

Moduuli 3

Kotitehtävä 13_KYSYMYKSET (7 pistettä)

11.12.2017

Kuvassa on suora yksiaukkoinen pääkannatin (liimapuupalkki), jota kuormittaa kuvassa olevat kuormat. Pääkannattimen kuormitus syntyy kattoelementtien välityksellä. Pääkannatin tuetaan kiepahdusta vastaan kattoelementtien muodostamalla levyjäykisteellä. Kattoelementit kiinnitetään ruuveilla kulmistaan pääkannattimeen (ks. kuva).

Määritä käsinlaskelmilla

a) Kuormitustapauksesta pysyvä 100 % + lumi 100 %

- leikkausvoiman suuruus, jolle kattoelementin levyjäykiste mitoitetaan s-kiepahduksessa
- liitosvoiman suuruus, jolle pääkannattimen ja kattoelementin reunapalkin välinen liitos mitoitetaan s-kiepahduksessa
- liitosvoima suuruus, jolle kattoelementtien välinen pituussuuntainen sauma mitoitetaan s-kiepahduksessa
- voiman suuruus, joka viedään perustuksille pääkannattimen päissä s-kiepahduksessa

b) Kuormitustapauksesta pysyvä 100 % + tuuli 100 % + lumi 70 %

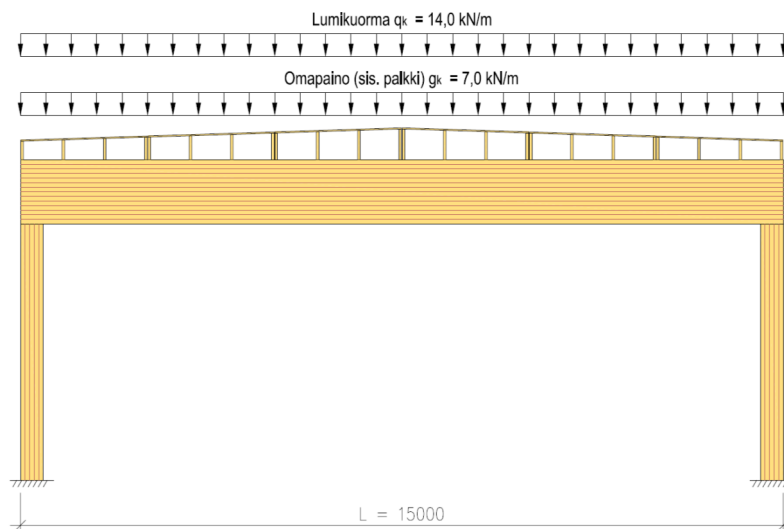
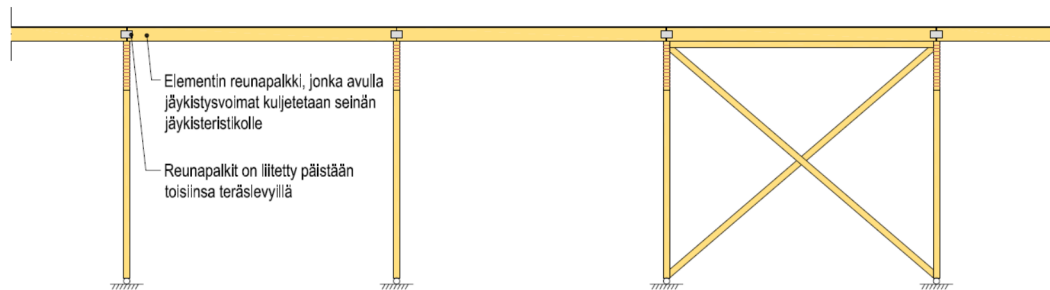
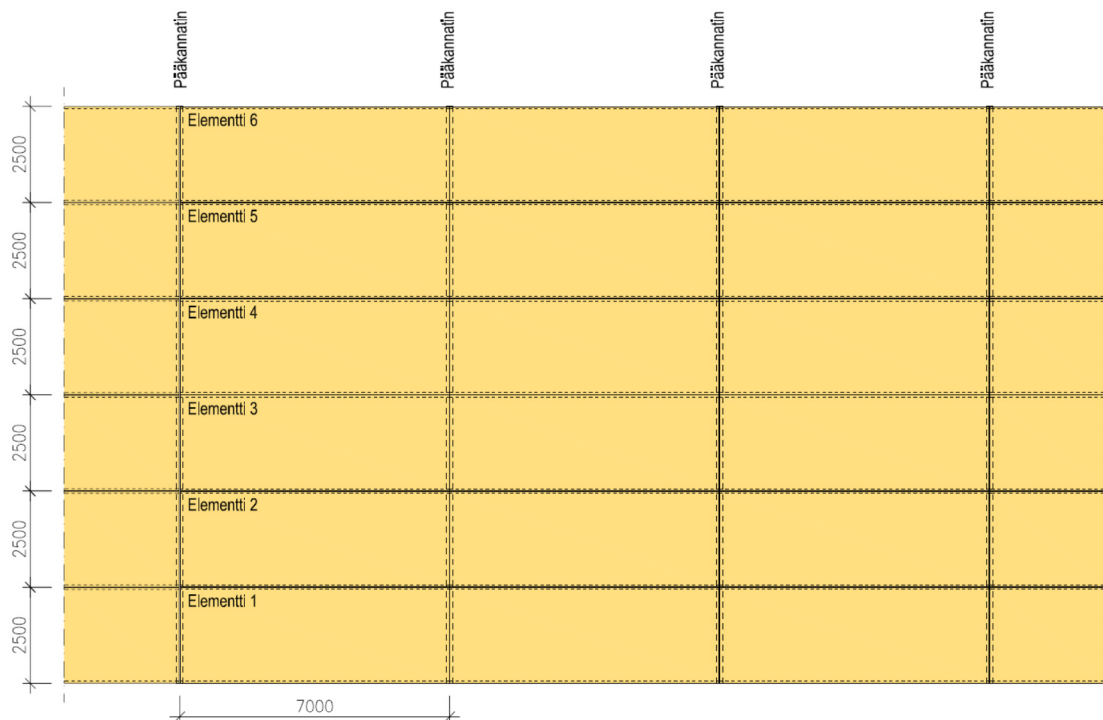
- leikkausvoiman suuruus, jolle kattoelementin levyjäykiste mitoitetaan kiepahduksessa
- liitosvoiman suuruus, jolle pääkannattimen ja kattoelementin reunapalkin välinen liitos mitoitetaan kiepahduksessa
- liitosvoima suuruus, jolle kattoelementtien välinen pituussuuntainen sauma mitoitetaan kiepahduksessa
- voiman suuruus, joka viedään perustuksille pääkannattimen päissä kiepahduksessa

