

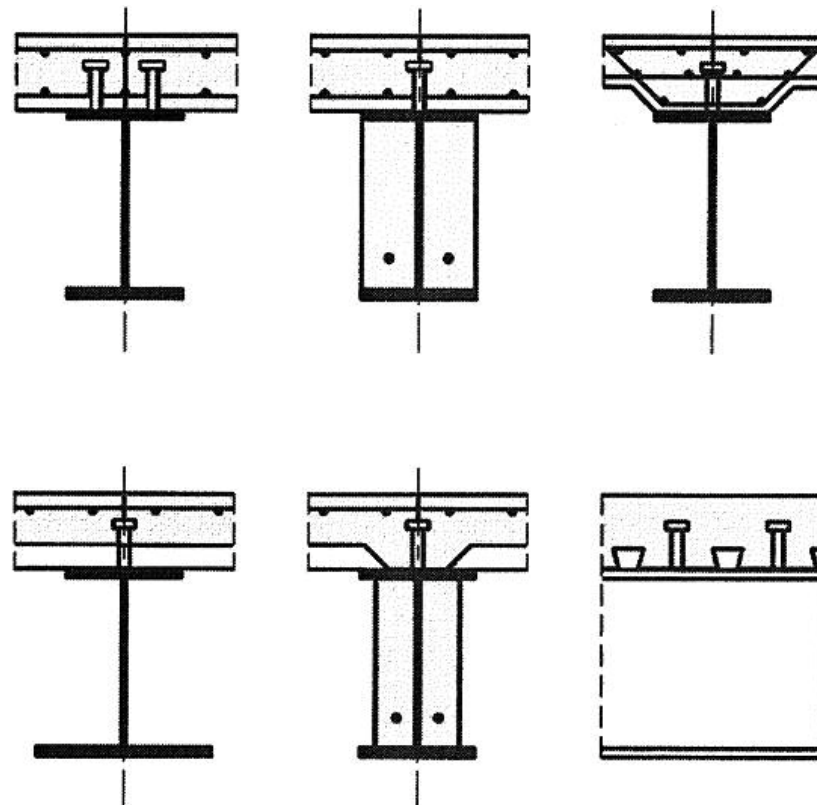
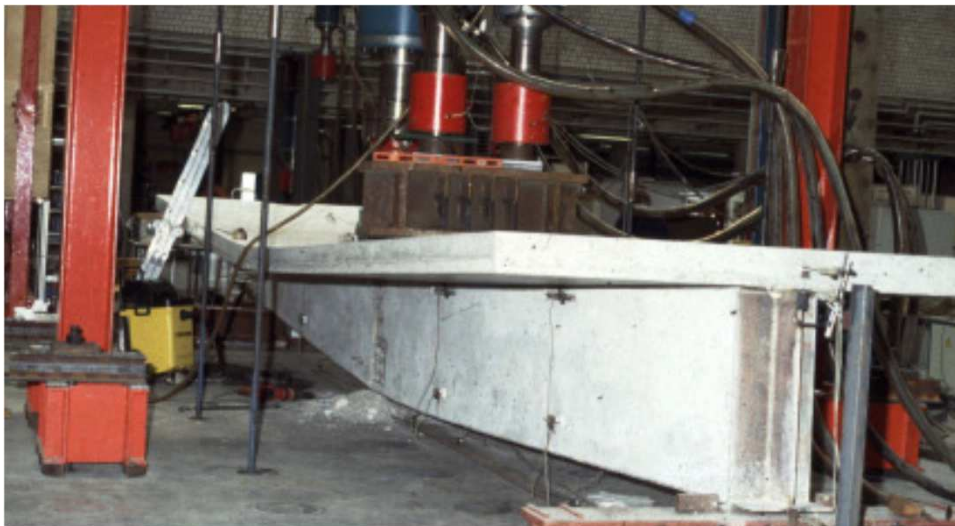
# Tēraudbetona konstrukcijas

tēraudbetona liektu elementu (siju) projektēšana pēc EN 1994-1-1

lektors:

Normunds Tirāns, SIA «IG Kurbads»

# Tēraudbetona sijas



# Projektēšana pēc LVS EN 1994

- Materiālu raksturlielumi pēc dzelzsbetona un tērauda konstrukciju projektēšanas standartiem - EN 1992 un EN 1993
- Drošības koeficienti tiek precizēti Latvijas Nacionālos pielikumos

Eirokodeksi paredz, ka konstruktīvās sistēmas izvēli un konstrukcijas projektēšanu veic atbilstoši kvalificēts un pieredzējis personāls – prasīts EN-1990 1.3. (2) un turpmāk ievadot arī katru eirokodeksu.

