

Esimerkkilaskelma

Jäykistävä rankaseinä

11.12.2018

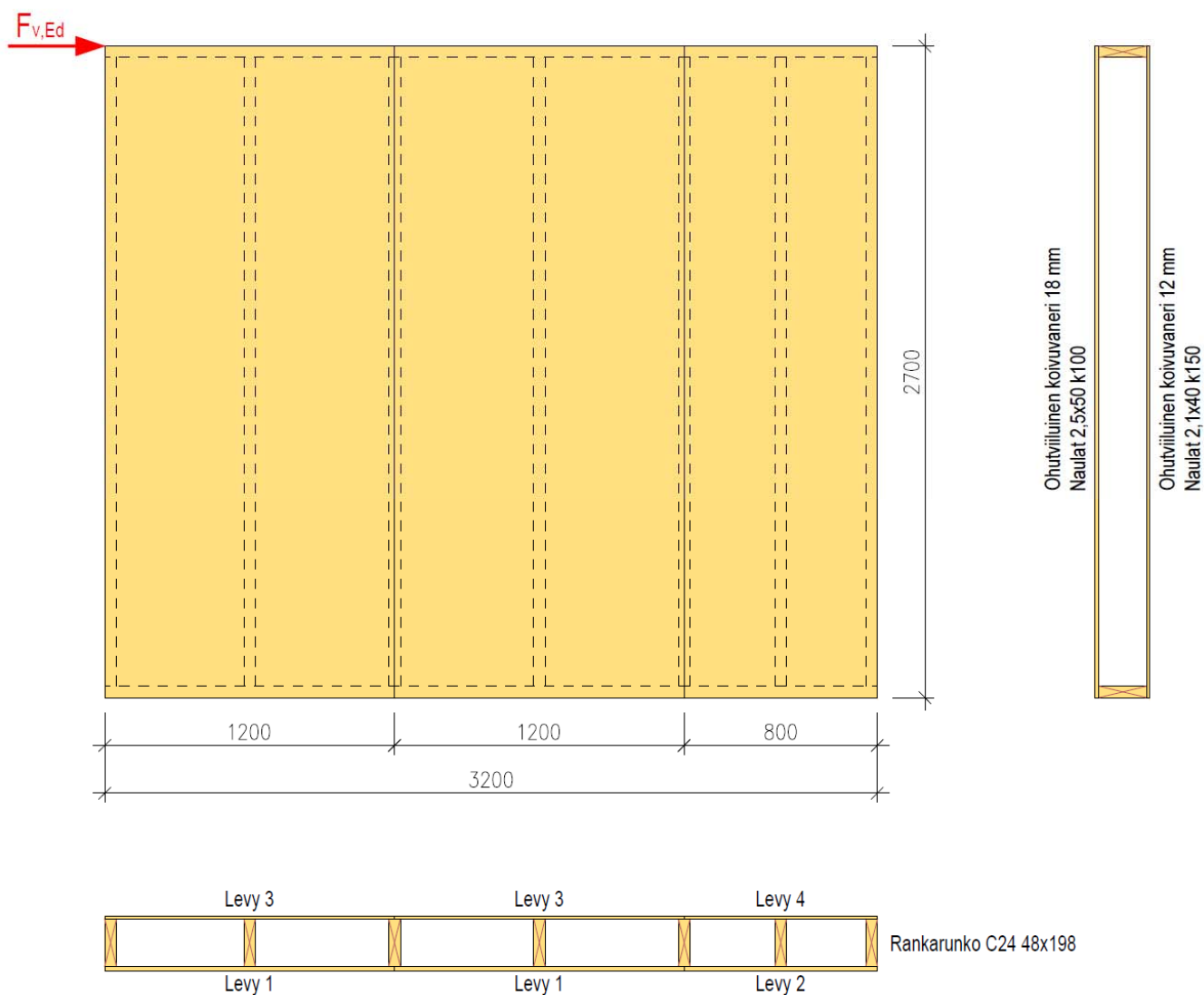
Sisällysluettelo

| | | |
|----|---|-------|
| 1 | LÄHTÖTIEDOT | - 3 - |
| 2 | LEVYJÄYKISTEEN TIEDOT | - 3 - |
| 3 | LIITTIMIEN LUJUUS JA JÄYKKYYS | - 4 - |
| 4 | LEVYJEN JÄYKKYYS..... | - 4 - |
| 5 | ULKOISEN VAAKAKUORMAN JAKAUTUMINEN LEVYTYKSELLE | - 5 - |
| 6 | LEVYJEN LEIKKAUSVOIMAKESTÄVYYS..... | - 5 - |
| 7 | LEVYJEN LOMMAHDUSKESTÄVYYS | - 6 - |
| 8 | SEINÄN LEIKKAUSSIIRTYMÄ | - 7 - |
| 9 | ANKKUROINTI..... | - 7 - |
| 10 | RANKOJEN PURISTUSKESTÄVYYS..... | - 9 - |
| 11 | SEINÄN KIINNITYS ALUSTAAN..... | - 9 - |

1 LÄHTÖTIEDOT

| | |
|-------------------------|---|
| Rakennuspaikka: | Helsinki |
| Rakenne: | Jäykistävä rankaseinä |
| Seuraamusluokka: | CC2 |
| Normit: | Puurakenteet: RIL 205-1-2017, SFS EN 1995-1-1 |
| | Kuormat: - |

2 LEVJÄYKISTEEN TIEDOT



Rankaseinän levytys koostuu yllä olevassa kuvassa esitetyistä levytyksistä. Seinää kuormittaa ulkoinen hetkellinen vaakakuorma $F_{v,Ed} = 21$ kN.

3 LIITTIMIEN LUJUUS JA JÄYKKYYS

Konenaula 2,5x50 (18 mm:n koivuvanerissa)

Kestävyys $R_d = 579 \text{ N}$

Siirtymäkerroin $K_{ser} = 857 \text{ N/mm}$

Konenaula 2,1x40 (12 mm:n koivuvanerissa)

Kestävyys $R_d = 430 \text{ N}$

Siirtymäkerroin $K_{ser} = 746 \text{ N/mm}$

4 LEVYJEN JÄYKKYYS

Levyt 1

Koivuvaneri 1200 x 2700 x 18

$G_{mean} = 620 \text{ N/mm}^2$

Liitinjako $s = 100 \text{ mm}$