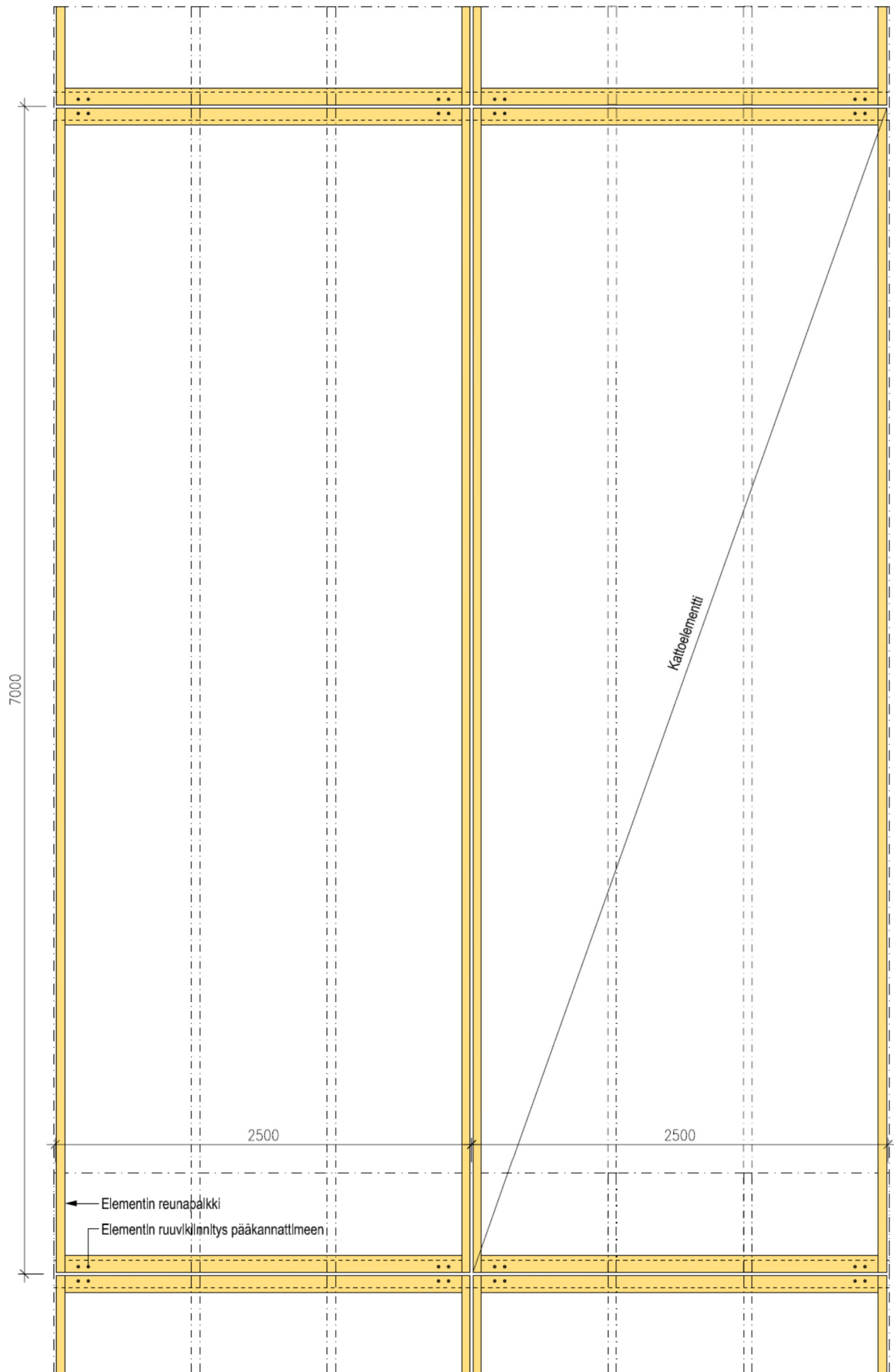
Kerro sanallisesti

- periaate kuinka s-kiepahduksen jousijäykkyysvaatimus osoitetaan kyseisessä tapauksessa
- periaate kuinka levyjäykisteen jäykkyysvaatimus osoitetaan kyseisessä tapauksessa

Lisätietoja

- seuraamusluokka CC2
- rakennuksen leveys on 15000 mm ja pituus on 49000 mm
- lisävaakavoima tulee huomioida laskelmissa
- maksimiarvojen esittäminen riittää, koska kaikki kattoelementit ja niiden liitokset mitoitetaan maksimivoiman perusteella samanlaisiksi
- pääkannattimen poikkileikkauksen koko on 165 x 1260
- pääkannattimen lujuusluokka GL30c
- tuulikuorma (100 %) yhdelle kehävälillä jäykisteelle on $q_{w,k} = 0,4 \text{ kN/m}$ (päädyn tuulikuorma $q_{w,k} = 2,8 \text{ kN/m}$ jaettu seitsemälle kehävälille)
- kattoelementit on kytketty päistään toisiinsa siten, että tuulikuorma siirtyy seuraavalle elementille suoraan jatkoksen kautta rasittamatta pääkannattimen ja kattoelementin välistä liitosta





Moduuli 3

Kotitehtävä 13_VASTAUS (7 pistettä)

11.12.2017

Kuormitustapaus (pysyvä 100 % + lumi 100 %) (keskipitkä)

1.0 Palkin yläreunan puristusvoima (0,5 p)

ℓ_{ef} = kiepahdustukemattoman palkin mitta

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,9 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,9 \cdot 15000 = 13500 \text{ mm}$$

ℓ_{ef} -mittaa suurennetaan 2h verran, koska kuorma puristetulla reunalla

$$\ell_{ef} = 13500 + 2 \cdot 1260 = 16020 \text{ mm}$$

$$c = 0,70$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,70 \cdot 165^2}{1260 \cdot 16020} \cdot 10800 = 10,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30,0}{10,2}} = 1,7$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,7^2} = 0,35$$

$$M_d = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \cdot L^2}{8} = \frac{(1,15 \cdot 7 + 1,5 \cdot 14) \cdot 15^2}{8} = 817 \text{ kNm}$$

