

Moduuli 4

Kotitehtävä 19_VASTAUS (5 pistettä)

28.3.2019

1.0 Nimellinen hiiltymisnopeus ennen levyjen murtumista (0,5 p)

Hiiltymisvaihetta ennen levyjen murtumista ei ole, koska kyseessä on tavallinen kipsikartonkilevy

$$t_{ch} = t_f = 40 \text{ min}$$

$$\beta_{n2} = 0 \text{ mm/min}$$

2.0 Nimellinen hiiltymisnopeus levyjen murtumisen jälkeen (0,5 p)

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

$$k_s = 1,0$$

$$k_3 = 1,0$$

$$k_n = 1,5 \text{ (vakio)}$$

$$\beta_0 = 0,7 \text{ mm/min}$$

$$\beta_{n3} = k_s \cdot k_3 \cdot k_n \cdot \beta_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,7 = 1,05 \text{ mm/min}$$

3.0 Nimellinen hiiltymissyvyyden mitoitusarvo (0,5 p)

$$\beta_{n2} = 0 \text{ mm/min}$$

$$t_f = 40 \text{ min}$$

$$t_{ch} = 40 \text{ min}$$

$$\beta_{n3} = 1,05$$

$$t = 60 \text{ min}$$

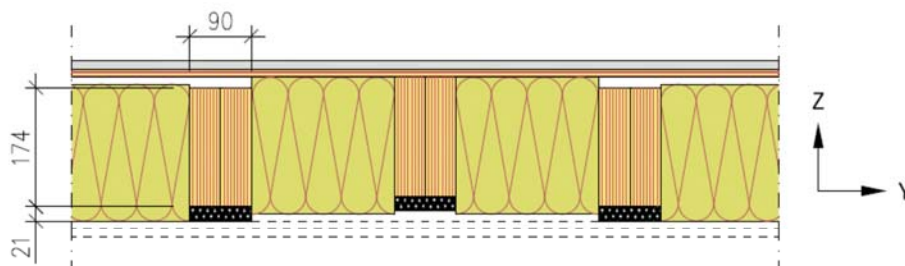
$$d_{char,n} = \beta_{n2} \cdot (t_f - t_{ch}) + \beta_{n3} \cdot (t - t_f) = 0 \cdot (40 - 40) + 1,05 \cdot (60 - 40) = 21 \text{ mm}$$

Kivivilla suojaa tolppien kylkiä, joten tolpat hiiltyvät vain yhdessä suunnasta.

4.0 Runkotolpan nimellinen jäännöspoikkileikkaus (0,5 p)

$$b_{fi} = 90 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = 174 \text{ mm}$$



5.0 Runkotolpan ominaisuudet palotilanteessa (0,5 p)

Puristuslujuus

$$f_{c,0,k} = 26 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{fi} = 1,1$$

$$f_{c,0,20} = k_{fi} \cdot f_{c,0,k} = 1,1 \cdot 26 = 28,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{d_{char,n}}{h} = \frac{21}{195} = 0,1$$

$$k_{mod,c,fi} = 0,60$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{c,0,d,fi} = k_{mod,c,fi} \cdot \frac{f_{c,0,20}}{\gamma_{M,fi}} = 0,60 \cdot \frac{28,6}{1,0} = 17,2 \text{ N/mm}^2$$

Käytetään samaa puristuslujuuden laskenta-arvoa suunnissa Z ja Y (varmalla puolella).

Ohjeistuksessa ei ole esitetty $k_{mod,c,fi}$ -kertoimen määrittämistä Y-suunnassa.

Taivutuslujuus

$$f_{m,k} = 27 \text{ N/mm}^2$$

$$k_h = \left(\frac{300}{h_{fi}} \right)^{0,15} \leq 1,2 = \left(\frac{300}{174} \right)^{0,15} = 1,09 \leq 1,2 \Rightarrow 1,09$$

$$f_{m,k} = k_h \cdot f_{m,k} = 1,09 \cdot 27 = 29,4 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{fi} = 1,1$$

$$f_{m,20} = k_{fi} \cdot f_{m,k} = 1,1 \cdot 29,4 = 32,3 \text{ N/mm}^2$$

Palo puristetulla puolella

$$\frac{d_{char,n}}{h} = \frac{21}{195} = 0,1$$

$$k_{mod,fm,fi} = 0,60$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fm,fi} \cdot \frac{f_{m,20}}{\gamma_{M,fi}} = 0,6 \cdot \frac{32,3}{1,0} = 19,4 \text{ N/mm}^2$$

Käytetään samaa taivutuslujuuden laskenta-arvoa suunnissa Z ja Y (varmalla puolella).

Ohjeistuksessa ei ole esitetty $k_{mod,fm,fi}$ -kertoimen määrittämistä Y-suunnassa.

Lapetaivutuksen lujuusarvoa (yleensä suurempi kuin syrjätaivutuksessa) ei ole ilmoitettu 90 mm paksulle kerrannaisliimatulle Kerto-T-tuotteelle.