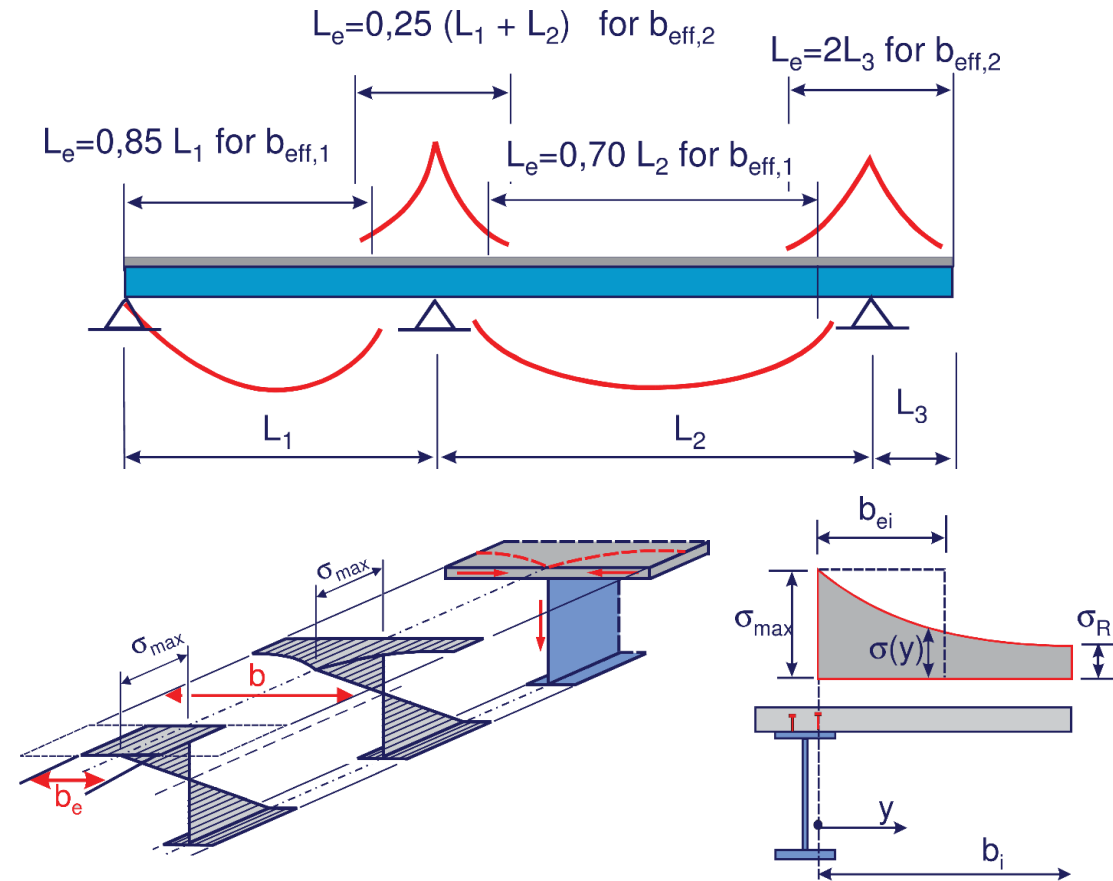
# Liektas sijas efektīva platuma noteikšana

Laidumiem un vidējiem balstiem efektīvais platums:

$b_{\text{eff}} = b_0 + b_{e,1} + b_{e,2}$ , kur

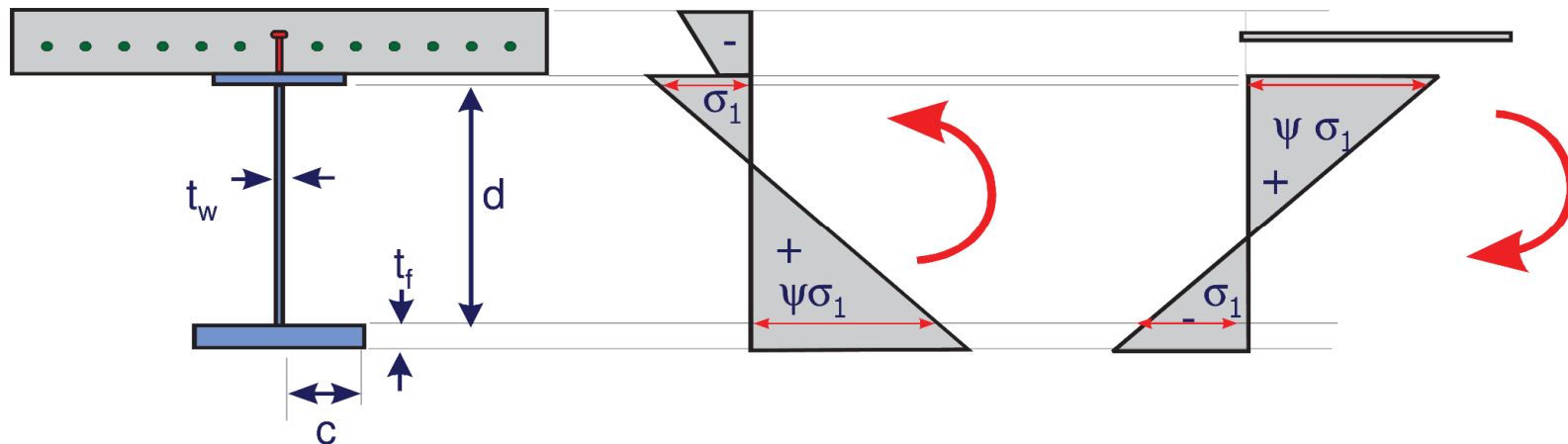
- $b_{e,i} = L_e / 8$ ;
- $b_0$  – attālums starp malējiem pretbīdņiem pa platumu;
- $L_e$  – ekvivalentais laidums.