$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_d}{h} = (1 - 0,35) \cdot \frac{817}{1,260} = 421 \text{ kN}$$

2.0 Tuen jousijäykkyysvaatimus (0,25 p)

$m = 6$ poikittaistuetujen kenttien lukumäärä

$a = 2,5$ poikittaistukien k-jako

$$C_{vaad} \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{6}\right) \right) \cdot \frac{421}{2,5} = 628 \text{ N/mm}$$

3.0 Kriittinen kiepahdusaallonpituus (0,5 p)

$$N_d = 421 \text{ kN}$$

$$C_{vaad} = 628 \text{ N/mm}$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = \frac{1260 \cdot 165^3}{12} = 4,7 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\ell_s = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C_{vaad}}{a \cdot E_{0,05} \cdot I}}} \geq 2 \cdot a \Rightarrow \ell_s = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{628}{2500 \cdot 10800 \cdot 4,7 \cdot 10^8}}} = 6661 \text{ mm (määrävä)} \\ 2 \cdot a = 2 \cdot 2500 = 5000 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$\ell_s \leq \frac{L}{2} \Rightarrow \text{S-kiepahdus tapahtuu}$$

Käytetään ℓ_s -mittaa 5000 mm, koska tämä sopii kattoelementtijakoon 2500 mm.

4.0 Kiepahdustuen voima $F_{d,tuki}$ (0,25 p)

$$F_d = \frac{N_d}{80} = \frac{421}{80} \approx 5 \text{ kN}$$

$$k_{S,red} = \frac{a}{\ell_s - a} = \frac{2500}{5000 - 2500} = 1,0$$

$$F_{d,tuki,1} = F_{d,tuki,7} = \frac{F_d}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ kN}$$

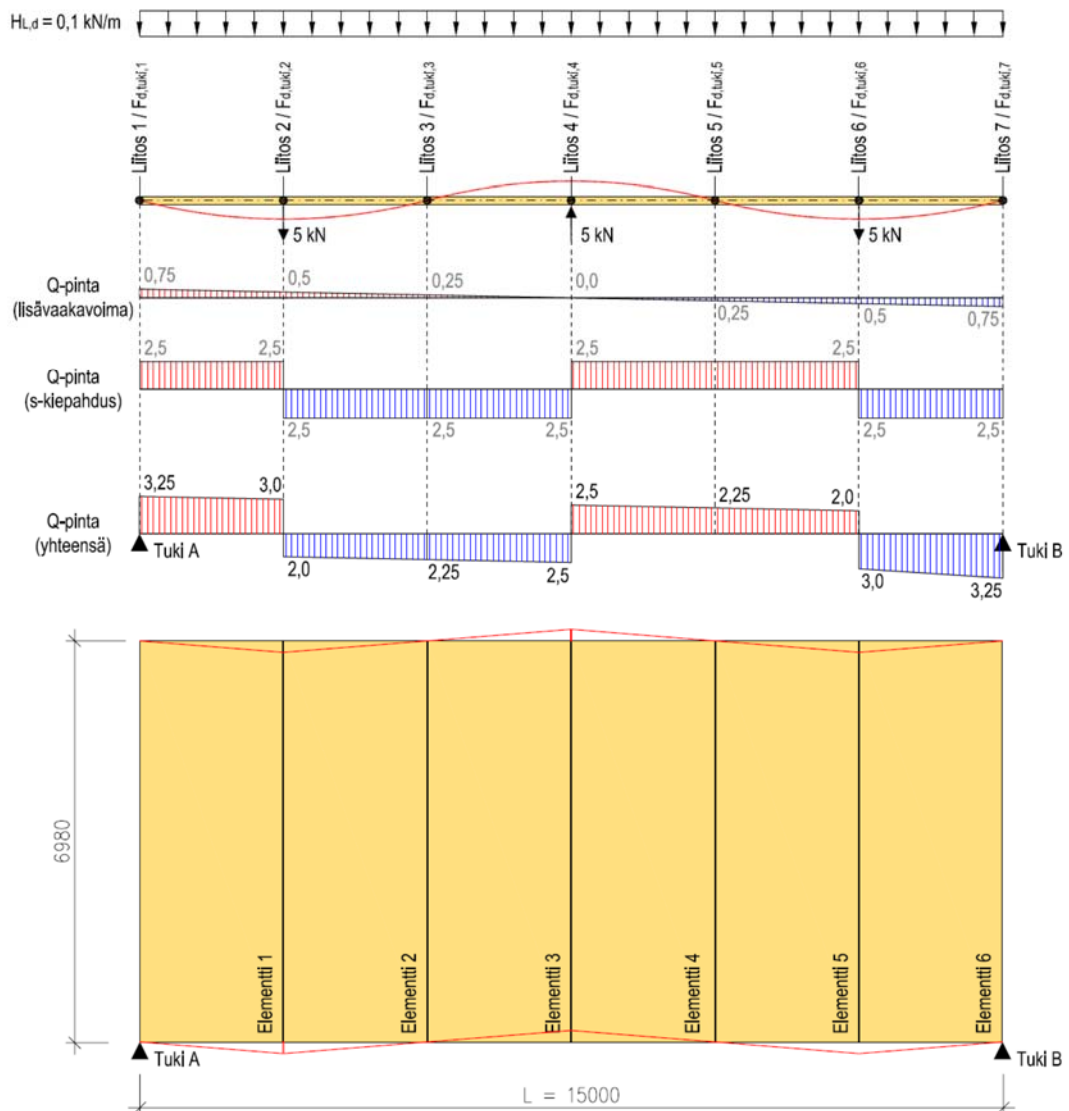
$$F_{d,tuki,2} = F_{d,tuki,3} = F_{d,tuki,4} = F_{d,tuki,5} = F_{d,tuki,6} = k_{S,red} \cdot F_d = 1,0 \cdot 5 = 5 \text{ kN}$$

