

# Esimerkkilaskelma

---

Liimapuuristikon liitos murtorajatilassa ja  
palotilanteessa R60 (täysin suojattu liitos)

01.12.2018

## Sisällysluettelo

1	LÄHTÖTIEDOT .....	- 3 -
2	KUORMAT .....	- 3 -
3	MATERIAALI .....	- 3 -
4	MITOITUS MURTORAJATILASSA.....	- 4 -
4.1	TAPPIVAARNAN KAPASITEETTI .....	- 5 -
4.1.1	LASKETAAN PUU-TERÄS-PUU LIITTIMEN KAPASITEETTI.....	- 5 -
4.1.2	LASKETAAN TERÄS-PUU-TERÄS LIITTIMEN KAPASITEETTI.....	- 6 -
4.2	LIITTIMIEN MÄÄRÄT .....	- 8 -
4.3	VEDETYN SAUVAN $D_1$ KESTÄVYYS.....	- 8 -
4.4	LOHKEAMISMURTO .....	- 8 -
4.5	TERÄSLEVYN KESTÄVYYS (DIAGONAALI $D_1$ ).....	- 9 -
4.5.1	TERÄSLEVYN VETOKESTÄVYYS (Eurokoodi 3 mukaan).....	- 10 -
4.5.2	TERÄSLEVYN LEIKKAUSKESTÄVYYS.....	- 10 -
4.5.3	TERÄSLEVYN REUNAPURISTUS KESTÄVYYS.....	- 11 -
5	MITOITUS PALOTILANNE R60 (TÄYSIN SUOJATTU).....	- 13 -
5.1	PUUTAPPIEN PITUUS .....	- 13 -
5.2	TAPPIVAARNOJEN KAPASITEETTI PALOTILANTEESSA.....	- 13 -
5.3	SAUVAN ( $D_1$ ) VETOKESTÄVYYS.....	- 14 -

## 1 LÄHTÖTIEDOT

<b>Rakennuspaikka:</b>	Helsinki
<b>Rakenne:</b>	Liimapuuristikko R60 liitos
<b>Seuraamusluokka:</b>	CC2
<b>Normit:</b>	Puurakenteet: RIL 205-1-2017, <b>RIL 205-2-2009</b> , SFS EN 1995-1-1, SFS EN 1995-1-2 Teräsrakenteet: SFS EN 1993-1-1, SFS EN 1993-1-8 Kuormat: RIL 201-1-2017, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1, SFS EN 1991-1-3 ja SFS EN 1991-1-4

## 2 KUORMAT

### MURTORAJATILA:

**Kuormitustapaus 1:** omapaino 100 % + lumi 100 %

$$N_{1,d} = 191,0 \text{ kN (veto)}$$

$$N_{2,d} = 156,0 \text{ kN (puristus)}$$

Kyseisistä sauvavoimista murtorajatilassa on 80 % lumen aiheuttamaa ja 20 % omapainoa.

Alapaarteen tappivaarnoille kohdistuu levyn kautta sauvavoimien resultantti  $F_d = 234 \text{ kN}$ , jonka kulma syiden nähden on  $1,09^\circ$

### PALOTILANNE:

**Kuormitustapaus 2:** omapaino 100 % + lumi 50 % ( $\psi_1 = 0,5$ )

$$N_{1,fi} = 84,6 \text{ kN (veto)}$$

$$N_{2,fi} = 69,1 \text{ kN (puristus)}$$

Alapaarteen tappivaarnoille kohdistuu levyn kautta sauvavoimien resultantti:

$$F_x = N_1 \times \cos(40,23^\circ) + N_2 \times \cos(55,54^\circ) = 103,7 \text{ kN}$$

$$F_y = N_1 \times \sin(40,23^\circ) - N_2 \times \sin(55,54^\circ) = -2,3 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow F = 103,7 \text{ kN ja kulma syiden nähden } 1,3^\circ$$

## 3 MATERIAALI

### Liimapuupalkki GL30h 275x405, 275x225

$$k_h = \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

⇒ taivutuslujuuden ja vetolujuuden ominaisarvon korotuskerroin:

