \frac{0,8 \cdot 24^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{24 \cdot 1^3}{12} + \left(\frac{24 + 1}{2}\right)^2 \cdot 24 \cdot 1\right) = 8425,6 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8425,6}{121,60}} = 11,20 \text{ cm}$$

## 2.6 Kolonnas aprēķina parametru noteikšana

Atbilstoši EN1993-1-1 6.3.p. nosaka kolonnas stieņa aprēķina parametrus. Lokanumi pret abām galvenajām asīm (obligāti ir jābūt <120):

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{741,3}{11,20} = 66,2$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{660}{5,86} = 112,69$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{66,2}{93,9} = 0,705$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{112,69}{93,9} = 1,2$$

$$\bar{\lambda} = \min\{\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z\} = 0,705$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,705 - 0,2) + 0,705^2] = 0,872$$

$$\chi = 1 / [\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}] = 1 / [0,872 + \sqrt{0,872^2 - 0,705^2}] = 0,772$$

$\alpha$ - nepilnības faktors (EN1993-1-1)

## 2.7 Kolonnas stieņa vispārējās noturības pārbaude

Pārbaude tiek veikta pēc EN 1993-1-1 6.46.

$$\frac{N_{ED}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0,772 \cdot 67,2 \cdot 23,5 / 1 = 1139,50 \text{ kN}$$
$$\frac{N_{ED}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \frac{956,3}{1139,5} = 0,839 \leq 1,0$$

Kolonnas galējie izmēri tika pieņemti no tāda skatu punkta, lai tie apmierinātu visas prasības, kas tika izvirzītas kolonnai, tāpēc tika iegūta nedaudz lielāka rezerve, kā nepieciešams. Lai iegūtu mazāku nestspējas rezervi un taupītu materiālu, būtu jāizmanto nesortimenta tērauds, kas būtu ekonomiski nepamatoti.

Nobeidzot kolonnas stieņa projektēšanu ir jāpārbauda vai izpildās nosacījums:

$$h_w / t_w \leq 2,3 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \rightarrow \quad \frac{240}{8} \stackrel{?}{\leq} 2,3 \cdot \sqrt{\frac{21000}{23,5}} \quad \rightarrow \quad 30 < 58,46$$

Nosacījums izpildās!

### 3. Kolonnas augšgala projektēšana

#### 3.1 Kolonnas augšgala plātnes un vertikālās ribas izmēru noteikšana

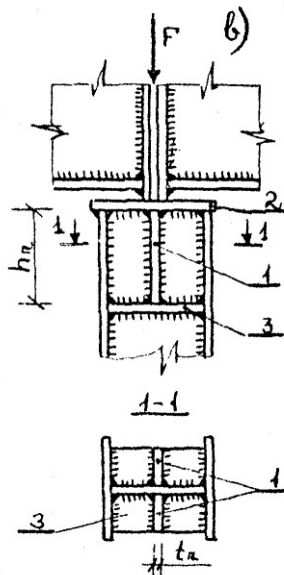
Tā kā kolonnas un galvenās sijas savienojuma mezgls paredzēts locīkveida, tad atbilstošais konstruktīvais risinājums parādīts 14. attēlā.

Kolonnas augšgala plātnes biežumu konstruktīvi pieņem robežās no 16 – 20 mm, mans pieņemtais biežums ir 20 mm. Plātnes izmēri  $260 \times 240 \times 20$  mm, kas ir saskaņoti ar universālā tērauda lokšņu sortimentu.

Vertikālās ribas plātums 100 mm, kuru paredzēts izgatavot sagriežot universālā platlokšņu tērauda 200 mm plāksni uz pusēm.

Metināto šuvju kateti (metinājums pie atbalstplātnes un atbalsta ribas ar kolonnas stieni) pieņem konstruktīvi –  $k_f = 6$  mm.

Kolonnas augšgala vertikālās atbalstribas 1 biežumu  $t_r$  nosaka, vadoties no tās stiprības virsmas spiedē pēc formulas:



$$t_r = \frac{F}{\frac{0,9f_u}{\gamma M_0} l_{vs}}, \text{ kur}$$

$F$  – vertikālā slodze, kas tiek pielikta kolonnai (956,3 kN)

$l_{vs}$  – virsmas spiedes laukuma garums (to pieņem vienādu ar sijas balstribas plātumu „b” plus divkārtotu atbalsta plātnes biežumu).

