

Esimerkkilaskelma

Puu-betoniliittolaatta

20.12.2018

Sisällysluettelo

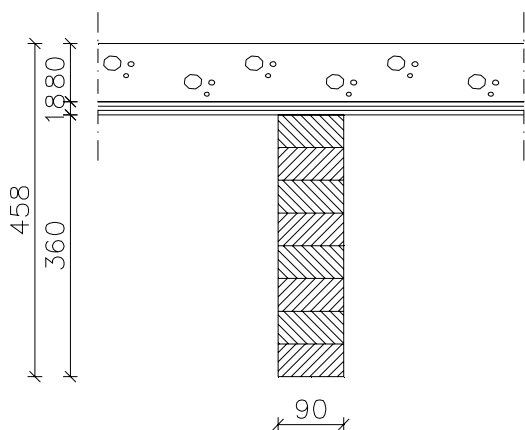
1	LÄHTÖTIEDOT.....	- 3 -
2	KUORMAT	- 3 -
3	MATERIAALI	- 4 -
4	MITOITUS	- 6 -
4.1	POIKKILEIKKAUSSUUREET	- 6 -
4.1.1	POIKKILEIKKAUSSUUREET ALKUTILASSA.....	- 7 -
4.1.2	POIKKILEIKKAUSSUUREET LOPPUTILASSA	- 9 -
4.2	MURTORAJATILAMITOITUS	- 11 -
4.2.1	POIKKILEIKKAUKSEN JÄNNITYKSET ALKUTILASSA.....	- 11 -
4.2.2	POIKKILEIKKAUKSEN JÄNNITYKSET LOPPUTILASSA	- 12 -
4.2.3	POIKKILEIKKAUKSEN MITOITUSEHDOT	- 14 -
4.2.4	TUKIPAINKESTÄVYYS.....	- 15 -
4.3	KÄYTTÖRAJATILAMITOITUS	- 15 -
4.3.1	HETKELLINEN TAIPUMA	- 15 -
4.3.2	LOPULLINEN TAIPUMA	- 16 -
4.3.3	VÄRÄHTELY	- 16 -

1 LÄHTÖTIEDOT

Rakennuspaikka:	Helsinki
Rakenne:	Asuinrakennuksen välipohjan puu-betoniliittolaatta
Seuraamusluokka:	CC2
Normit:	Puurakenteet: RIL 205-1-2017, SFS EN 1995-1-1, ETA 13/0699 Betonirakenteet: SFS EN 1992 Kuormat: RIL 201-1-2017, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1

2 KUORMAT

Tarkastellaan asuinhuoneiston välipohjaa, jonka kantavana rakenteena on puu-betoniliittorakenne. Rakenne on 1-aukkoinen ja jänneväli kyseisellä välipohjalla on 7 000 mm. Vaneri ei toimi liittorakenteessa, vain liimapuupalkki ja betonilaatta toimivat yhdessä liittorakenteena. Betonilaatan ja liimapuupalkkien välillä on SFS Intec VB ristiin ruuvaus.



80 mm teräsbetonilaatta
18 mm havuvaneri
360 mm liimapuupalkki 90x360 k600

Oletetaan välipohjan omapainoksi, $p_{g,k} = 2,8 \text{ kN/m}^2$ (sis. alakatot, talotekniikka, jne.)
Välipohjan hyötykuorma (luokka A), $p_{q,k} = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Pysyvän kuorman viivakuorma palkille, $P_{g,k} = 0,6 \text{ m} \times 2,8 \text{ kN/m}^2 = 1,7 \text{ kN/m}$
Hyötykuorman viivakuorma palkille, $P_{q,k} = 0,6 \text{ m} \times 2,0 \text{ kN/m}^2 = 1,2 \text{ kN/m}$

Murtorajatilan kuorma palkille, $P_d = K_{Fl} \times (1,15 \times p_{g,k} + 1,5 \times p_{q,k}) \Rightarrow P_d = 1,0 \times (1,15 \times 1,7 + 1,5 \times 1,2) = 3,8 \text{ kN/m}$

Voimasuureet:

maksimi taivutusmomentti, $M_d = 23,3 \text{ kNm}$

maksimi leikkaus- ja tukivoima, $V_d = R_d = 13,3 \text{ kN}$

pelkän oman painon aiheuttama taivutusmomentti, $M_{g,d} = 14,1 \text{ kNm}$

pelkän oman painon leikkaus- ja tukivoima, $V_{g,d} = 8,0 \text{ kN}$

3 MATERIAALI

Liimapuupalkki GL30c 90x360

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1 \Rightarrow k_h = \left(\frac{600}{360}\right)^{0,1} = 1,05 \leq 1,1$$

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 1

- ⇒ aika- ja käyttöluokka kerroin, $k_{mod} = 0,8$
- ⇒ virumaluku, $k_{def} = 0,6$

Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet

materiaalin osavarmuusluku, liimapuu $\gamma_M = 1,25$. Liitokset liimapuussa, $\gamma_M = 1,3$.

	Ominaislujuus	Suunnittelulujuus
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{m,k} / \gamma_M = 20,2 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{mod} \times f_{v,k} / \gamma_M = 2,24 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,90,d} = k_{mod} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 1,60 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 24,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{mod} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 15,7 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_{mod} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 0,32 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (0°):	$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,0,d} = k_h \times k_{mod} \times f_{t,0,k} / \gamma_M = 13,1 \text{ N/mm}^2$
Kimmomoduuli:	$E_{0,mean} = 13\ 000 \text{ N/mm}^2$	$E_{0,05} = 10\ 800 \text{ N/mm}^2$
Liukumoduuli:	$G_{0,mean} = 650 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$
Ominaisihteys:	$\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$	

Betoni C25/30:

Virumaluku, $\varphi_{t,t0} =$	2,955 (SFS EN 1992-1-1, liite C. RH 50 %, $t_0 = 28$ vrk, sementti N ja käyttöikä 50 v.)
Osavarmuusluku, $\gamma_c =$	1,5
Lieriölujuus, $f_{ck} =$	25 N/mm ²
Vetolujuus, $f_{ctk,005} =$	1,8 N/mm ²
Sekanttimoduuli, $E_{cm} =$	31 000 N/mm ²
Kerroin $\alpha_{cc} =$	0,85 (pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikutustavat huomioon ottava kerroin)