- 275x405 ⇒  $k_h = 1,04$
- 275x225 ⇒  $k_h = 1,10$

⇒ käytetään pienempää arvoa (yksinkertaistetaan laskua) eli  $k_h = 1,04$

### Aikaluokka: Keskipitkä

### Käyttöluokka: 1

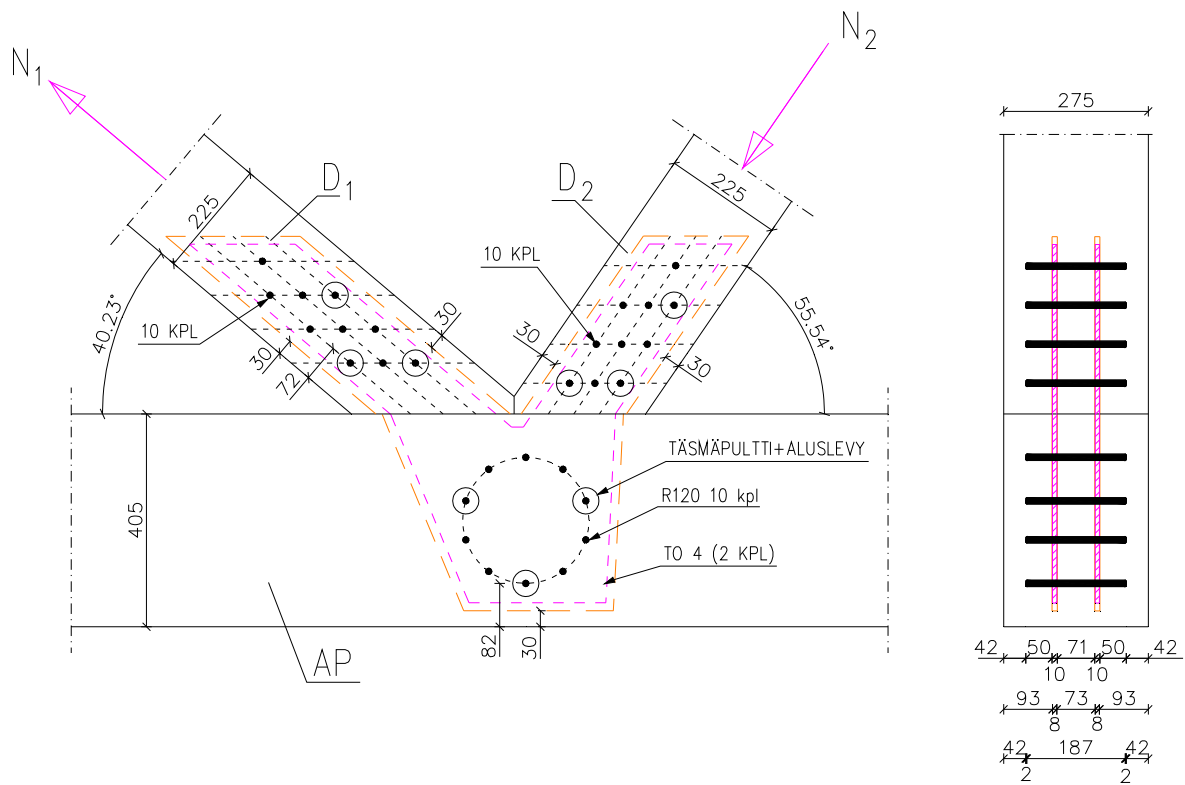
⇒  $k_{mod} = 0,8$

**Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet**

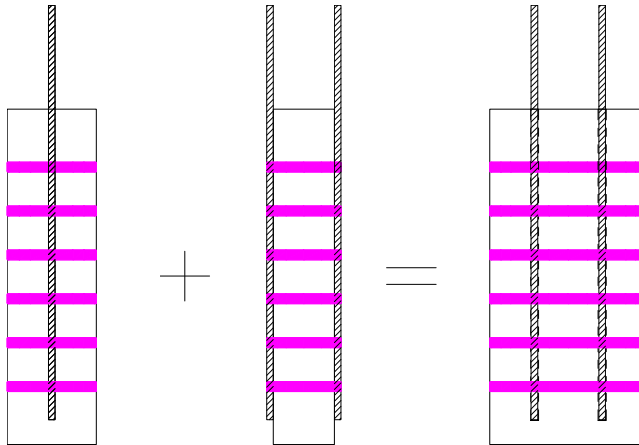
- ⇒  $\gamma_M = 1,25$
- ⇒ vetokestävyuden ominaisarvo  $f_{t,0,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$
- ⇒ puristuskestävyyden ominaisarvo  $f_{c,0,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$
- ⇒ vetokestävyuden mitoitusarvo  $f_{t,0,d} = k_h \times k_{mod} / \gamma_M \times f_{t,0,k} \Rightarrow 1,04 \times 0,8 / 1,25 \times 24,0 \text{ N/mm}^2 = 16,0 \text{ N/mm}^2$
- ⇒ puristuskestävyyden mitoitusarvo  $f_{c,0,d} = k_{mod} / \gamma_M \times f_{c,0,k} \Rightarrow 0,8 / 1,25 \times 30,0 \text{ N/mm}^2 = 19,2 \text{ N/mm}^2$

**Teräslevyt, t = 8 mm (S355) ja tappivaarnat D = 12 mm (S355)**

**4 MITOITUS MURTORAJATILASSA**



#### 4.1 TAPPIVAARNAN KAPASITEETTI



Tappivaarnan tehollinen mitta 191 mm – viisteet ( $2 \times 0,15 \times d$ )  $\sim 187$  mm

Valitaan teräslevyn ( $t = 8$  mm) hahloksi 10 mm, keskipuuksi 71 mm, jolloin reuna puiksi jää  
 $(187 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 71 \text{ mm}) / 2 = 48$  mm

Ehto (RIL 205 mitoitus):

reunapuut:  $t_1 = t_2 = 48 \text{ mm} \geq 4 \times d = 48 \text{ mm} \Rightarrow \text{ok}$

keskipuu:  $t_s = 71 \text{ mm} \geq 5 \times d = 60 \text{ mm} \Rightarrow \text{ok}$

##### 4.1.1 LASKETAAN PUU-TERÄS-PUU LIITTIMEN KAPASITEETTI

Lasketaan aluksi kerroin  $k_{90}$ :

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \times d, & \text{havupuille} \\ 1,30 + 0,015 \times d, & \text{Kerto - S ja - T} \\ 0,90 + 0,015 \times d, & \text{lehtipuille} \end{cases}$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,35 + 0,015 \times d$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,35 + 0,015 \times 12 = 1,53$$