Bet ne vairāk par fiziski iespējamo platumu!



# Liektas sijas stiprības elastīgais aprēķins

EN 1994-1-1 pieļauj 1., 2. un 3. klases tērauda šķērsgriezumiem (EC3).

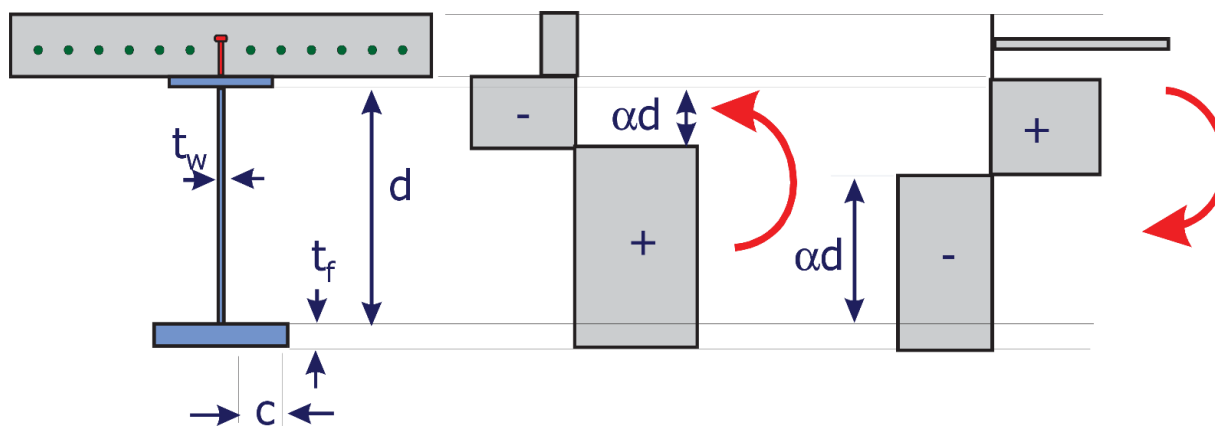


Analīze tiek veikta elastīga stadijā, pielietojamas klasiskās materiālu pretestības formulas parametru un spriegumu noteikšanai, stiepts betons netiek ievērtēts.

Ja  $c/t_f$  un  $d/t_w$  pārsniedz zināmas robežvērtības, šķērsgriezums pieskaitāms pie 4 klases un tam jāveic lokālas noturības pārbaudes.

# Liektas sijas stiprības plastiskais aprēķins

EN 1994-1-1 pieļauj 1. un 2. klases tērauda šķērsgriezumiem (EC3).