Lujuuksien suunnitteluarvot:

$$\text{puristuslujuus: } f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \Rightarrow f_{cd} = 0,85 \times \frac{25 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{vetolujuus: } f_{ctd} = \frac{f_{ctk,005}}{\gamma_c} \Rightarrow f_{ctd} = \frac{1,8 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

Muuttuvan kuorman pitkäaikaisisuus, $\psi_2 = 0,3$

Pitkäaikaisyhdistelmän taivutusmomentti käyttörajatilassa:

$$M_{0Eqp} = \frac{(P_{g,k} + \Psi_2 \times P_{q,k}) \times L^2}{8} \Rightarrow M_{0Eqp} = \frac{(1,7 \text{ kN/m} + 0,3 \times 1,2 \text{ kN/m}) \times (7 \text{ m})^2}{8} = 12,6 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = M_d = 23,3 \text{ kNm}$$

$$\text{viruma-aste: } \varphi_{ef} = \varphi_{t,r0} \times \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} \Rightarrow \varphi_{ef} = 2,955 \times \frac{12,6 \text{ kNm}}{23,3 \text{ kNm}} = 1,598 \text{ (Eurokoodi 2 mukainen)}$$

Käytettävä kuitenkin VB-ruuvien ETA:n mukaista betonin virumalukua: $\varphi_{ef} = 2,5$ (ETA 13/0699)

Puu-betoniliittimet (ETA 13/0699)

SFS Intec VB ristiin ruuvattuna ($\pm 45^\circ$)

Liittimen virumaluku käyttöluokassa 1: $k_{\text{def,liitin}} = 0,6$

Vierekkäisten liitinten määrä / rivi: $n_{\text{rivi}} = 2$

Liitinjako:

Laitetaan liittimiä tuilta ($L/4$ matkalle) k150 ja keskialueelle ($L/2$) k300

$$\Rightarrow s_{ef} = 0,75 \times s_{\text{min}} + 0,25 \times s_{\text{max}} \Rightarrow s_{ef} = 0,75 \times 150 + 0,25 \times 300 = 187,5 \text{ mm}$$

Oletetaan liittimen tunkeumaksi liimapuuhun vähintään 70 mm ($= l_{ef}$), jolloin liittimien siirtymäkerroin saadaan laskettua:

$$K_{ser} = 240 \times l_{ef} \Rightarrow K_{ser} = 240 \times 70 \text{ mm} = 16800 \text{ N/mm (käyttörajatila)}$$

$$K_u = \frac{2}{3} \times K_{ser} \Rightarrow K_u = \frac{2}{3} \times 16800 \text{ N/mm} = 11200 \text{ N/mm (murtorajatila)}$$

Liittimen kapasiteetti:

$$F_{Rk} = k_\alpha \times \min \begin{cases} F_{ax,\alpha,Rk} \\ 13000 \text{ N} \end{cases}$$

$k_\alpha = 1,414$ (kun liittimet ristissä $\pm 45^\circ$)

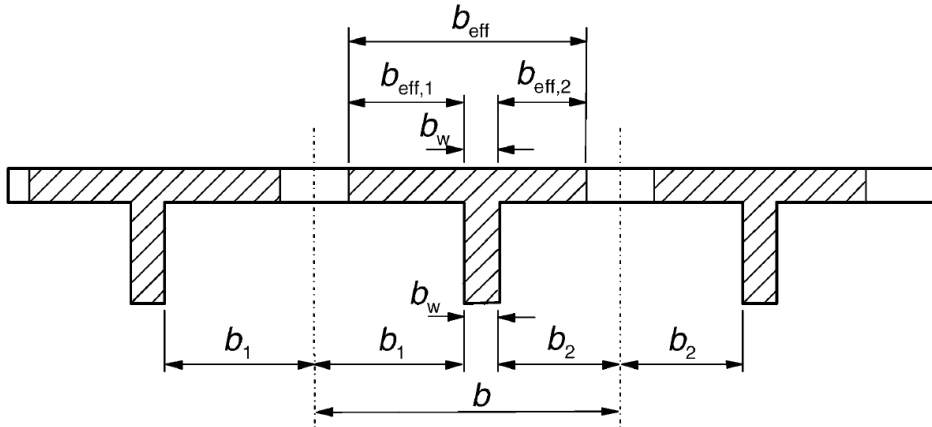
$$F_{ax,\alpha,Rk} = 90 \times l_{ef} \times \left(\frac{\rho_k}{350} \right)^{0,8} \Rightarrow F_{ax,\alpha,Rk} = 90 \times 70 \times \left(\frac{390}{350} \right)^{0,8} = 6870 \text{ N}$$

$$\Rightarrow F_{Rk} = 1,414 \times \min \begin{cases} 6870 \\ 13000 \end{cases} \Rightarrow 9714 \text{ N}$$

$$F_{Rd} = k_{\text{mod}} \times \frac{F_{Rk}}{\gamma_M} \Rightarrow F_{Rd} = 0,8 \times \frac{9714 \text{ N}}{1,3} = 5978 \text{ N}$$

4 MITOITUS

4.1 POIKKILEIKKAUSSUUREET



1-aukkoinen palkki => momentin 0-kohdat tuilla => $l_0 = 7\,000\text{ mm}$

$$b_w = b = 90\text{ mm}$$

$$b_1 = b_2 = (k/k - b) / 2 \Rightarrow (600 - 90) / 2 = 255\text{ mm}$$

Alla oleva kaava löytyy SFS EN 1992-1-1 kaava 5.7a (hiukan eri muodossa)

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \times b_1 + 0,1 \times l_0 \\ 0,2 \times l_0 \end{array} \right. \leq b_i \Rightarrow b_{eff,1} = b_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,2 \times 255 + 0,1 \times 7000 \\ 0,2 \times 7000 \end{array} \right. \leq 255$$

$$\Rightarrow b_{eff,1} = b_{eff,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 751 \\ 1400 \end{array} \right. \leq 255 \Rightarrow b_{eff,1} = b_{eff,2} = 255\text{ mm}$$