Lasketaan liimapuun reunapuristuslujuus:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k$$

$$\Rightarrow f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 12) \times 430 = 31,03 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syyn suuntaan nähden. **Voiman ja syyn välinen kulma,  $\alpha = 0^\circ$ .**

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow f_{h,1,k} = \frac{31,03}{1,53 \times \sin(0^\circ)^2 + \cos(0^\circ)^2} = 31,03 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan tappivaarnan myötömomentti,  $M_y$ ,  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  on vaarnan vetomurtolujuus

$$M_y = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6}$$

$$\Rightarrow M_y = 0,3 \times 510 \times 12^{2,6} = 97850 \text{ Nmm}$$

Lasketaan yhden leikkeen leikkauskestävyys:

$$f_h = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \\ f_{h,2,k} \\ f_{h,s,k} \end{cases} \Rightarrow f_h = \min \begin{cases} 31,03 \\ 31,03 \\ - \end{cases} \Rightarrow f_h = 31,03 \text{ N/mm}^2$$

$$t_u = \min \begin{cases} \frac{t_1 \times f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \times f_{h,2,k}}{f_h} \end{cases} \Rightarrow t_u = \min \begin{cases} \frac{48 \times 31,03}{31,03} \\ \frac{48 \times 31,03}{31,03} \end{cases} \Rightarrow t_u = 48 \text{ mm}$$

Lasketaan tappivaaran yhden leikkeen kapasiteetti:

$$R_k = \min \begin{cases} f_h \times t_u \times d \\ 1,3 \times f_h \times t_u \times d \times \left( \sqrt{2 + \frac{4 \times M_y}{f_h \times d \times t^2}} - 1 \right) \\ 3 \times \sqrt{M_y \times f_h \times d} \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_k = \min \begin{cases} 31,03 \times 48 \times 12 = 17873 \\ 1,3 \times 31,03 \times 48 \times 12 \times \left( \sqrt{2 + \frac{4 \times 97850}{31,03 \times 12 \times 45^2}} - 1 \right) = 13180 \\ 3 \times \sqrt{97850 \times 31,03 \times 12} = 18108 \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_k = 13,2 \text{ kN/leike}$$