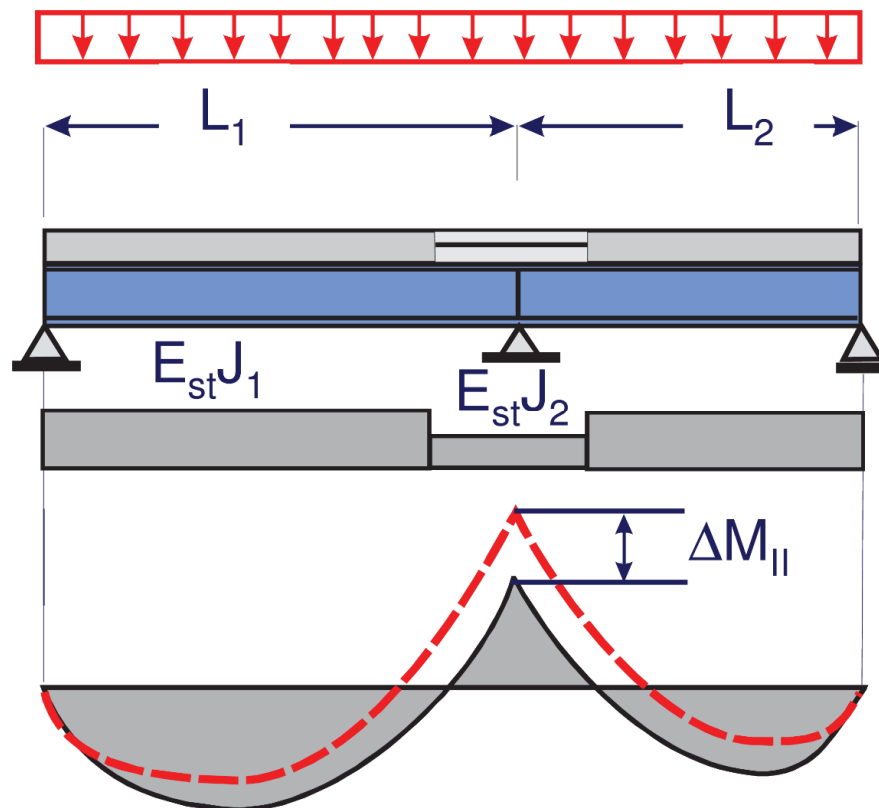


Pieņemts taisnstūra spriegumu sadalījums tēraudā un betonā. Stiepts betons netiek ievērtēts.

Pieļaujams tika ja  $d/t_w = 41,5 \cdot \epsilon / \alpha$  (ja  $\alpha \leq 0,5$ ),  $d/t_w = 456 \cdot \epsilon / (13\alpha - 1)$  (ja  $\alpha > 0,5$ ),  $c/t_f < 10 \cdot \epsilon$  kur  $\epsilon = (235/f_{yk})^{0,5}$ .

# Nepārtrauktu siju dažādu stinguma ievērtēšana

Tēraudbetona šķērsgriezumam būs **dažādi stingumi laiduma** lieces momentu (spiests betons) **un virsbalsta** lieces momentu (saplaisājis betons) zonā, kas ietekmēs piepūļu sadalījumu



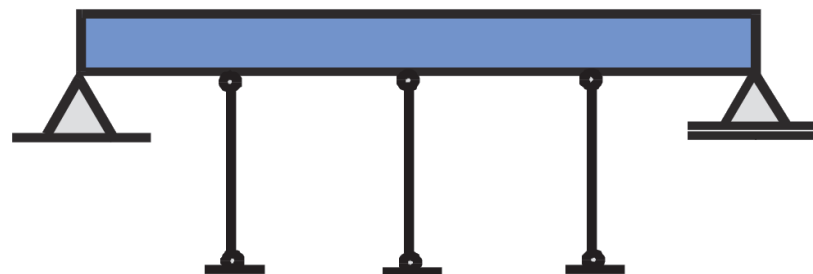
# Būvniecības secības ievērtēšana

**A** – betonēšana bez stutēm (uz tērauda sijām)



Pašvara slodze darbojas uz metāla šķērsriezumu, citas slodzes uz kompozītu šķērsriezumu (2 stadijas)

**B** – betonēšana atstutējot sijas un plātni



Visa slodze darbojas uzreiz uz kompozītu šķērsriezumu (1 stadija)

**C** – betonēšana uzspriedzot stutes

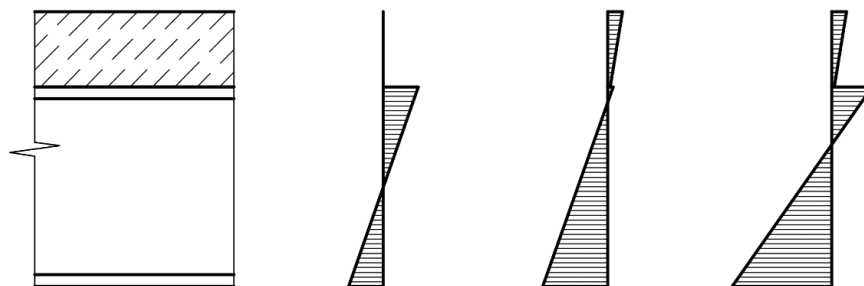


# Aprēķins betonējot bez stutēm (balstot veidņus un tērauda sijām)

1. stadija – pašvara slodze pielikta tērauda šķērsgriezumam, nosaka izlieces un spriegumu tēraudā

2. stadija – pārējās slodzes pieliktas pie kompozīta šķērsriezuma, nosaka papildus izlieces un spriegumus tēraudā, betonā un stiegrojumā

1. stadija + 2. stadija = Rezultāts



Eurokodekss pieļauj neievērtēt izbūvēs secību stiprības aprēķinos (bet ne izlieču!), ja tiek lietoti 1. un 2. klases šķērsgriezumi un ir veikts aprēķins plastiskā stadijā.