6.0 Runkotolpan kuormitus (0,5 p)

Z - suunnassa

$$N_{d,fi} = 25 \text{ kN}$$

Pystykuorman epäkeskisyys $e = 50 \text{ mm}$

$$M_{y,d,fi} = e \cdot N_{d,fi} = 0,05 \cdot 25 = 1,25 \text{ kNm}$$

$$\text{Hiiltymän aiheuttama epäkeskisyys } e_{ch} = \frac{d_{char,n}}{2} = \frac{21}{2} = 10,5 \text{ mm}$$

$$M_{y,ch,d,fi} = e_{ch} \cdot N_{d,fi} = 0,0105 \cdot 25 = 0,26 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{y,d,fi} = 1,25 + 0,26 = 1,51 \text{ kNm}$$

Y - suunnassa

$$N_{d,fi} = 25 \text{ kN}$$

7.0 Runkotolpan nurjahduskestävyys Z-suunnassa (0,5 p)

$$L_{c,z,fi} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 2500 = 2500 \text{ mm}$$

$$I_{y,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = \frac{90 \cdot 174^3}{12} = 39,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_{fi} = b_{fi} \cdot h_{fi} = 90 \cdot 174 = 15660 \text{ mm}^2$$

$$i_{y,fi} = \sqrt{\frac{I_{y,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{39,5 \cdot 10^6}{15660}} = 50,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{y,fi} = \frac{L_{c,z,fi}}{i_{y,fi}} = \frac{2500}{50,2} = 49,8$$

$$E_{0,05} = 8800 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y,fi} = \frac{\lambda_{y,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{49,8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26}{8800}} = 0,86$$

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_{y,fi} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,y,fi}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,86 - 0,3) + 0,86^2) = 0,9$$

$$k_{c,y,fi} = \frac{1}{k_{y,fi} + \sqrt{k_{y,fi}^2 - \lambda_{rel,y,fi}^2}} \leq 1 = \frac{1}{0,9 + \sqrt{0,9^2 - 0,86^2}} = 0,86 \leq 1 \Rightarrow 0,86$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{fi}} = \frac{25000}{15660} = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{6 \cdot \sum M_{y,d,fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = \frac{6 \cdot 151 \cdot 10^6}{90 \cdot 174^2} = 3,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,y,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1 = \frac{1,6}{0,86 \cdot 17,2} + \frac{3,3}{19,4} = 0,28 < 1 \text{ OK Kestää}$$

8.0 Runkotolpan nurjahduskestävyys Y-suunnassa (0,5 p)

$$L_{c,y,fi} = 1,0 \cdot L = 1,0 \cdot 2500 = 2500 \text{ mm}$$

$$I_{z,fi} = \frac{b_{fi} \cdot h_{fi}^3}{12} = \frac{174 \cdot 90^3}{12} = 10,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_{fi} = b_{fi} \cdot h_{fi} = 174 \cdot 90 = 15660 \text{ mm}^2$$

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{10,6 \cdot 10^6}{15660}} = 26,0 \text{ mm}$$

$$\lambda_{z,fi} = \frac{L_{c,y,fi}}{i_{z,fi}} = \frac{2500}{26,0} = 96,2$$

$$E_{0,05} = 8800 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,z,fi} = \frac{\lambda_{z,fi}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{96,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26}{8800}} = 1,66$$

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_{z,fi} = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,z,fi}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,66 - 0,3) + 1,66^2) = 1,95$$

$$k_{c,z,fi} = \frac{1}{k_{z,fi} + \sqrt{k_{z,fi}^2 - \lambda_{rel,z,fi}^2}} \leq 1 = \frac{1}{1,95 + \sqrt{1,95^2 - 1,66^2}} = 0,34 \leq 1 \Rightarrow 0,34$$

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{N_{d,fi}}{A_{fi}} = \frac{25000}{15660} = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{6 \cdot \sum M_{y,d,fi}}{b_{fi} \cdot h_{fi}^2} = \frac{6 \cdot 151 \cdot 10^6}{90 \cdot 174^2} = 3,3 \text{ N/mm}^2$$

$$k_m = 0,7 \text{ (suorakaidepoikkileikkaus)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_{c,z,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,d,fi}} \leq 1 = \frac{1,6}{0,34 \cdot 17,2} + 0,7 \cdot \frac{3,3}{19,4} = 0,39 < 1 \text{ OK Kestää}$$

9.0 Kiepahdus (0,5 p)

$$\ell_{ef,fi} = L + 2 \cdot h_{fi} = 2500 + 2 \cdot 174 = 2848 \text{ mm}$$

$$c = 0,58$$

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{c \cdot b_{fi}^2}{h_{fi} \cdot \ell_{ef,fi}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,58 \cdot 90^2}{174 \cdot 2848} \cdot 8800 = 83,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{k_h \cdot f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}} = \sqrt{\frac{1,09 \cdot 27}{83,4}} = 0,59$$

$$k_{crit,fi} = 1,0 \quad (\lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75) \Rightarrow \text{Runkotolppa ei ole kiepahdusaltis}$$

10.0 Y-suunnan nurjahduskestävyyden lisääminen (0,5 p)

Mikäli runkotolpan nurjahduskestävyys ei ole riittävä Y-suunnassa, tulee runkotolpille järjestää erillinen tuentasysteemi. Erillisessä tuentasysteemissä runkotolpat kytketään toisiinsa ja tuennasta syntyvät sisäiset voimat johdetaan jäykisteelle, joka siirtää kyseiset voimat runkotolpan päihin (nurjahdusaallon 0-kohtaan). Tällaisen tuentasysteemin toteuttaminen on kuitenkin hankalaa siksak-runkoisessa seinässä, koska tolppien väliin ei saada esimerkiksi vaakasuuntaisia välikapuloita, koska runkotolpan ja levytyksen väliin ei tällaista yleensä mahdu. Näin ollen helpoin keino lisätä Y-suunnan nurjahduskestävyyttä on suurentaa runkotolpan poikkileikkausta. Tällä tavalla saadaan runkotolpalle myös lisää tukipai-
nekestävyyttä murtorajatilamitoitukseen.