$K_{ser} = 857 \text{ N/mm}$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{2700}{1200}\right)^2 + \left(\frac{2700}{1200}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{2700}{1200}\right)} = 0,96$$

$$C_{1,v} = \frac{1}{\beta \cdot \frac{s \cdot h^2}{K_{ser} \cdot b^3} + \frac{h}{b \cdot G_{mean} \cdot t}}$$

$$C_{1,v} = \frac{1}{0,96 \cdot \frac{100 \cdot 2700^2}{857 \cdot 1200^3} + \frac{2700}{1200 \cdot 620 \cdot 18}} = 1483 \text{ N/mm}$$

Levyt 3

Koivuvaneri 1200 x 2700 x 12

$G_{mean} = 620 \text{ N/mm}^2$

Liitinjako $s = 150 \text{ mm}$

$K_{ser} = 746 \text{ N/mm}$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{2700}{1200}\right)^2 + \left(\frac{2700}{1200}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{2700}{1200}\right)} = 0,96$$

$$C_{3,v} = \frac{1}{\beta \cdot \frac{s \cdot h^2}{K_{ser} \cdot b^3} + \frac{h}{b \cdot G_{mean} \cdot t}}$$

$$C_{3,v} = \frac{1}{0,96 \cdot \frac{150 \cdot 2700^2}{746 \cdot 1200^3} + \frac{2700}{1200 \cdot 620 \cdot 12}} = 895 \text{ N/mm}$$

Levyt 2

Koivuvaneri 800 x 2700 x 18

$G_{mean} = 620 \text{ N/mm}^2$

Liitinjako $s = 100 \text{ mm}$

$K_{ser} = 857 \text{ N/mm}$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{2700}{800}\right)^2 + \left(\frac{2700}{800}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{2700}{800}\right)} = 0,60$$

$$C_{2,v} = \frac{1}{\beta \cdot \frac{s \cdot h^2}{K_{ser} \cdot b^3} + \frac{h}{b \cdot G_{mean} \cdot t}}$$

$$C_{2,v} = \frac{1}{0,60 \cdot \frac{100 \cdot 2700^2}{857 \cdot 800^3} + \frac{2700}{800 \cdot 620 \cdot 18}} = 765 \text{ N/mm}$$