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w \Rightarrow b_{eff} = 255 + 255 + 90 = 600\text{ mm (betonilaatan toimiva leveys)}$$

$$\text{betonin poikkileikkauksen pinta-ala: } A_1 = b_{eff} \times h_1 \Rightarrow A_1 = 600\text{ mm} \times 80\text{ mm} = 48\,000\text{ mm}^2$$

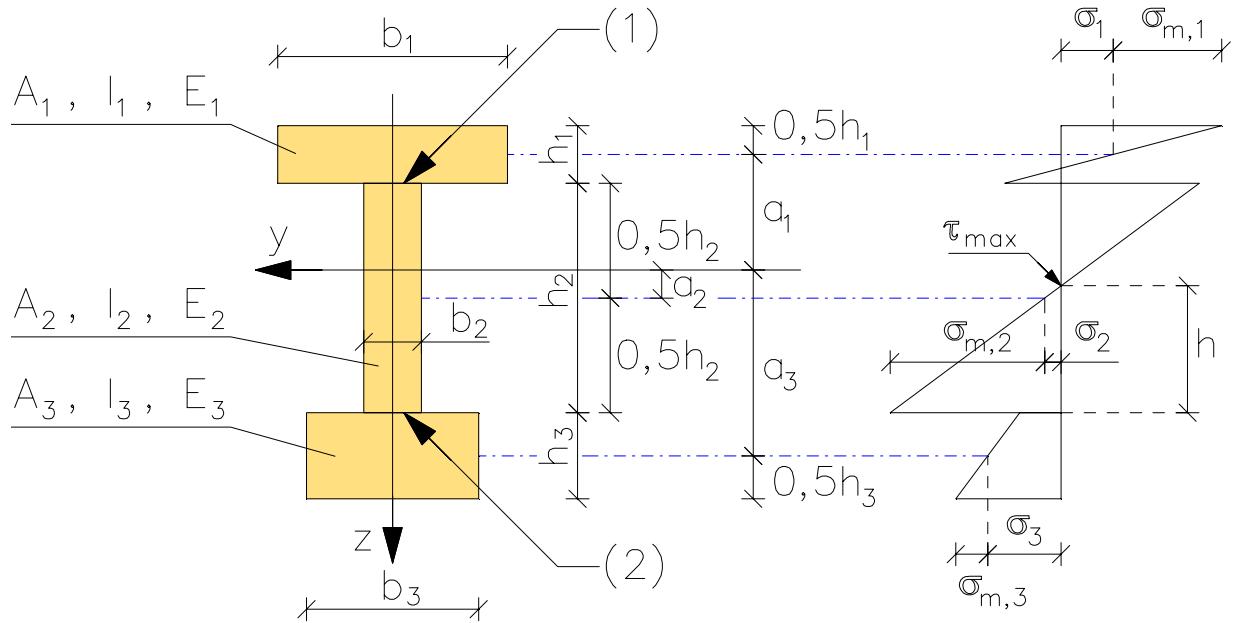
$$\text{betonin jäyhyysmomentti: } I_1 = \frac{b_1 \times h_1^3}{12} \Rightarrow I_1 = \frac{600 \times 80^3}{12} = 25,6 \times 10^6\text{ mm}^4$$

Havuvaneri ei toimi kuin täytteenä rakenteessa, joten

$$E_2 = 0, h_2 = 18\text{ mm}, b_2 = 600\text{ mm}, A_2 = 10\,800\text{ mm}^2 \text{ ja } I_2 = 291\,600\text{ mm}^4$$

$$\text{puupalkin poikkileikkauksen pinta-ala: } A_3 = b_3 \times h_3 \Rightarrow A_3 = 90 \times 360 = 32\,400\text{ mm}^2$$

$$\text{puupalkin jäyhyysmomentti: } I_3 = \frac{b_3 \times h_3^3}{12} \Rightarrow I_3 = \frac{90 \times 360^3}{12} = 349,92 \times 10^6\text{ mm}^4$$



4.1.1 POIKKILEIKKAUSSUUREET ALKUTILASSA

Käyttörajatila

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_1}{n_{rivi} \times K_{ser} \times l^2}} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 31000 \times 48000 \times 187,5}{2 \times 16800 \times 7000^2}} = 0,374$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_3 \times A_3 \times s_3}{n_{rivi} \times K_{ser} \times l^2}} \Rightarrow \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 13000 \times 32400 \times 187,5}{2 \times 16800 \times 7000^2}} = 0,679$$

Vanerin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2) - \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times (h_2 + h_3)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3)}$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{0,374 \times 31000 \times 48000 \times (80 + 18) - 0,679 \times 13000 \times 32400 \times (18 + 360)}{2 \times (0,374 \times 31000 \times 48000 + 1,0 \times 0 \times 10800 + 0,679 \times 13000 \times 32400)} = -31,74 \text{ mm}$$

Betonilaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_1 = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} - a_2 \Rightarrow a_1 = -\frac{80}{2} - \frac{18}{2} + (-31,74) = -80,74 \text{ mm}$$

Liimapuupalkin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_3 = \frac{h_3}{2} + \frac{h_2}{2} + a_2 \Rightarrow a_3 = \frac{360}{2} + \frac{18}{2} + (-31,74) = 157,26 \text{ mm}$$

Tehollinen taivutusjäykkyys alkutilassa:

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2) + (E_3 \times I_3 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3^2) \\ &\Rightarrow (EI)_{ef} = (31000 \times 25,6 \times 10^6 + 0,374 \times 31000 \times 48000 \times (-80,74)^2) + (0) \\ &\quad + (13000 \times 349,92 \times 10^6 + 0,679 \times 13000 \times 32400 \times 157,26^2) \\ &\Rightarrow (EI)_{ef} = 16,042 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Murtorajatila