$$l_{vs} = 200 + 2 \cdot 16 = 232 \text{ mm}$$

Attēls 14. Kolonnas augšgala konstruktīvais risinājums

$$t_r = \frac{F}{\frac{0,9f_u}{\gamma M_0} l_{vs}} = \frac{956,3}{\frac{0,9 \cdot 360}{1} \cdot 232} = 12,51 \text{ mm} \rightarrow t_r = 14 \text{ mm (no sortimenta)}$$

Kolonnas gala ribas 1 nepieciešamo augstumu  $h_r$  nosaka vertikālo skrūvju, ar kurām slodze no šīs ribas tiek nodota kolonnas stienim, nepieciešamasi garums:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 0,58}{0,8 \cdot 1,25} = 208,8 \text{ N/mm}^2$$

$$k_t = 6 \rightarrow a = \frac{k_t}{1,4} = \frac{6}{1,4} = 4,29 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 208,8 \cdot 4,29 = 895,75 \text{ N/mm}$$

$$l_{w,eff} = \frac{F_v}{4 \cdot F_{w,Rd}} = \frac{956,3}{4 \cdot 895,75} = 266,90 \text{ mm}$$

$$h_r = l_{w,eff} + 10 \text{ mm} = 266,9 + 10 = 276,9 \text{ mm} \rightarrow h_r = 280 \text{ mm}$$

Kolonnas vertikālās ribas galīgie izmēri –  $280 \times 100 \times 14$  mm.

### 3.2 Vertikālās ribas cirpes stiprības pārbaude

$$\frac{F}{2 \cdot h_r \cdot t_r} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$\frac{F}{2 \cdot h_r \cdot t_r} = \frac{956,3}{2 \cdot 280 \cdot 14} = 121,98 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 0,58 \cdot 235 = 136,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{F}{2 \cdot h_r \cdot t_r} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \rightarrow 121,98 < 136,3$$

Nosacījums izpildās!

### 3.3 Kolonnas zaru sienīņu stiprības pārbaude atbalsta ribas pieslēguma vietā

Tā kā projektētās pilnsienas kolonnas stieņa sienīņas biezums ir relatīvi mazs, nepieciešams pārbaudīt arī šo elementu stiprību cirpē kolonnas augšgala atbalsta ribas pieslēguma vietā pēc formulas:

$$\frac{F}{n h_r t_w} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}, \text{ kur } n - \text{cirpes virsmu skaits (šajā gadījumā } n = 2);$$

$t_w$  – kolonnas zara sienīņas vai kolonnas stieņa sienīņas biezums.

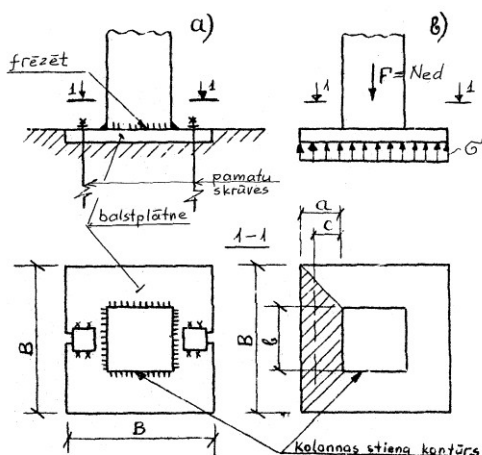
$$\frac{F}{2 \cdot h_r \cdot t_r} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \rightarrow 121,98 < 136,3$$

Nosacījums izpildās!

## 4. Kolonnas bāzes projektēšana

Centriski spiestu kolonnu gadījumā kolonnas bāzi un pamatu savienojušās pamatu skrūves (enkurskrūves) paredzētas tikai kolonnas projekta stāvokļa fiksēšanai un tās nostiprināšanai montāžas laikā, un šo skrūvju diametru pieņemu 20 mm, skrūvju skaits – 2.

Vienkāršākais centriski spiestu kolonnu locīklveida bāzes risinājums (kas tālāk tiks apskatīts) sastāv no relatīvi biezas tērauda balstplātnes, uz kuras balstās kolonnas stieņa frēzēts apakšgals.



#### 4.1 Kolonnas balstplātnes platuma noteikšana

Balstplātni parasti plānā pieņem kvadrātveida, un tās malasa izmēru B nosaka atkarībā no pamata betona stiprības vietējā spiedē balsta savienojumā „ $f_j$ ” pēc formulas:

$$B = \sqrt{\frac{Ned}{f_j}}, \text{ kur } f_j = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd}$$

$f_{cd}$  - pamata betona spiedes cilindriskā aprēķina pretestība  $f_{cd} = a_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$

$f_{ck}$  - pamata betona spiedes cilindriskā raksturīgā (normatīvā) pretestība, pieņemu, ka man ir C12/15 betona klase;

$a_{cc}$  - var pieņemt 1,0;

$\gamma_c$  - 1,5 (drošuma koeficients);

$\beta_j$  - savienojuma koeficients (var pieņemt 2/3);

$k_j$  - spriegumu koncentrācijas koeficients (var pieņemt 1,0).