Levyt 4

Koivuvaneri 800 x 2700 x 12

$G_{mean} = 620 \text{ N/mm}^2$

Liitinjako $s = 150 \text{ mm}$

$K_{ser} = 746 \text{ N/mm}$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\beta = \frac{4}{2 \cdot \left(\frac{2700}{800}\right)^2 + \left(\frac{2700}{800}\right)^3} + \frac{6}{1 + 3 \cdot \left(\frac{2700}{800}\right)} = 0,60$$

$$C_{4,v} = \frac{1}{\beta \cdot \frac{s \cdot h^2}{K_{ser} \cdot b^3} + \frac{h}{b \cdot G_{mean} \cdot t}}$$

$$C_{4,v} = \frac{1}{0,60 \cdot \frac{150 \cdot 2700^2}{746 \cdot 800^3} + \frac{2700}{800 \cdot 620 \cdot 12}} = 458 \text{ N/mm}$$

5 ULKOISEN VAAKAKUORMAN JAKAUTUMINEN LEVYTYKSELLE

Levy 1

$$F_{1,v,Ed} = \left(\frac{C_{i,v}}{\sum C_{i,v}} \right) \cdot F_{v,Ed} = \left(\frac{1483}{1483+1483+765+895+895+458} \right) \cdot 21 = 5,21 \text{ kN}$$

Levy 2

$$F_{2,v,Ed} = \left(\frac{C_{i,v}}{\sum C_{i,v}} \right) \cdot F_{v,Ed} = \left(\frac{765}{1483+1483+765+895+895+458} \right) \cdot 21 = 2,69 \text{ kN}$$

Levy 3

$$F_{3,v,Ed} = \left(\frac{C_{i,v}}{\sum C_{i,v}} \right) \cdot F_{v,Ed} = \left(\frac{895}{1483+1483+765+895+895+458} \right) \cdot 21 = 3,14 \text{ kN}$$

Levy 4

$$F_{4,v,Ed} = \left(\frac{C_{i,v}}{\sum C_{i,v}} \right) \cdot F_{v,Ed} = \left(\frac{458}{1483+1483+765+895+895+458} \right) \cdot 21 = 1,61 \text{ kN}$$

6 LEVYJEN LEIKKAUSVOIMAKESTÄVYYS

Levyt 1

Koivuvaneri 1200 x 2700 x 18

Liitinjako s = 100 mm

Kestävyys $R_d = 579 \text{ N}$

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h} + 3\right)^2}} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{2700}{1200}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{1200}{2700} + 3\right)^2}} = 0,99$$

$$F_{1,v,Rd} = \frac{R_d \cdot b}{\gamma \cdot s} = \frac{579 \cdot 1200}{0,99 \cdot 100} = 7,0 \text{ kN} > 5,21 \text{ (74 \%)} \text{ OK!}$$

Levyt 2

Koivuvaneri 800 x 2700 x 18

Liitinjako s = 100 mm

Kestävyys $R_d = 579 \text{ N}$

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h} + 3\right)^2}} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{2700}{800}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{800}{2700} + 3\right)^2}} = 0,98$$

$$F_{2,v,Rd} = \frac{R_d \cdot b}{\gamma \cdot s} = \frac{579 \cdot 800}{0,98 \cdot 100} = 4,7 \text{ kN} > 2,69 \text{ (57 \%)} \text{ OK!}$$

Levyt 3

Koivuvaneri 1200 x 2700 x 12

Liitinjako $s = 150$ mm

Kestävyys $R_d = 430$ N

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h} + 3\right)^2}} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{2700}{1200}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{1200}{2700} + 3\right)^2}} = 0,99$$

$$F_{3,v,Rd} = \frac{R_d \cdot b}{\gamma \cdot s} = \frac{430 \cdot 1200}{0,99 \cdot 150} = 3,5 \text{ kN} > 3,14 \text{ (90 \%)} \text{ OK!}$$