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_1}{n_{rivi} \times K_u \times l^2}} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 31000 \times 48000 \times 187,5}{2 \times 11200 \times 7000^2}} = 0,285$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_3 \times A_3 \times s_3}{n_{rivi} \times K_u \times l^2}} \Rightarrow \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 13000 \times 32400 \times 187,5}{2 \times 11200 \times 7000^2}} = 0,585$$

Vanerin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2) - \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times (h_2 + h_3)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3)} \\ &\Rightarrow a_2 = \frac{0,285 \times 31000 \times 48000 \times (80 + 18) - 0,585 \times 13000 \times 32400 \times (18 + 360)}{2 \times (0,285 \times 31000 \times 48000 + 1,0 \times 0 \times 10800 + 0,585 \times 13000 \times 32400)} = -38,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

Betonilaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_1 = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} - a_2 \Rightarrow a_1 = -\frac{80}{2} - \frac{18}{2} + (-38,44) = -87,44 \text{ mm}$$

Liimapuupalkin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_3 = \frac{h_3}{2} + \frac{h_2}{2} + a_2 \Rightarrow a_3 = \frac{360}{2} + \frac{18}{2} + (-38,44) = 150,56 \text{ mm}$$

Tehollinen taivutusjäykkyys alkutilassa:

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2) + (E_3 \times I_3 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3^2) \\ &\Rightarrow (EI)_{ef} = (31000 \times 25,6 \times 10^6 + 0,285 \times 31000 \times 48000 \times (-87,44)^2) + (0) \\ &\quad + (13000 \times 349,92 \times 10^6 + 0,585 \times 13000 \times 32400 \times 150,56^2) \\ &\Rightarrow (EI)_{ef} = 14,168 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

4.1.2 POIKKILEIKKAUSSUUREET LOPPUTILASSA

Käyttörajatila

Betonin kimmokerroin taivutuksessa, lopputilassa

$$E_{cm,fin} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{ef}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{31000}{1 + 2,5} = 8857 \text{ N/mm}^2$$

Liimapuupalkin kimmokerroin lopputilassa

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + k_{def}} \Rightarrow E_{0,mean,fin} = \frac{13000}{1 + 0,6} = 8125 \text{ N/mm}^2$$

Puu-betoniliittimen siirtymäkerroin lopputilassa

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def,liitin}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{16800}{1 + 0,6} = 10500 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_1}{n_{rivi} \times K_{ser,fin} \times l^2}} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 8857 \times 48000 \times 187,5}{2 \times 10500 \times 7000^2}} = 0,567$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_3 \times A_3 \times s_3}{n_{rivi} \times K_{ser,fin} \times l^2}} \Rightarrow \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 8125 \times 32400 \times 187,5}{2 \times 10500 \times 7000^2}} = 0,679$$

Vanerin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2) - \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times (h_2 + h_3)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3)}$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{0,567 \times 8857 \times 48000 \times (80 + 18) - 0,679 \times 8125 \times 32400 \times (18 + 360)}{2 \times (0,567 \times 8857 \times 48000 + 1,0 \times 0 \times 10800 + 0,679 \times 8125 \times 32400)} = -52,34 \text{ mm}$$

Betonilaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_1 = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} - a_2 \Rightarrow a_1 = -\frac{80}{2} - \frac{18}{2} + (-45,41) = -101,34 \text{ mm}$$

Liimapuupalkin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_3 = \frac{h_3}{2} + \frac{h_2}{2} + a_2 \Rightarrow a_3 = \frac{360}{2} + \frac{18}{2} + (-45,41) = 136,66 \text{ mm}$$

Tehollinen taivutusjäykkyys lopputilassa:

$$(EI)_{ef,fin} = (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2) + (E_3 \times I_3 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3^2)$$

$$\Rightarrow (EI)_{ef,fin} = (8857 \times 25,6 \times 10^6 + 0,567 \times 8857 \times 48000 \times (-101,34)^2) + (0)$$

$$+ (8125 \times 349,92 \times 10^6 + 0,679 \times 8125 \times 32400 \times 136,66^2)$$

$$\Rightarrow (EI)_{ef,fin} = 8,8809 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Murtorajatila

Betonin kimmokerroin taivutuksessa, lopputilassa

$$E_{cm,fin} = \frac{E_{cm}}{1 + \psi_2 \times \varphi_{ef}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{31000}{1 + 0,3 \times 2,5} = 17714 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm,fin} = \frac{E_{cm}}{1 + \psi_2 \times \varphi_{ef}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{31000}{1 + 1,0 \times 2,5} = 8857 \text{ N/mm}^2 \text{ (vain omapaino)}$$

Liimapuupalkin kimmokerroin lopputilassa

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + \psi_2 \times k_{def}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{13000}{1 + 0,3 \times 0,6} = 11017 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + \psi_2 \times k_{def}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{13000}{1 + 1,0 \times 0,6} = 8125 \text{ N/mm}^2 \text{ (vain omapaino)}$$

Puu-betoniliittimen siirtymäkerroin lopputilassa

$$K_{u,fin} = \frac{K_u}{1 + \psi_2 \times k_{def,liitin}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{11200}{1 + 0,3 \times 0,6} = 9492 \text{ N/mm}^2$$

$$K_{u,fin} = \frac{K_u}{1 + \psi_2 \times k_{def,liitin}} \Rightarrow E_{cm,fin} = \frac{11200}{1 + 1,0 \times 0,6} = 7000 \text{ N/mm}^2 \text{ (vain omapaino)}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_1}{n_{rivi} \times K_{u,fin} \times l^2}} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 17714 \times 48000 \times 187,5}{2 \times 9492 \times 7000^2}} = 0,372$$

$$\gamma_1 = 0,466 \text{ (vain omapaino)}$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times E_3 \times A_3 \times s_3}{n_{rivi} \times K_{u,fin} \times l^2}} \Rightarrow \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 11017 \times 32400 \times 187,5}{2 \times 9492 \times 7000^2}} = 0,585$$

$$\gamma_3 = 0,585 \text{ (vain omapaino)}$$

Vanerin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times (h_1 + h_2) - \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times (h_2 + h_3)}{2 \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3)}$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{0,372 \times 17714 \times 48000 \times (80 + 18) - 0,585 \times 11017 \times 32400 \times (18 + 360)}{2 \times (0,372 \times 17714 \times 48000 + 1,0 \times 0 \times 10800 + 0,585 \times 11017 \times 32400)} = -45,69 \text{ mm}$$