#### 4.1.2 LASKETAAN TERÄS-PUU-TERÄS LIITTIMEN KAPASITEETTI

Lasketaan aluksi kerroin  $k_{90}$ :

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \times d, \text{havupuille} \\ 1,30 + 0,015 \times d, \text{Kerto - S ja - T} \\ 0,90 + 0,015 \times d, \text{lehtipuille} \end{cases}$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,35 + 0,015 \times d$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,35 + 0,015 \times 12 = 1,53$$

Lasketaan liimapuun reunapuristuslujuus:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k$$

$$\Rightarrow f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 12) \times 430 = 31,03 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syyn suuntaan nähden. **Voiman ja syyn välinen kulma,  $\alpha = 0^\circ$ .**

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow f_{h,1,k} = \frac{31,03}{1,53 \times \sin(0^\circ)^2 + \cos(0^\circ)^2} = 31,03 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan tappivaarnan myötömomentti,  $M_y$ ,  $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$  on vaarnan vetomurtolujuus

$$M_y = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6}$$

$$\Rightarrow M_y = 0,3 \times 510 \times 12^{2,6} = 97850 \text{ Nmm}$$

Lasketaan yhden leikkeen leikkauskestävyys:

$$f_h = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \\ f_{h,2,k} \\ f_{h,s,k} \end{cases} \Rightarrow f_h = \min \begin{cases} - \\ - \\ 31,03 \end{cases} \Rightarrow f_h = 31,03 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan tappivaarnan yhden leikkeen kapasiteetti:

$$R_k = \min \begin{cases} 0,5 \times f_h \times t \times d \\ 2 \times \sqrt{M_y \times f_h \times d}, \text{ kun } t_t \leq 0,5d \\ 3 \times \sqrt{M_y \times f_h \times d}, \text{ kun } t_t \geq d \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_k = \min \begin{cases} 0,5 \times 31,03 \times 71 \times 12 = 13218 \\ 2 \times \sqrt{97850 \times 31,03 \times 12} = 12072 \\ 3 \times \sqrt{97850 \times 31,03 \times 12} = 18108 \end{cases}$$

Koska teräslevyn paksuus  $0,5d < t_t < d \Rightarrow$  joudutaan interpoloimaan edellisen kaavan kaksi viimeistä arvoa:

$$12072 + \frac{(18108 - 12072)}{12 - 6} \times 2 = 14084$$

$$\min(13218; 14084) = 13,2 \text{ kN/leike}$$

Yhden leikkeen kapasiteetiksi tulee  $\min(13,180; 13,218) \Rightarrow R_k = 13,2 \text{ kN/leike}$

Lasketaan yhden liittimen kapasiteetti murtorajatilassa ( $\gamma_M = 1,3$  ja  $k_{mod} = 0,8$ ). Lisäksi pitää huomioida sekä tappivaarnojen kapasiteetin alennus 0,8 (pultin kaavat).

$$R_{liitin,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times m \times R_k$$

$m = \text{leikkeiden määrä} / \text{tappivaarna}$

$R_k = \text{yhdenleikkeen kapasiteetti}$

$$\Rightarrow R_{liitin,d} = 0,8 \times \frac{0,8}{1,3} \times 4 \times 13,18 = 26,0 \text{ kN} / \text{liitin}$$

(huom! voiman ja syyn välinen kulma 0°)

Vastaavasti lasketaan alapaarteen voiman ja syynväliselle kulmalle 1,3° => 26,0 kN / liitin

## 4.2 LIITTIMIEN MÄÄRÄT

Sauva D1: Vedetty sauva:

$$n_{ef} = \sum n_i^{0,9} \times \sqrt[4]{\frac{a_1 \times t_s}{50 \times d^2}}$$

$$\Rightarrow n_{ef} = (3^{0,9} + 4^{0,9} + 3^{0,9}) \times \sqrt[4]{\frac{100 \times 71}{50 \times 12^2}} \Rightarrow (2,688 + 3,482 + 2,688) \times 0,9965 = 8,83 \text{ kpl} (77\%)$$