Levyt 4

Koivuvaneri 800 x 2700 x 12

Liitinjako $s = 150$ mm

Kestävyys $R_d = 430$ N

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h} + 3\right)^2}} \quad \text{kiinnitystapa 2}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{2700}{800}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{800}{2700} + 3\right)^2}} = 0,98$$

$$F_{4,v,Rd} = \frac{R_d \cdot b}{\gamma \cdot s} = \frac{430 \cdot 800}{0,98 \cdot 150} = 2,3 \text{ kN} > 1,61 \text{ (70 \%)} \text{ OK!}$$

7 LEVYJEN LOMMAHDUSKESTÄVYYS

Levyt 1

Koivuvaneri 1200 x 2700 x 18

$$EI_z = E_{0,05} \cdot \frac{b \cdot t^3}{12} = (0,8 \cdot 7452) \cdot \frac{1 \cdot 18^3}{12} = 2897338 \text{ Nmm}^2 \text{ (mm:n kaistaa kohti)}$$

$$EI_x = E_{0,05} \cdot \frac{b \cdot t^3}{12} = (0,8 \cdot 10048) \cdot \frac{1 \cdot 18^3}{12} = 3906662 \text{ Nmm}^2 \text{ (mm:n kaistaa kohti)}$$

$$GI_v = \frac{1}{3} \cdot G_{0,05} \cdot t^3 = \frac{1}{3} \cdot (0,8 \cdot 620) \cdot 18^3 = 964224 \text{ Nmm}$$

$$k_1 = \frac{c}{a} \cdot 4 \sqrt{\frac{EI_z}{EI_x}} = \frac{2700}{600} \cdot 4 \sqrt{\frac{2897338}{3906662}} = 4,2$$

$$k_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{GI_v}{\sqrt{EI_z \cdot EI_x}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{964224}{\sqrt{2897338 \cdot 3906662}} = 0,1$$

$k = 0,9$ (lommahduskäyrästä)

Levyn leikkausvoima ulkoisesta kuormasta $F_{1,v,Ed} = 5,21$ kN

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{1,v,Ed}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{5210}{(18 \cdot 1200)} = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12} = \frac{1 \cdot 18^3}{12} = 486 \text{ mm}^4 \text{ (mm:n kaistaa kohti)}$$

$$f_{v,crit} = 3,3 \cdot k \cdot 4 \sqrt{\frac{EI_z}{EI_x}} \cdot \frac{EI_x}{I} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2 = 3,3 \cdot 0,9 \cdot 4 \sqrt{\frac{2897338}{3906662}} \cdot \frac{3906662}{486} \cdot \left(\frac{18}{600}\right)^2 = 19,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (kriittinen lommahdusjännitys)}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{1,1}{1,2} \cdot 9,5 = 8,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (paneelileikkauslujuus)}$$

$$\text{Mitoitusehto } \tau_d = 0,36 \text{ N/mm}^2 \leq \min \begin{cases} 19,9 \text{ N/mm}^2 \\ 8,7 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \Rightarrow (4 \%) \text{ OK! (paneelileikkaus määräävä)}$$

Levyt 3

Koivuvaneri 1200 x 2700 x 12

$$EI_z = E_{0,05} \cdot \frac{b \cdot t^3}{12} = (0,8 \cdot 6781) \cdot \frac{1 \cdot 12^3}{12} = 781171 \text{ Nmm}^2 \text{ (mm:n kaistaa kohti)}$$

$$EI_x = E_{0,05} \cdot \frac{b \cdot t^3}{12} = (0,8 \cdot 10719) \cdot \frac{1 \cdot 12^3}{12} = 1234829 \text{ Nmm}^2 \text{ (mm:n kaistaa kohti)}$$

$$GI_v = \frac{1}{3} \cdot G_{0,05} \cdot t^3 = \frac{1}{3} \cdot (0,8 \cdot 620) \cdot 12^3 = 285696 \text{ Nmm}$$

$$k_1 = \frac{c}{a} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_z}{EI_x}} = \frac{2700}{600} \cdot \sqrt[4]{\frac{781171}{1234829}} = 4,0$$

$$k_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{GI_v}{\sqrt{EI_z \cdot EI_x}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{285696}{\sqrt{781171 \cdot 1234829}} = 0,1$$