$$a_2 = -55,09 \text{ mm (vain omapaino)}$$

Betoniilaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_1 = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} - a_2 \Rightarrow a_1 = -\frac{80}{2} - \frac{18}{2} + (-45,69) = -94,69 \text{ mm}$$

$$a_1 = -104,09 \text{ mm (vain omapaino)}$$

Liimapuupalkin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista:

$$a_3 = \frac{h_3}{2} + \frac{h_2}{2} + a_2 \Rightarrow a_3 = \frac{360}{2} + \frac{18}{2} + (-45,69) = 143,31 \text{ mm}$$

$$a_3 = 133,91 \text{ mm (vain omapaino)}$$

Tehollinen taivutusjäykkyys lopputilassa:

$$(EI)_{ef} = (E_1 \times I_1 + \gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1^2) + (E_2 \times I_2 + \gamma_2 \times E_2 \times A_2 \times a_2^2) + (E_3 \times I_3 + \gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3^2)$$

$$\Rightarrow (EI)_{ef} = (17714 \times 25,6 \times 10^6 + 0,372 \times 17714 \times 48000 \times (-94,69)^2) + (0)$$

$$+ (11017 \times 349,92 \times 10^6 + 0,585 \times 11017 \times 32400 \times 143,31^2)$$

$$\Rightarrow (EI)_{ef} = 11,428 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{ef} = 7,976 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \text{ (vain omapaino)}$$

4.2 MURTORAJATILAMITOITUS

4.2.1 POIKKILEIKKAUKSEN JÄNNITYKSET ALKUTILASSA

Maksimi kuorma:

Betoniilaatan taivutusjäännitys:

$$\sigma_{m,d,c} = \frac{M_d \times E_{cm}}{(EI)_{ef}} \times \frac{h_1}{2} \Rightarrow \sigma_{m,d,c} = \frac{23,3 \times 10^6 \times 31000}{14,168 \times 10^{12}} \times \frac{80}{2} = 2,04 \text{ N/mm}^2$$

Betoniilaatan keskimääräinen normaalijännitys (puristus):

$$\sigma_{N,d} = \frac{\gamma_1 \times M_d \times E_{cm}}{(EI)_{ef}} \times a_1 \Rightarrow \sigma_{N,d} = \frac{0,285 \times 23,3 \times 10^6 \times 31000}{14,168 \times 10^{12}} \times 87,44 = 1,27 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjäännitys betoniilaatan yläpinnassa:

$$\sigma_{c,d} = \sigma_{m,d,c} + \sigma_{N,d} \Rightarrow \sigma_{c,d} = 2,04 + 1,27 = 3,31 \text{ N/mm}^2$$

Vetojäännitys betoniilaatan alapinnassa:

$$\sigma_{t,d} = \sigma_{m,d,c} - \sigma_{N,d} \Rightarrow \sigma_{t,d} = 2,04 - 1,27 = 0,77 \text{ N/mm}^2$$

Uumapalkin (liimapuupalkin) taivutusjäännitys palkin alapinnassa:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d \times E_{0,mean}}{(EI)_{ef}} \times \frac{h_3}{2} \Rightarrow \sigma_{m,d} = \frac{23,3 \times 10^6 \times 13000}{14,168 \times 10^{12}} \times \frac{360}{2} = 3,85 \text{ N/mm}^2$$

Uumapalkin (liimapuupalkin) keskimääräinen normaalijännitys (veto):

$$\sigma_{t,d} = \frac{\gamma_3 \times M_d \times E_{0,mean}}{(EI)_{ef}} \times a_3 \Rightarrow \sigma_{N,d} = \frac{0,585 \times 23,3 \times 10^6 \times 13000}{14,168 \times 10^{12}} \times 150,56 = 1,88 \text{ N/mm}^2$$

Liittimiin vaikuttava työntövoima:

$$T_d = \frac{\gamma_3 \times V_d \times A_3 \times E_{0,mean}}{(EI)_{ef}} \times a_3 \Rightarrow T_d = \frac{0,585 \times 13,3 \times 10^3 \times 32400 \times 13000}{14,168 \times 10^{12}} \times 150,56 = 34,83 \text{ kN/m}$$

Poikkileikkauksen painopisteen alapuolisen osan staattinen momentti:

$$S_{\max} = \frac{b_3 \times \left(a_3 + \frac{h_3}{2}\right)^2}{2} \times E_{0,mean} \Rightarrow S_{\max} = \frac{90 \times \left(150,56 + \frac{360}{2}\right)^2}{2} \times 13000 = 63,92 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

Uumapalkissa vaikuttava leikkausvoima (poikkileikkauksen neutraaliakselilla):

$$\tau_{\max,d} = \frac{V_d \times S_{\max}}{(EI)_{ef} \times b_3} \Rightarrow \tau_{\max,d} = \frac{13300 \times 63,92 \times 10^9}{14,168 \times 10^{12} \times 90} = 0,667 \text{ N/mm}^2$$

4.2.2 POIKKILEIKKAUKSEN JÄNNITYKSET LOPPUTILASSA

Maksimi kuorma:

Betonilaatan taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d,c,fin} = \frac{M_d \times E_{cm,fin}}{(EI)_{ef}} \times \frac{h_1}{2} \Rightarrow \sigma_{m,d,c,fin} = \frac{23,3 \times 10^6 \times 17714}{11,428 \times 10^{12}} \times \frac{80}{2} = 1,44 \text{ N/mm}^2$$

Betonilaatan keskimääräinen normaalijännitys (puristus):

$$\sigma_{N,d,fin} = \frac{\gamma_1 \times M_d \times E_{cm,fin}}{(EI)_{ef}} \times a_1 \Rightarrow \sigma_{N,d,fin} = \frac{0,372 \times 23,3 \times 10^6 \times 17714}{11,428 \times 10^{12}} \times 94,69 = 1,27 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjännitys betonilaatan yläpinnassa:

$$\sigma_{c,d,fin} = \sigma_{m,d,c,fin} + \sigma_{N,d,fin} \Rightarrow \sigma_{c,d,fin} = 1,44 + 1,27 = 2,71 \text{ N/mm}^2$$