# Pretbīdņu aprēķins



# Nelsona tapu (headed stud) nestspēja

Nestspēju nosaka pēc empīriskam formulām:

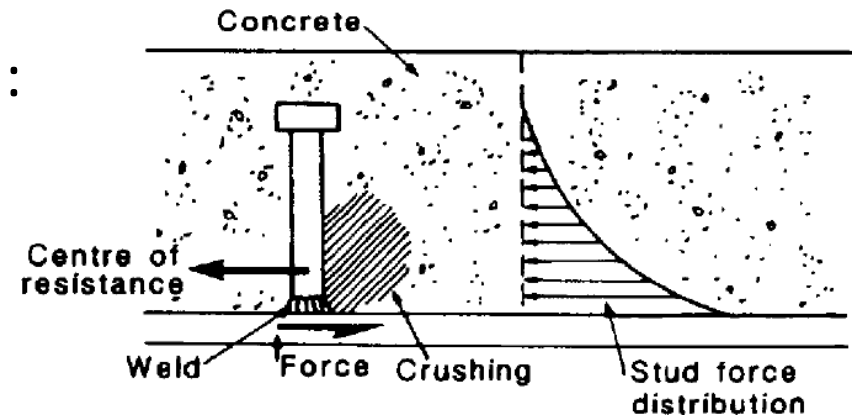
$$\bullet P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma_v} \text{ (kāta nestspēja cirpē)}$$

$$\bullet P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v}; \alpha = 1 \text{ ja } h/d > 4$$

(betona nestspēja)

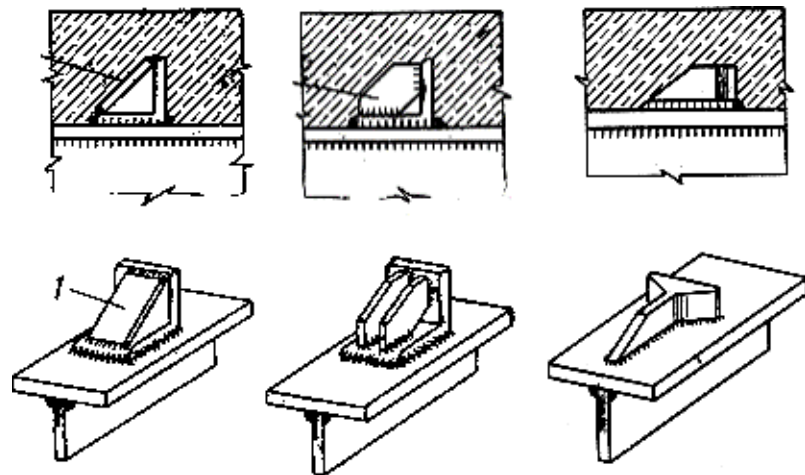
kur  $d$  – tapas diametrs;  $h$  – tapas augstums;  $f_u$  – metāla pārraušanas stiprība (parasti S355 ar  $f_u = 490 \text{ MPa}$ );  $f_{ck}$  – betona stiprība;

$E_{cm}$  – betona elastības modulis;  $\gamma_v = 1,50$  (pēc Latvijas NP!).



# Piemetināto detaļu nestspēja

Piemetināto detaļu aprēķins veicams pārbaudot virsmas spiedi betonā, lieci un šķērsspēkus tērauda elementos un metinājumu šuves.



# Šķērsspēkā nestspēja

EN 1994-1-1 p. 6.2.2.2:

- «*The resistance to vertical shear  $V_{pl,Rd}$  should be taken as the resistance of the structural steel section  $V_{pl,a,Rd}$  ...*»;
- «*The design plastic shear resistance  $V_{pl,a,Rd}$  of the structural steel section should be determined in accordance with EN 1993-1-1, 6.2.6.*».

# Ekspluatējamības robežstāvoklis (2. robežstāvoklis) – izlieces un plaisas

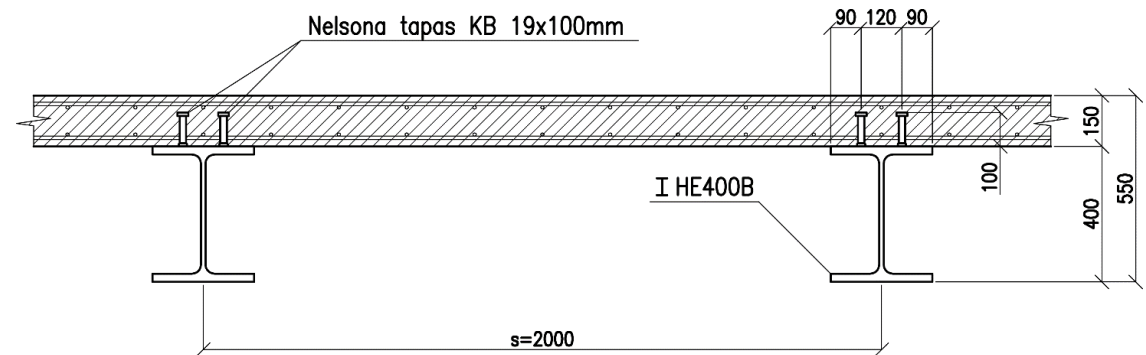
Aprēķinu jāveic elastīgā stadijā ievērtējot:

- izbūves secību;
- betona šļūdi un rukumu;
- betona plaisāšanu;
- Tērauda un betona elementu savstarpēju izslīdēšanu nepietiekamas sajūgšanas gadījumā.