$k = 0,9$ (lommahduskäyrästä)

Levyn leikkausvoima ulkoisesta kuormasta $F_{3,v,Ed} = 3,14 \text{ kN}$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{3,v,Ed}}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3140}{(12 \cdot 1200)} = 0,33 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12} = \frac{1 \cdot 12^3}{12} = 144 \text{ mm}^4 \text{ (mm:n kaistaa kohti)}$$

$$f_{v,crit} = 3,3 \cdot k \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_z}{EI_x}} \cdot \frac{EI_x}{I} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2 = 3,3 \cdot 0,9 \cdot \sqrt[4]{\frac{781171}{1234829}} \cdot \frac{1234829}{144} \cdot \left(\frac{12}{600}\right)^2 = 9,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (kriittinen lommahdusjännitys)}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{1,1}{1,2} \cdot 9,5 = 8,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (paneelileikkauslujuus)}$$

$$\text{Mitoitusehto } \tau_d = 0,33 \text{ N/mm}^2 \leq \min \begin{cases} 9,1 \text{ N/mm}^2 \\ 8,7 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \Rightarrow (4 \%) \text{ OK! (paneelileikkaus määräävä)}$$

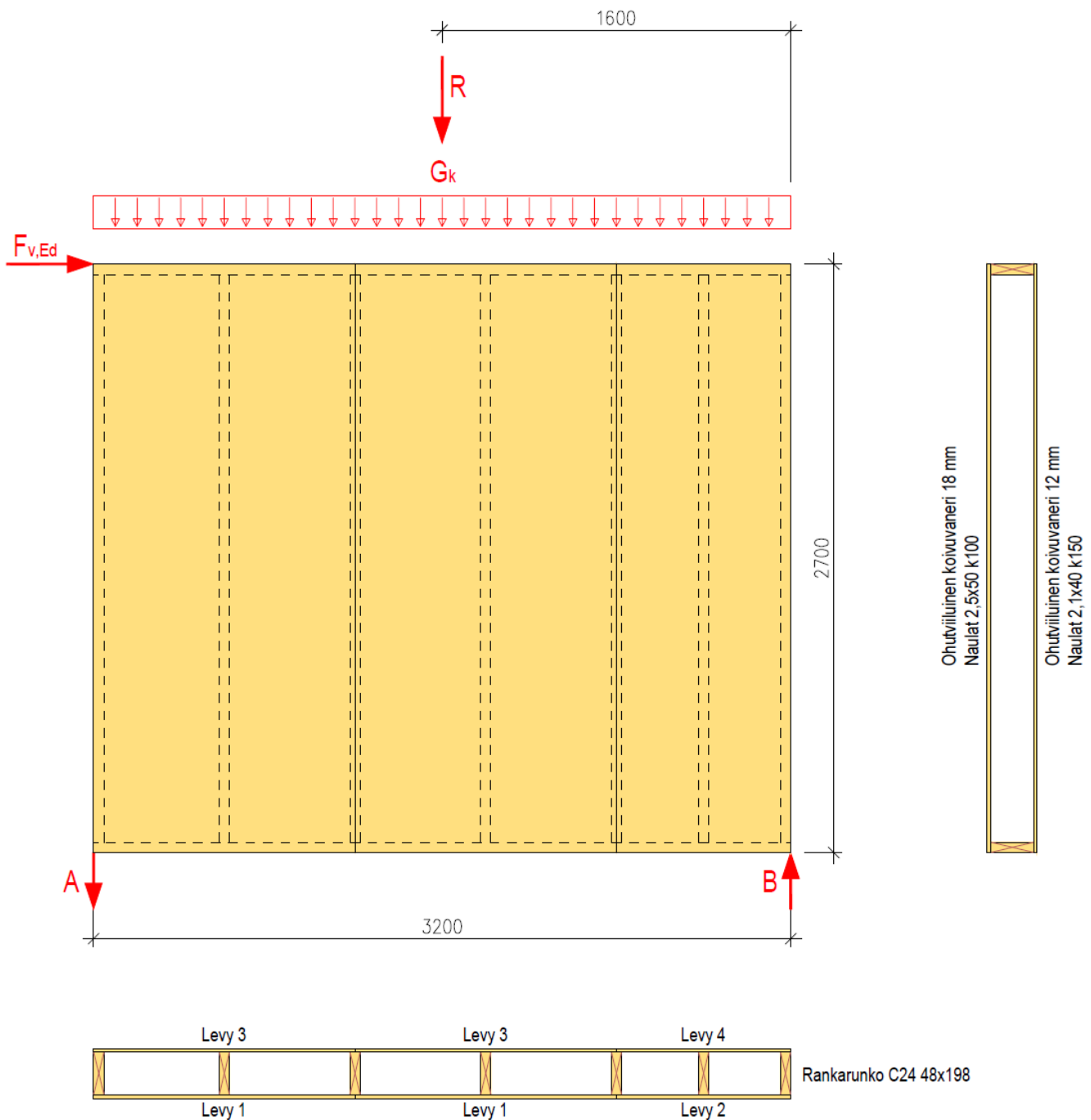
8 SEINÄN LEIKKAUSSIIRTYMÄ

Seinän siirtymä koostuu leikkausvoiman, taivutusmomentin sekä seinän kiinnitysliitosten aiheuttamista siirtymistä. Tarkastellaan tässä esimerkissä vain seinän leikkaussiirtymää. Seinän ulkoinen kuorma käyttörajatilassa $F_{v,Ek} = 14 \text{ kN}$.

$$u_{inst} = \frac{F_{v,Ek}}{\sum C_{i,v}} = \frac{14000}{(1483 + 1483 + 765 + 895 + 895 + 458)} = 2,3 \text{ mm}$$

9 ANKKUROINTI