Vetojännitys betonilaatan alapinnassa:

$$\sigma_{t,d,fin} = \sigma_{m,d,c,fin} - \sigma_{N,d,fin} \Rightarrow \sigma_{t,d,fin} = 1,44 - 1,27 = 0,17 \text{ N/mm}^2$$

Uumapalkin (liimapuupalkin) taivutusjännitys palkin alapinnassa:

$$\sigma_{m,d,fin} = \frac{M_d \times E_{0,mean,fin}}{(EI)_{ef}} \times \frac{h_3}{2} \Rightarrow \sigma_{m,d,fin} = \frac{23,3 \times 10^6 \times 11017}{11,428 \times 10^{12}} \times \frac{360}{2} = 4,04 \text{ N/mm}^2$$

Uumapalkin (liimapuupalkin) keskimääräinen normaalijännitys (veto):

$$\sigma_{t,d,fin} = \frac{\gamma_3 \times M_d \times E_{0,mean,fin}}{(EI)_{ef}} \times a_3 \Rightarrow \sigma_{N,d,fin} = \frac{0,585 \times 23,3 \times 10^6 \times 11017}{11,428 \times 10^{12}} \times 143,31 = 1,88 \text{ N/mm}^2$$

Liittimiin vaikuttava työntövoima:

$$T_{d,fin} = \frac{\gamma_3 \times V_d \times A_3 \times E_{0,mean,fin}}{(EI)_{ef}} \times a_3 \Rightarrow T_{d,fin} = \frac{0,585 \times 13,3 \times 10^3 \times 32\,400 \times 11\,017}{11,428 \times 10^{12}} \times 143,31 = 34,83 \text{ kN/m}$$

Poikkileikkauksen painopisteen alapuolisen osan staattinen momentti:

$$S_{max,fin} = \frac{b_3 \times \left(a_3 + \frac{h_3}{2}\right)^2}{2} \times E_{0,mean,fin} \Rightarrow S_{max,fin} = \frac{90 \times \left(143,31 + \frac{360}{2}\right)^2}{2} \times 11\,017 = 51,82 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

Uumapalkissa vaikuttava leikkausvoima (poikkileikkauksen neutraaliakselilla):

$$\tau_{max,d,fin} = \frac{V_d \times S_{max}}{(EI)_{ef} \times b_3} \Rightarrow \tau_{max,d} = \frac{13\,300 \times 51,82 \times 10^9}{11,428 \times 10^{12} \times 90} = 0,670 \text{ N/mm}^2$$

Pelkkä omapaino:

Betonilaatan taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,d,c,fin} = \frac{M_d \times E_{cm,fin}}{(EI)_{ef}} \times \frac{h_1}{2} \Rightarrow \sigma_{m,d,c,fin} = \frac{14,1 \times 10^6 \times 8\,857}{7,976 \times 10^{12}} \times \frac{80}{2} = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

Betonilaatan keskimääräinen normaalijännitys (puristus):

$$\sigma_{N,d,fin} = \frac{\gamma_1 \times M_d \times E_{cm,fin}}{(EI)_{ef}} \times a_1 \Rightarrow \sigma_{N,d,fin} = \frac{0,466 \times 14,1 \times 10^6 \times 8\,857}{7,976 \times 10^{12}} \times 104,09 = 0,76 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjännitys betonilaatan yläpinnassa:

$$\sigma_{c,d,fin} = \sigma_{m,d,c,fin} + \sigma_{N,d,fin} \Rightarrow \sigma_{c,d,fin} = 0,63 + 0,76 = 1,39 \text{ N/mm}^2$$

Vetojännitys betonilaatan alapinnassa:

$$\sigma_{t,d,fin} = \sigma_{m,d,c,fin} - \sigma_{N,d,fin} \Rightarrow \sigma_{t,d,fin} = 0,63 - 0,76 = -0,13 \text{ N/mm}^2 (\Rightarrow \text{puristettu})$$

Uumapalkin (liimapuupalkin) taivutusjännitys palkin alapinnassa:

$$\sigma_{m,d,fin} = \frac{M_d \times E_{0,mean,fin}}{(EI)_{ef}} \times \frac{h_3}{2} \Rightarrow \sigma_{m,d,fin} = \frac{14,1 \times 10^6 \times 8\,125}{7,976 \times 10^{12}} \times \frac{360}{2} = 2,59 \text{ N/mm}^2$$

Uumapalkin (liimapuupalkin) keskimääräinen normaalijännitys (veto):

$$\sigma_{t,d,fin} = \frac{\gamma_3 \times M_d \times E_{0,mean,fin}}{(EI)_{ef}} \times a_3 \Rightarrow \sigma_{t,d,fin} = \frac{0,585 \times 14,1 \times 10^6 \times 8\,125}{7,976 \times 10^{12}} \times 133,91 = 1,13 \text{ N/mm}^2$$

Liittimiin vaikuttava työntövoima:

$$T_{d,fin} = \frac{\gamma_3 \times V_d \times A_3 \times E_{0,mean,fin}}{(EI)_{ef}} \times a_3 \Rightarrow T_{d,fin} = \frac{0,585 \times 8,0 \times 10^3 \times 32\,400 \times 8\,125}{7,976 \times 10^{12}} \times 133,91 = 20,68 \text{ kN/m}$$

Poikkileikkauksen painopisteen alapuolisen osan staattinen momentti:

$$S_{\max,fin} = \frac{b_3 \times \left(a_3 + \frac{h_3}{2}\right)^2}{2} \times E_{0,mean,fin} \Rightarrow S_{\max,fin} = \frac{90 \times \left(133,91 + \frac{360}{2}\right)^2}{2} \times 8125 = 36,03 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