# Aprēķina piemērs

## Izejas dati

- HE400B + dzb. plātne 150mm brīvi balstīta sija;
- S355 ( $f_y=355\text{MPa}$ ,  $E_s=210\text{GPa}$ );
- C30/37 ( $f_{cd}=17,0\text{MPa}$ ,  $E_{cm}=33\text{GPa}$ );
- Laidums  $L=13,0\text{m}$ ;
- Siju solis  $s=2,0\text{m}$ ;
- Aprēķins tiks veikts elastīgā stadijā!



Raksturīgas (normatīvas) slodzes uz siju:

$$\text{Pašsvars } q_{G,k} = 2\text{m} \cdot \frac{25\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,15\text{m} + 1,55\text{kN/m} \approx 9,0\text{kN/m}$$

$$\text{Lietderīga } q_{Q,k} = 12,5\text{kPa} \cdot 2\text{m} = 25,0\text{kN/m}$$

$$\text{Kopā } q_k = 34,0\text{kN/m}$$

Aprēķina slodzes uz siju:

$$\text{Pašsvars } q_{G,d} = 9,0\text{kN/m} \cdot 1,35 \approx 12,2\text{kN/m}$$

$$\text{Lietderīga } q_{Q,d} = 25,0\text{kN/m} \cdot 1,50 = 37,5\text{kN/m}$$

$$\text{Kopā } q_d = 49,7\text{kN/m}$$

Aprēķinā piemērs  
ja būtu tikai tērauda sija

HE400B ( $W=2880\text{cm}^3$ ;  $I=57680\text{cm}^4$ ).

Aprēķina lieces moments  $M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{49,7\text{kN/m} \cdot (13\text{m})^2}{8} = 1050\text{kNm}$

Normālspriegumi  $\sigma = \frac{M_d}{W} = \frac{1050\text{kNm}}{2880\text{cm}^3} = 365\text{MPa} > f_y = 355\text{MPa}$

Izliece  $f = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 34\text{kN/m} \cdot (13\text{m})^4}{384 \cdot 210\text{GPa} \cdot 57680\text{cm}^4} = 10,4\text{cm}; \frac{f}{L} = \frac{10,4\text{cm}}{13\text{m}} = \frac{1}{125}$

Tērauda sija neizpilda lieces stiprības un deformāciju nosacījumus!

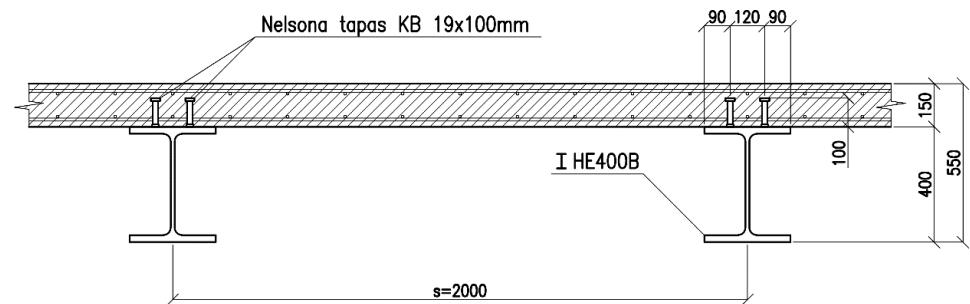


# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona sija

## Efektīva platuma noteikšana

- Efektīvais laidums  $L_e = 13,0m$ ;
- $b_0 = 0,12m$ ;
- $b_{e,i} = L_e/8 = 14m/8 = 1,62m$ ;
- $b_{eff} = b_0 + b_{e,1} + b_{e,1} =$   
 $0,12m + 1,62m + 1,62m =$   
 $3,36m$

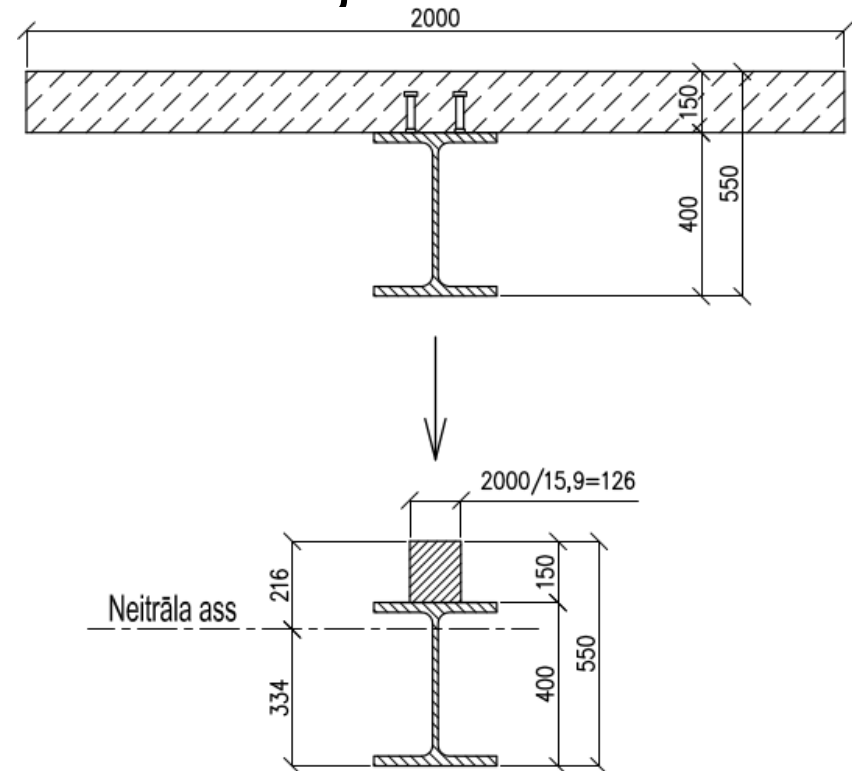
Bet tā kā fiziski siju solis ir 2m,  
 jāpieņem maksimāli iespējamo  
 $b_{eff} = 2,0m$ .



# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona sija

## Šķērsriezuma parametri

- Betona elastības modulis  
ievērtējot šļūdi  $E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1+\varphi_t} = \frac{33GPa}{1+1,5} = 13,2GPa$  (ja  $\varphi_t = 1,5$ )
- Elastības moduļu attiecība  
 $\alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{210GPa}{13,2GPa} = 15,9$
- Reducēta šķērsriezuma neitrāla ass ir tēraudā => viss betons ir spiests.



Reducētam šķērsgriezumam  
 $I=134258\text{cm}^4$ ,  $W_{ap}=4018\text{cm}^3$ ,  
 $W_{au}=6220\text{cm}^3$ .

# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona sija

## 1. slogošanas stadija (betonēšana)

Pieņemot, ka betonēšana tiks veikta bez stutēm balstot veidņus uz siju, pašsvara slodze tiks uzņemta tikai ar tērauda siju.

HE400B ( $W=2880\text{cm}^3$ ;  $I=57680\text{cm}^4$ ).

$$\text{Aprēķina lieces moments } M_{G,d} = \frac{q_{G,d} \cdot l^2}{8} = \frac{12,2\text{kN/m} \cdot (13\text{m})^2}{8} = 258\text{kNm}$$

$$\text{Normālspriegumi tēraudā } \sigma_{s,G} = \frac{M_{G,ed}}{W} = \frac{258\text{kNm}}{2880\text{cm}^3} = 90\text{MPa}$$

$$\text{Izliece } f_G = \frac{5 \cdot q_{G,k} \cdot l^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 9\text{kN/m} \cdot (13\text{m})^4}{384 \cdot 210\text{GPa} \cdot 57680\text{cm}^4} = 2,76\text{cm}$$

# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona sija

## 2. složošanas stadija (lietderīgas slodzes)

Pārejas slodzes tiek uzņemtas ar kompozītu šķēsgriezumu.

Kompozīts šķēsgriezums ( $W_{ap}=4018\text{cm}^3$ ;  $W_{au}=6220\text{cm}^3$ ;  $I=134258\text{m}^4$ ).

$$\text{Aprēķina lieces moments } M_{Q,d} = \frac{q_{Q,d} \cdot l^2}{8} = \frac{37,5\text{kN/m} \cdot (13\text{m})^2}{8} = 792\text{kNm}$$

$$\text{Normālspriegumi tēraudā } \sigma_{s,Q} = \frac{M_{Q,ed}}{W_{ap}} = \frac{792\text{kNm}}{4018\text{cm}^3} = 197\text{MPa}$$

$$\text{Normālspriegumi betonā } \sigma_{c,Q} = \frac{M_{Q,ed}}{W_{au} \cdot \alpha} = \frac{792\text{kNm}}{6220\text{cm}^3 \cdot 15,9} = 8,00\text{MPa}$$

$$\text{Izliece } f_Q = \frac{5 \cdot q_{L,k} \cdot l^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 25\text{kN/m} \cdot (13\text{m})^4}{384 \cdot 210\text{GPa} \cdot 134258\text{cm}^4} = 3,30\text{cm}$$

# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona sija

Divu stadiju summēšana

Normālspriegumi tēraudā

$$\sigma_s = \sigma_{s,G} + \sigma_{s,Q} = 90MPa + 197MPa = 287MPa$$

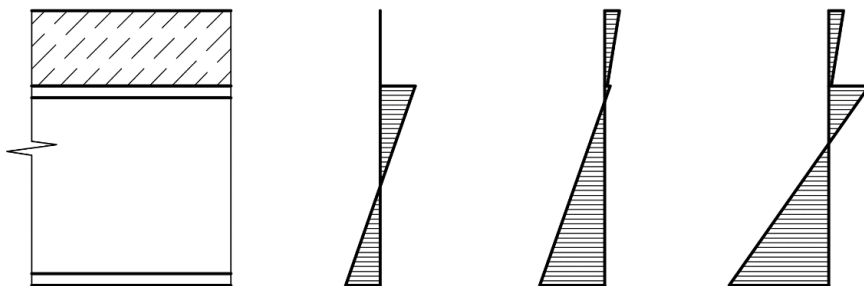
Normālspriegumi betonā

$$\sigma_c = \sigma_{c,Q} = 8,00MPa$$

Izliece

$$f = f_G + f_Q = 2,76cm + 3,30cm = 6,56cm; \quad \frac{f}{L} = \frac{5,76cm}{13m} = \frac{1}{226}$$