Sauva D2: 156,0 kN / 26,0 kN = 6,0 kpl => valitaan 10 kpl (60 %)

alapaarre AP: 234,7 kN / 26,0 kN = 9,1 kpl => valitaan 10 kpl (91 %)

## 4.3 VEDETYN SAUVAN D<sub>1</sub> KESTÄVYYS

Tarkastellaan malliksi vedetyn sauvan kestävyys. Lasketaan tehollinen poikkileikkaus (yksinkertaistus: 3 tappivaarna päällekkäin):

$$A_{ef} = (\text{korkeus} - \text{päällekkäisten tappien määrä}) \times (\text{leveys} - \text{teräslevyt})$$

$$A_{ef} = (225 \text{ mm} - 3 \times 12 \text{ mm}) \times (275 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) = 48\,195 \text{ mm}^2$$

Lasketaan diagonaalin D<sub>1</sub> vetokestävyys:

$$\frac{N_{1,d}}{A_{ef}} \leq f_{t,0,d} \Rightarrow \frac{191000}{48195} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \leq 16,0 \text{ N/mm}^2 (25\%)$$

## 4.4 LOHKEAMISMURTO

Tarkastetaan diagonaalin D<sub>1</sub> lohkeamismurto vedolle (valitaan liitinväliksi a<sub>1</sub> = 100 mm ja a<sub>2</sub> = 40 mm. Tämän lisäksi vähennetään tappivaarnan tunkeumasta hahlojen leveys eli 187 mm – 2 x 10 mm = 167 mm):

$$F_{bt,k} = L_{net,t} \times t_1 \times k_{bt} \times f_{t,0,k}$$

$$\Rightarrow F_{bt,k} = (n_2 - 1) \times (a_2 - D) \times t_1 \times k_{bt} \times f_{t,0,k}$$

$$\Rightarrow F_{bt,k} = (3 - 1) \times (40 - 12) \times 167 \times 1,5 \times 24$$

$$\Rightarrow F_{bt,k} = 336,7 \text{ kN}$$



$$F_{bt,d} = F_{bt,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$\Rightarrow F_{bt,d} = 336,7 \times \frac{0,8}{1,25} = 215,5 \text{ kN} \geq 191,0 \text{ kN} (89 \%)$$

Läpiloheamiskestävyys laskettu konservatiivisesti vähentämällä reunalamellien paksuudesta tappien upotussyvyys.

Reunalamellissa voi tapahtua upotettujen tappivaarjien vuoksi palalohkeaminen – tarkistetaan lohkeamismurtuminen, jossa keskilamellissa tapahtuu läpiloheaminen ja reunalamelleissa palalohkeaminen.

Keskilamellin läpiloheamiskestävyys:  $F_{bt,k} = 71 / 167 \times 336,7 = 143,1 \text{ kN}$

Reunalamellien tehollinen paksuus:

$$t_{ef} = \frac{R_k}{d \times f_{h,0,k}} \Rightarrow t_{ef} = \frac{13200}{12 \times 31,03} = 35,4$$

Reunalamellin palalohkeamiskestävyys:

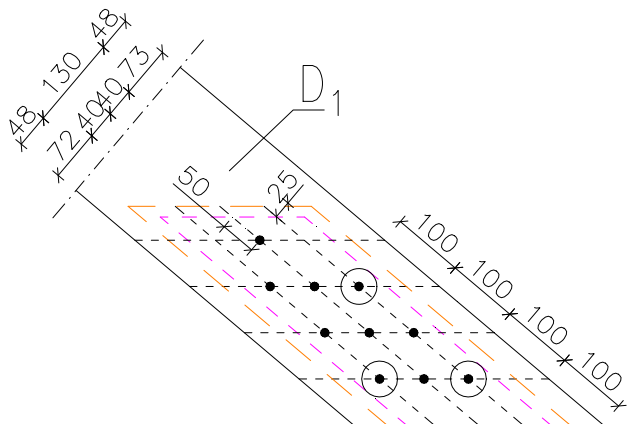
$$F_{ps,k} = L_{net,t} \times (t_{ef} \times f_{t,0,k} + (a_3 + (n_1 - 1) \times a_1) \times f_{v,k})$$

$$\Rightarrow F_{ps,k} = 56 \times \left( 35,4 \times 24,0 + \left( 100 + \left( \frac{10}{3} - 1 \right) \times 100 \right) \times 3,5 \right) = 112,9 \text{ kN}$$