Uumapalkissa vaikuttava leikkausvoima (poikkileikkauksen neutraaliakselilla):

$$\tau_{\max,d,fin} = \frac{V_d \times S_{\max}}{(EI)_{ef} \times b_3} \Rightarrow \tau_{\max,d} = \frac{8000 \times 36,03 \times 10^9}{7,976 \times 10^{12} \times 90} = 0,402 \text{ N/mm}^2$$

4.2.3 POIKKILEIKKAUKSEN MITOITUSEHDOT

Betonilaatan puristuskestävyys alkutilassa: $\sigma_{c,d} = 3,31 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,d} = 14,2 \text{ N/mm}^2 (23\%)$

Betonilaatan puristuskestävyys lopputilassa: $\sigma_{c,d,fin} = 2,71 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,d} = 14,2 \text{ N/mm}^2 (19\%)$

Betonilaatan vetokestävyys alkutilassa: $\sigma_{t,d} = 0,77 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ctd} = 1,2 \text{ N/mm}^2 (64\%)$

Betonilaatan vetokestävyys lopputilassa: $\sigma_{t,d,fin} = 0,17 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ctd} = 1,2 \text{ N/mm}^2 (14\%)$

Uumapalkin taivutuskestävyys alkutilassa: $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,0,d}} \Rightarrow \frac{3,85}{20,2} + \frac{1,88}{13,1} = 0,33 \leq 1,0 (33\%)$

Uumapalkin taivutuskestävyys lopputilassa: $\frac{\sigma_{m,d,fin}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,d,fin}}{f_{t,0,d}} \Rightarrow \frac{4,04}{20,2} + \frac{1,88}{13,1} = 0,34 \leq 1,0 (34\%)$

Uumapalkin leikkauskestävyys alkutilassa: $\tau_{\max,d} = 0,67 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,d} = 2,24 \text{ N/mm}^2 (30\%)$

Uumapalkin leikkauskestävyys lopputilassa: $\tau_{\max,d,fin} = 0,67 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,d} = 2,24 \text{ N/mm}^2 (30\%)$

Liittimien kapasiteetti alkutilassa:

$$F_{Ed} = \frac{s_{\max} \times T_d}{n_{rivi}} \Rightarrow F_{Ed} = \frac{300 \times 34,83}{2} = 5225 \text{ N}$$

$$F_{Ed} = 5225 \text{ N} \leq F_{Rd} = 5978 \text{ N} (87\%)$$

Liittimien kapasiteetti lopputilassa:

$$F_{Ed,fin} = \frac{s_{\max} \times T_{d,fin}}{n_{rivi}} \Rightarrow F_{Ed,fin} = \frac{300 \times 34,83}{2} = 5225 \text{ N}$$

$$F_{Ed,fin} = 5225 \text{ N} \leq F_{Rd} = 5978 \text{ N} (87\%)$$

Vain omapaino ja lopputila:

Betonilaatan puristuskestävyys lopputilassa: $\sigma_{c,d,fin} = 1,39 \text{ N/mm}^2 \leq f_{c,d} = 14,2 \text{ N/mm}^2 (10\%)$

Betonilaatan vetokestävyys lopputilassa: Laatta täysin puristettu

Uumapalkin taivutuskestävyys lopputilassa: $\frac{\sigma_{m,d,fin}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,d,fin}}{f_{t,0,d}} \Rightarrow \frac{2,59}{\frac{0,6}{0,8} \times 20,2} + \frac{1,33}{\frac{0,6}{0,8} \times 13,1} = 0,31 \leq 1,0 (31\%)$

Uumapalkin leikkauskestävyys lopputilassa: $\tau_{\max,d,fin} = 0,40 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,d} = \frac{0,6}{0,8} \times 2,24 \text{ N/mm}^2 (24\%)$

Liittimien kapasiteetti lopputilassa:

$$F_{Ed,fin} = \frac{s_{\max} \times T_{d,fin}}{n_{rivi}} \Rightarrow F_{Ed,fin} = \frac{300 \times 20,68}{2} = 3102 \text{ N}$$

$$F_{Ed,fin} = 3102 \text{ N} \leq F_{Rd} = \frac{0,6}{0,8} \times 5978 \text{ N} (69\%)$$

4.2.4 TUKIPAINEKESTÄVYYS

Oletetaan tukipinnan pituudeksi, $l_a = 150 \text{ mm}$

Puristusjäännitys:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{b \times l_a} \Rightarrow \sigma_{c,90,d} = \frac{13300}{90 \times 150} = 0,99 \text{ N/mm}^2$$

kerroin:

$k_{c,90} = 1,75$ (havupuinen liimapuu tasan jakautuneen kuormituksen yhteydessä)

$$l_{c,90,ef} = l_a + 30 \text{ mm} = 180 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l_a} \times k_{c,90} \Rightarrow k_{c,\perp} = \frac{180}{150} \times 1,75 = 2,1$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,99 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,\perp} \times f_{c,90,d} = 2,1 \times 1,60 \text{ N/mm}^2 = 3,36 \text{ N/mm}^2 (30\%)$$

4.3 KÄYTTÖRAJATILAMITOITUS

4.3.1 HETKELLINEN TAIPUMA

$$w_{inst} = \frac{5 \times (P_{g,k} + P_{q,k}) \times L^4}{384 \times (EI)_{ef}} \Rightarrow \frac{5 \times (1,7 + 1,2) \times 7000^4}{384 \times 16,042 \times 10^{12}} = 5,65 \text{ mm} \leq \frac{L}{400} (32\%)$$

4.3.2 LOPULLINEN TAIPUMA

Lyhytaikaisen kuorman osuus:

$$P_{q,inst} = (1 - \psi_2) \times P_{q,k} \Rightarrow P_{q,inst} = (1 - 0,3) \times 1,2 = 0,84 \text{ kN/m}$$

Pitkäaikaisen kuorman osuus:

$$P_{fin} = P_{g,k} + \psi_2 \times P_{q,k} \Rightarrow P_{fin} = 1,7 + 0,3 \times 1,2 = 2,06 \text{ kN/m}$$

$$w_{fin} = \frac{5}{384} \times \left(\frac{P_{inst}}{(EI)_{ef}} + \frac{P_{fin}}{(EI)_{ef}} \right) \times L^4$$

$$\Rightarrow w_{fin} = \frac{5}{384} \times \left(\frac{0,84}{16,042 \times 10^{12}} + \frac{2,06}{8,881 \times 10^{12}} \right) \times 7000^4 = 8,89 \text{ mm} \leq \frac{L}{300} \text{ (38\%)}$$

HUOM! Betonin kutustumaa ei ole otettu erikseen huomioon tässä ETA 13/0699 mukaisessa taipumalaskelmassa (käytetty "korotettua" virumalukua).