Attēls 15. Centriski spiestas kolonnas bāze ar frēzētu kolonnas stieņa apakšgalu

$$f_{cd} = \frac{a_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 12}{1,5} = 8 \text{ MPa}$$

$$f_j = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot 1,0 \cdot 8 = 5,33 \text{ MPa}$$

$$B = \sqrt{\frac{N_{Ed}}{f_j}} = \sqrt{\frac{956300}{5,33}} = 423,4 \text{ mm} = 42,34 \text{ cm}$$

Tā kā kolonnas platums ir 240 mm, bet plātnes pārkarei jābūt 100..120 mm, tad lai izvietotu pamatu skrūves, balstplātnes platums ir jāpaliek:

$$B = b_{kol} + 2a = 240 + 2 \cdot 100 = 440 \text{ mm} \rightarrow B = 450 \text{ mm} \text{ (saskaņojot ar sortimentu)}$$

Galīgais plātnes platums pieņemts 450 mm.

#### 4.2 Kolonnas balstplātnes augstuma noteikšana

Apskatāmo balstplātni rēķina kā plātni, kura no apakšas noslogota ar vienmērīgi izkliedētu virsmas slodzi – kontaktspriegumiem  $\sigma_f$ , kurus savukārt nosaka pēc formulas:

$$\sigma_f = \frac{N_{ed}}{L^2} = \frac{N_{ed}}{A_{pl}} = \frac{956300}{450^2} = 4,722 \text{ MPa}$$

Drošības labad tiek pieņemts, ka iesvīrotais trapecveida laukums (15. attēls) strādā kā neatkarīga konsole ar platumu „b” un iespīlējumu pie kolonnas kontūra sānu skaldnes. Lielāko lieces momentu tādā gadījumā nosaka pēc formulas:

$$M_{ed} = \sigma_f \cdot A_{eff} \cdot c$$

$A_{eff}$  – iesvīrotais trapeces laukums:

$$A_{eff} = \frac{B + b}{2} \cdot a = \frac{450 + 240}{2} \cdot 105 = 362,25 \text{ cm}^2$$

$c$  – atstatums no minētās trapeces smaguma centra līdz kolonnas kontūra sānu skaldnei:

$$c = a \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{B + 2b}{B + b}\right) = 105 \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{450 + 2 \cdot 240}{450 + 240}\right) = 57,83 \text{ mm}$$

$$M_{ed} = \sigma_f \cdot A_{eff} \cdot c = 4,722 \cdot 36225 \cdot 57,83 = 9,89 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Plātnes nepieciešamo biezumu nosaka pēc izteiksmēm:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0, \text{ kur } M_{Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{b \cdot t^2}{6} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

No šīs izteiksmes izsaka plātnes biezumu  $t$ :

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{b \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 9,89 \cdot 1}{450 \cdot 235}} = 23,69 \text{ mm} \rightarrow t = 25 \text{ mm}$$

Balstplātnes galīgie izmēri ir 450×450×25 mm.

#### 4.3 Kolonnas stieņa un balstplātnes metinātā savienojuma aprēķins

Formāli slodze no kolonnas stieņa ar frēzētu apakšgalu uz palstplāknī tiek nodota caur šo elementu saskarvirsmu, un metinātās šuves, ar kurām šie elementi tiek savienoti, var pieņemt konstruktīvi. Taču, lai nodrošinātu konstrukciju stabilitāti arī pie nejauša lieces momentu un šķērsspēku iedarbības, praksē pieņemts šīs šuves rēķināt uz nosacītu vertikālu spēku:

$$F' = 0,15F = 0,15 \cdot 956,30 = 143,45 \text{ kN}$$

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \cdot a = 0,58 \cdot 360 \cdot a = 208,8 \cdot a \text{ MPa}$$

$$F_{w,Ed} = F' = 143,45 \text{ kN}$$

No šejienes robežgadījumā:

$$a = \frac{F_{w,Ed}}{f_{vw,d}} = \frac{143,45}{208,8} = 0,687 \text{ mm} \rightarrow a < a_{min} \rightarrow a = a_{min} = 3 \text{ mm}$$

$$k_t = a \cdot 1,4 = 3 \cdot 1,4 = 4,2 \approx 5 \text{ mm}$$