Vedetyn liitoksen lohkeamiskestävyys:  $F_{R,k} = F_{bt,k} + 2 \times F_{ps,k} = 368,9 \text{ kN}$

⇒ Mitoituskestävyys:  $F_{R,d} = 0,8 / 1,25 \times 368,9 \text{ kN} = 236,1 \text{ kN} \geq 191,0 \text{ kN} (81 \%)$

#### 4.5 TERÄSLEVYN KESTÄVYYS (DIAGONAALI D<sub>1</sub>)



#### 4.5.1 TERÄSLEVYN VETOKESTÄVYYS (Eurokoodi 3 mukaan)

Lasketaan, että myötääkö ehjästä poikkileikkauksesta (ehjän levyn kohdalta) ennen kuin murtuu tehollisesta poikkileikkauksesta (tappivaarjien kohdalta).

- Reikiä kohti tarkistetaan vetomurtolujuudella (jonka kehittyminen tietysti edellyttää paikallista myötäämistä).
- Myötölujuudella tarkistetaan ehjä poikkileikkaus => liitoksen venyminen kuminauhaksi.
- Reikiä kohdalla tapahtuva paikallinen myötääminen sallitaan, koska ei vielä aiheuta haitallisen suurta venymää MRT:ssä.

Oletetaan tässä 3 kpl tappivaarjia päällekkäin:

teräslevyn korkeus,  $h = 130 \text{ mm}$   
 teräslevyn leveys,  $b = 8 \text{ mm}$   
 teräslevyn (ehjän) poikkileikkaus,  $A = h \times b = 1\,040 \text{ mm}^2$

teräslevyn tehollinen korkeus,  $h_{\text{eff}} = h - 3 \times 8 \text{ mm} = 106 \text{ mm}$   
 teräslevyn tehollinen poikkileikkaus,  $A_{\text{eff}} = h_{\text{eff}} \times b = 848 \text{ mm}^2$

Teräslevyn murtolujuus,  $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$  ( $\gamma_{M2} = 1,25$ )  
 Teräslevyn myötölujuus,  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$  ( $\gamma_{M0} = 1,00$ )

Lasketaan ehjän poikkileikkauksen myötö:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\Rightarrow N_{pl,Rd} = \frac{1040 \times 355}{1,00} = 369,2 \text{ kN/levy}$$

Lasketaan tehollisen poikkileikkauksen murto:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \times \frac{A_{\text{eff}} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\Rightarrow N_{u,Rd} = 0,9 \times \frac{848 \times 510}{1,25} = 311,4 \text{ kN/levy}$$

Koska  $N_{pl,Rd} > N_{u,Rd}$ , levyt murtuu tehollisesta poikkileikkauksesta ennen kuin myötää ehjästä. Mitään ongelmaa ei ole, koska sauvan vetovoima on 191,0 kN ja teräslevyjien kapasiteetti yhteensä on 622,8 kN (31 %).

#### 4.5.2 TERÄSLEVYN LEIKKAUSKESTÄVYYS

Tarkistetaan leikkauskestävyys sisäsauvojen vaakavoimaresultantille. Teräslevyn leveys alapaarteen ylimmän liittimen kohdalla on 370 mm.