Tarkastellaan riittääkö seinän päällä oleva tasainen kuorma kumoamaan tukipisteeseen A syntyvän vetovoiman. Tämän esimerkin mukaisessa jäykistävässä seinässä suurin puristusrasitus syntyy tuelle B kuormitustapauksesta, jossa seinän päällä oleva tasainen kuorma on mahdollisimman suuri. Tuelle A syntyy mahdollinen vetorasitus kuormitustapauksesta, jossa seinän päällä oleva kuorma on mahdollisimman pieni. Tässä esimerkissä seinän vaakakuorma murtorajatilassa on $F_{v,Ed} = 21 \text{ kN}$. Seinän päällä on tasainen kuorma $G_k = 25 \text{ kN/m}$ (rakenteiden omapaino).



$$L_s = 3200 \text{ mm} \quad (\text{seinän pituus})$$

$$H_s = 2700 \text{ mm} \quad (\text{seinän korkeus})$$

$$F_{v,Ed} = 21 \text{ kN}$$

$$R = 0,9 \cdot G_k \cdot L_s = 0,9 \cdot 25 \cdot 3,2 = 72 \text{ kN} \quad (\text{seinän päällä olevan tasaisen kuorman resultantti})$$

Tasapainoyhtälö tukipisteen A suhteen

$$-B \cdot L_s + F_{v,Ed} \cdot H_s + \frac{L_s}{2} \cdot R \Rightarrow B = \frac{F_{v,Ed} \cdot H_s + \frac{L_s}{2} \cdot R}{L_s} = \frac{21 \cdot 2,7 + \frac{3,2}{2} \cdot 72}{3,2} = 53,7 \text{ kN}$$

$$A = B - R = 53,7 - 72 = -18,3 \text{ kN}$$

Seinässä ei ole ankkurointitarvetta, koska rakenteiden omapaino riittää kumoamaan vetovoiman tuella A.

10 RANKOJEN PURISTUSKESTÄVYYS

Seinän päissä olevat rangat mitoitetaan tukireaktioiden A ja B aiheuttamille rasituksille. Lisäksi tulee tarkastaa paikallinen puristuskestävyys alaohjauspuussa sekä sen alla olevassa alustassa.

11 SEINÄN KIINNITYS ALUSTAAN

Mikäli seinä tarvitsee ankkurointia, kiinnitetään tukireaktion A mukainen vetovoima rangasta alustaan. Seinä kiinnitetään alareunastaan alustaansa voimalle $F_{v,Ed}$.