1. stadija + 2. stadija = Rezultāts



Eiropkodekss pieļauj neievērtēt izbūvēs secību stiprības aprēķinos (bet ne izlieču!), ja tiek lietoti 1. un 2. klases šķērsriezumi (aprēķins plastiskā stadija)

# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona sija

## Šķērsspēku pārbaude

Šķērsspēki tiek uzņemti tikai ar tērauda siju (HE400B).

$$\text{Aprēķina šķērsspēks } V_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{49,7 \text{ kN/m} \cdot 13 \text{ m}}{2} = 323 \text{ kN}$$

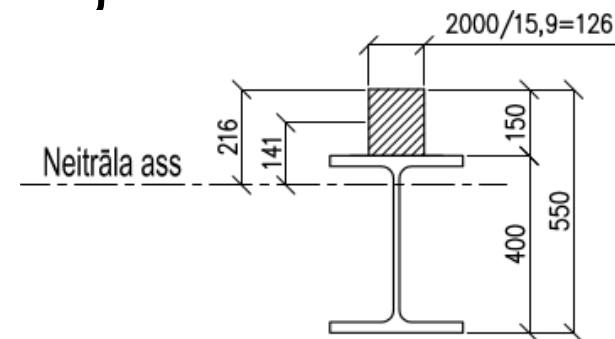
Tangenciālie spriegumi

$$\begin{aligned} \tau_d &= \frac{V_d \cdot S_{pusšķ}}{I \cdot t} = \frac{323 \text{ kN} \cdot 1616 \text{ cm}^3}{57680 \text{ cm}^4 \cdot 1,35 \text{ cm}} = 67 \text{ MPa} < \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{275 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} \\ &= 159 \text{ MPa} \end{aligned}$$

# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona sija

Pretbīdņu slodze

Aprēķina šķērsspēks  $V_d = 323kN$



Reducēta šķērsgrīzumā nobīdāmas betona daļas statiskais moments

$$S_c = 12,6cm \cdot 15cm \cdot 14,1cm = 2656cm^3$$

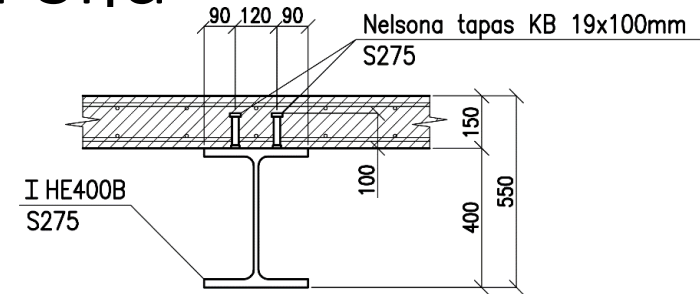
Bīdes spēks starp tēraudu un betonu pa garumu

$$T = \frac{V_d \cdot S_c}{I} = \frac{323kN \cdot 2656cm^3}{134258cm^4} = 6,39kN/cm$$

# Aprēķinā piemērs, tēraudbetona siia

## Pretbīdņu nestspēja

Vienas Nelsona tapas nestspēja:



$$\bullet P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma_v} = \frac{0,8 \cdot 430 \text{ MPa} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 / 4}{1,50} = 65,0 \text{ kN}$$

$$\bullet P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0,29 \cdot 1 \cdot (19 \text{ mm})^2 \cdot \sqrt{30 \text{ MPa} \cdot 33000 \text{ MPa}}}{1,50} = 69,4 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(65,0 \text{ kN}; 69,4 \text{ kN}) = 65,0 \text{ kN}$$

Pretbīdņu minimāls solis ir (izvietojot 2 pa platumu):

$$s = 2 \cdot \frac{P_{Rd}}{T} = \frac{2 \cdot 65,0 \text{ kN}}{\frac{6,39 \text{ kN}}{\text{cm}}} = 203 \text{ mm} \rightarrow \text{Pieņēmam } 200 \text{ mm}$$

Laiduma vidū soli var samazināt proporcionāli šķersspēkam.

Eirokodekss pieļauj izvietot ar konstantu vidējo soli, ja tiek lietoti 1. un 2. klases šķersgriezumi, «elastīgi» pretbīdņi utt.



Paldies par uzmanību!