Leikkausvoima teräslevyssä:  $V_d = N_1 \times \cos(40,23^\circ) + N_2 \times \cos(55,54^\circ) = 145,8 \text{ kN} + 88,3 \text{ kN} = 234,1 \text{ kN}$

Plastinen leikkauskestävyys:  $V_{pl,Rd} = A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M,0}} \Rightarrow 2 \times 8 \times 370 \times \frac{355}{\sqrt{3} \times 1,00} = 1213 \text{ kN} (19\%)$

### 4.5.3 TERÄSLEVYN REUNAPURISTUS KESTÄVYYS

Teräslevyn reunapuristuskestävyys lasketaan seuraavalla kaavalla:

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

$k_1$  on pienin seuraavista arvoista:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$e_2 = 25 \text{ mm}$  (etäisyys kuormittamattomasta reunasta)

$d_0 = 12 \text{ mm}$  (reiän halkaisija)

$p_2 = 40 \text{ mm}$  (keskiöväli)

$$\Rightarrow k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{25}{12} - 1,7 = 4,13 \\ 1,4 \times \frac{40}{12} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$\Rightarrow k_1 = 2,5$

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} \end{array} \right.$$

$f_{ub} = 510 \text{ N/mm}^2$  (liittimen murtolujuus)

$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$  (levyn murtolujuus)

$e_1 = 50 \text{ mm}$  (etäisyys kuormitetusta päädyistä)

$d_0 = 12 \text{ mm}$  (reiän halkaisija)

$p_1 = \min 100 \text{ mm}$  (liittimien keskinäinen etäisyys voiman suunnassa)

$$\Rightarrow \alpha = \min \begin{cases} 1,0 \\ \frac{510}{510} = 1,0 \\ \frac{50}{3 \times 12} = 1,39 \\ \frac{100}{3 \times 12} - \frac{1}{4} = 2,53 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \alpha = 1,0$$

$$\Rightarrow F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1,0 \times 510 \times 12 \times 8}{1,25} = 97,9 \text{ kN/reikä}$$

Tappivaarnan leikkeen kapasiteetti on paljon pienempi eli OK!

## 5 MITOITUS PALOTILANNE R60 (TÄYSIN SUOJATTU)

Palomitoituksessa on huomioitava:

- Teräslevyt suojataan rakoon liimatulla puusoirolla, jonka paksuus vähintään 30 mm
- Tappivaarnat suojataan puutulvilla, joiden paksuus määräytyy kaavasta

$$a_{fi} = \beta_n \times k_{flux} (t_{reg} - t_{d,fi})$$

, jossa

$\beta_n$  on hiiltennopeus

$k_{flux}$  on kerroin, jolla huomioidaan liittimen kautta lisääntyvä lämpövuoto ( $k_{flux}$  1,5)

$t_{reg}$  on vaadittu palonkesto aika

$t_{d,fi}$  on suojaamattoman liittimen palonkesto aika (tappivaarna 20 min, kun  $t_1 \geq 45$  mm)

- Liitoksessa pitää olla joka neljäs tappivaarna täsmäpultti
- Jos tappivaarnan reunaetäisyys ei täyty hiiltennopeuden jälkeen, ei tappivaarna voida huomioida laskennassa
- Jos reunapuut palavat liian ohuiksi, niin liitos voidaan mitoittaa teräs-puu-teräs liitoksena (liitoksessa vähintään 2kpl teräslevyjä)

### 5.1 PUUTAPPIEN PITUUS

Lasketaan puutappien minimi pituus:

$$a_{fi} = \beta_n \times k_{flux} (t_{reg} - t_{d,fi})$$

$$\Rightarrow a_{fi} = 0,7 \text{ mm/min} \times 1,5 \times (60 \text{ min} - 20 \text{ min}) = 42 \text{ mm}$$

Tarkistetaan sauvan leveys:

$$275 \text{ mm} - 2 \times 42 \text{ mm} - 191 \text{ mm} = 0 \text{ mm} \Rightarrow \text{leveys riittää!}$$

### 5.2 TAPPIVAARNOJEN KAPASITEETTI PALOTILANTEESSA

Lasketaan edellä kohdan 4.1 kaavoilla seuraavin muutoksien:

- Materiaalin varmuuskerroin 1,0
- $k_{mod} = 1,0$
- korotetaan puun reunapuristuslujuutta  $k_{fi} = 1,15$  (liimapuu)
- tarkistetaan reunapuiden paksuus min. 48 mm