4.3.3 VÄRÄHTELY

Värähtelevän välipohjan massa pinta-alayksikköä kohden:

$$m = p_{g,k} + 30 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow m = 280 + 30 = 310 \text{ kg/m}^2$$

Oletetaan välipohjan leveydeksi, $B = 5 \text{ m} \Rightarrow \max(L; B) = 7 \text{ m}$

Välipohjan jäykkyydet pituus- ja leveyssuunnassa

Betonilaatan taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden:

$$(EI)_{betoni} = \frac{h_1^3 \times E_{cm}}{12} \Rightarrow (EI)_{betoni} = \frac{80^3 \times 31000}{12} = 1,3227 \times 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

Lattian pituussuuntainen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden (sisältää liittolaatan jäykkyyden):

$$\text{palkkijako, } s = 600 \text{ mm: } (EI)_L = \frac{(EI)_{ef}}{s} \Rightarrow (EI)_L = \frac{16,042 \times 10^{12}}{600} = 26,737 \times 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

Lattian pituussuuntainen taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden (sisältää betonilaatan):

$$(EI)_B = (EI)_{betoni} = 1,3227 \times 10^6 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

Ominaistaajuus:

Oletetaan lattian kantavan kahteen suuntaan eli neljältä sivulta tuetuksi, jolloin alin ominaistaajuus voidaan laskea:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \times L^2} \times \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \times \sqrt{1 + \left(2 \times \left(\frac{L}{B} \right)^2 + \left(\frac{L}{B} \right)^4 \right) \times \frac{(EI)_B}{(EI)_L}}$$

$$\Rightarrow f_1 = \frac{\pi}{2 \times 7^2} \times \sqrt{\frac{26,737 \times 10^6}{310}} \times \sqrt{1 + \left(2 \times \left(\frac{7}{5} \right)^2 + \left(\frac{7}{5} \right)^4 \right) \times \frac{1,3227 \times 10^6}{26,737 \times 10^6}}$$

$$\Rightarrow f_1 = 0,0321 \times 293,681 \times \sqrt{1 + 7,7616 \times 0,0495} = 11,1 \text{ Hz} \geq 9,0 \text{ Hz}$$

Jos kyseinen välipohja olisi vain yhteen suuntaan kantava, niin ominaistajuus olisi

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \times L^2} \times \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}$$

$$\Rightarrow f_1 = \frac{\pi}{2 \times 7^2} \times \sqrt{\frac{26,737 \times 10^6}{310}}$$

$$\Rightarrow f_1 = 0,0321 \times 293,681 = 9,4 \text{ Hz} \geq 9,0 \text{ Hz}$$

⇒ Lattia voidaan vielä luokitella korkeataajuuslattiaksi.

Vastaavasti, jos ominaistajuus olisi ollut alle 9,0 Hz (kuitenkin enemmän kuin 3 Hz), niin lattia olisi ollut matalataajuuslattia. Tällöin matalataajuuslattian värähtelytarkastelu VTT Tiedotteita 2124 mukaan:

$$k_\delta = \sqrt{\frac{(EI)_B}{(EI)_L}} \Rightarrow k_\delta = \sqrt{\frac{1,3227 \times 10^6}{26,727 \times 10^6}} = 0,222 \leq \frac{B}{L} = 0,714 \text{ (yhteen suuntaan kantavan kaava)}$$

$$W = \min \left\{ \begin{array}{l} 2mk_\delta L^2 = 2 \times 310 \times 0,222 \times 7^2 = 6744 \\ \frac{2}{3}mbL = \frac{2}{3} \times 310 \times 5 \times 7 = 7233 \end{array} \right. = 6744 \text{ kg}$$

$$f_1 = 9,4 \text{ Hz}$$

$P = 800 \text{ N}$ (henkilön paino)

$\xi = 0,03$ (vaimennussuhde)

$$a = \frac{0,58 \times P}{W \times \xi} e^{-0,35 \times f_1} \leq 0,075 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow a = \frac{0,58 \times 800}{6744 \times 0,03} e^{-0,35 \times 9,4} = 0,085 \text{ m/s}^2 > 0,075 \text{ m/s}^2$$

Lattian kiihtyvyyks on suuri => matalataajuuslattian mitoituskriteeri ei täyty.

Välipohjan taipumakriteeri:

$$k_\delta = \sqrt{\frac{(EI)_B}{(EI)_L}} \Rightarrow k_\delta = \sqrt{\frac{1,3227 \times 10^6}{26,727 \times 10^6}} = 0,222 \leq \frac{B}{L} = 0,714$$

Lasketaan huoneen koosta riippuva kerroin:

$$k = \frac{1}{0,318 + 0,114 \times L} \geq 1,0 \Rightarrow k = \frac{1}{0,318 + 0,114 \times 7} = 0,896 \geq 1,0 \Rightarrow k = 1,0$$

Pistekuorma, $F = 1,0 \text{ kN}$

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F \times L^2}{42 \times k_\delta \times (EI)_L} \\ \frac{F \times L^3}{48 \times s \times (EI)_L} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,0 \times 7000^2}{42 \times 0,222 \times 26,727 \times 10^6} = 0,20 \text{ mm} \\ \frac{1,0 \times 7000^3}{48 \times 600 \times 26,727 \times 10^6} = 0,45 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$\delta \leq k \times 0,5 \text{ mm} \Rightarrow 0,20 \text{ mm} \leq 1,0 \times 0,5 \text{ mm} (40\%)$$

⇒ Lattia täyttää värähtelymitoituksessa korkeataajuuslattialle asetetun taipumakriteerin.