Tarkistetaan malliksi diagonaalien  $D_1$  poikkileikkauksen mitat, kun liimapuu hiiltää 0,7 mm/min:

$$d_{ef} = \beta_n \times t + k_0 \times d_0$$

, jossa

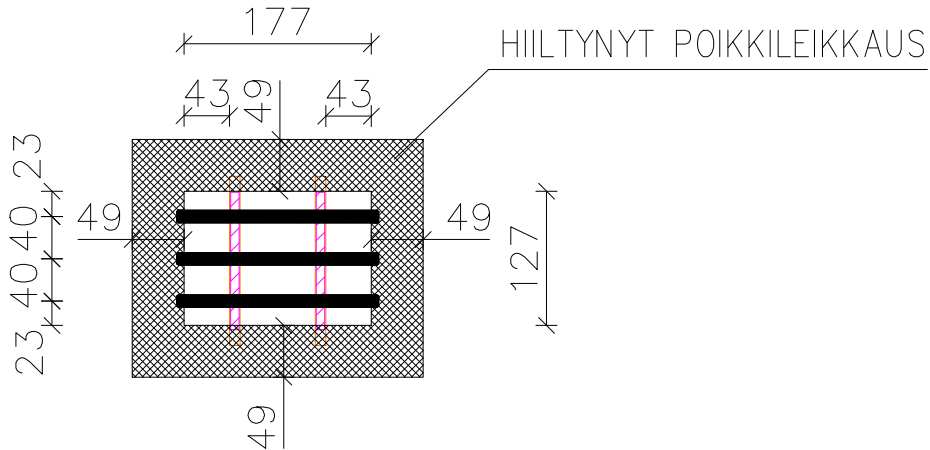
$\beta_n$  on hiiltennopeus

$t$  on palorasituksen kesto

$k_0$  on tässä tapauksessa 1, koska palo aika yli 20 min

$d_0$  on 7 mm

$$d_{ef} = 0,7 \text{ mm/min} \times 60 \text{ min} + 1 \times 7 \text{ mm} = 49 \text{ mm}$$



Kuormittamattoman reunan reunaetäisyys on  $3d = 36$  mm joka ei täyty (23 mm) => laitimmaisista tappivaarnarivejä ei huomioida liitoksen mitoituksessa

Reunapuiden minimi leveys 48 mm ei täyty (43 mm) => liitos palomitoitetaan teräs-puu-teräs – liitoksena (yht. 2-leikettä).

Lasketaan tappivaarnejon kapasiteetit seuraaville voiman ja syynvälisille kulmille (teräs-puu-teräs):

voiman ja syyn välinen kulma  $0^\circ$  => 13,2 kN / leike (alapaarre  $1,3^\circ$  => 13,2 kN / leike)

joten palotilanteessa:

$$R_{liitin,fi} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \times m \times R_k$$

$m$  = leikkeiden määrä / tappivaarna

$R_k$  = yhden leikkeen kapasiteetti

$$\Rightarrow R_{liitin,d} = 0,8 \times \frac{1,0}{1,0} \times 2 \times 13,18 = 21,1 \text{ kN / liitin}$$

(huom! voiman ja syyn välinen kulma  $0^\circ$ )

Liitin määrä palotilanteessa diagonaali D<sub>1</sub>:ssä: 84,6 kN / 21,1 kN / liitin = 4,0 kpl => nyt keskilinjassa 4 kpl, joten ok!

### 5.3 SAUVAN (D1) VETOKESTÄVYYS

Tarkastellaan malliksi vedetyn sauvan kestävyys. Lasketaan tehollinen poikkileikkaus (yksinkertaistus: 3 tappivaarna päällekkäin):

$A_{ef} = (\text{korkeus} - \text{päällekkäisten tappien määrä} - \text{hiiltymä}) \times (\text{leveys} - \text{teräslevyt} - \text{hiiltymä})$

$$A_{ef} = (225 \text{ mm} - 3 \times 12 \text{ mm} - 2 \times 49 \text{ mm}) \times (275 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 2 \times 49 \text{ mm}) = 14\,287 \text{ mm}^2$$

Lasketaan diagonaalin D<sub>1</sub> vetokestävyys:

$$\frac{N_{1,d}}{A_{ef}} \leq k_{fi} \times f_{t,0,k} \Rightarrow \frac{84\,600}{14\,287} = 5,92 \text{ N/mm}^2 \leq 1,15 \times 24,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (21 \%)}$$