5.0 Lisävaakavoima (0,25 p)

Omapaino 100 % + Lumi 100 %

$$H_{L,d} = \frac{B}{L} \cdot \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k)}{150} = \frac{15}{49} \cdot \frac{(1,15 \cdot 7 + 1,5 \cdot 14)}{150} = 0,06 \text{ kN/m}$$

$$H_{L,d} = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k)}{250} = \frac{(1,15 \cdot 7 + 1,5 \cdot 14)}{250} = 0,1 \text{ kN/m (määräävä)}$$



6.0 Kattoelementin levyjäykisteen mitoittava voima (s-kiepahdus) (0,25 p)

Suurin leikkausvoima $Q_{d,max} = 3,25$ kN on elementeissä 1.

Yksinkertaistamisen vuoksi kaikkien kattoelementtien levyjäykisteet mitoitetaan kyseiselle leikkausvoimalle.

7.0 Pääkannattimen ja kattoelementin välisen liitoksen mitoittava voima (s-kiepahdus) (0,5 p)

Lähtötietojen mukaan tuulikuorma siirtyy seuraavalle elementille erillisen jatkoksen kautta, joten tuulikuorma ei rasita liitosta. Liitosvoimat syntyvät s-kiepahduksesta ja lisävaakavoimasta. Tutkitaan liitosta 2.

k = kuormitusleveys, joka tässä tapauksessa on 1250 mm (puolet kattoelementin leveydestä)

$$F_{stab,d} = \frac{F_{d,tuki,2}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ kN}$$

$$F_{HL,d} = H_{L,d} \cdot k = 0,1 \cdot 1,25 = 0,125 \text{ kN}$$

$$F_{d,liitos} = F_{stab,d} + F_{HL,d} = 2,5 + 0,125 = 2,63 \text{ kN}$$

8.0 Kattoelementtien välisen pituussuuntaisen sauman mitoittava voima (0,5 p)

S-kiepahduksen kannalta kattoelementtejä ei tarvitse kiinnittää toisiinsa, koska jokainen elementti toimii itsenäisesti välittäen voiman $F_{d,tuki,i}$ kiepahdusaallon 0-kohtaan.

Lisävaakavoiman aiheuttamat rasitukset tulee siirtää pääkannattimen päätylinjoille, joista edelleen pystyjäykisten kautta perustuksille. Näin ollen kattoelementtien väliset pituussuuntaiset saumat tulee kiinnittää toisiinsa, jotta levykenttä toimii "palkkina". Suunnittelun ja rakentamisen yksinkertaistamiseksi kattoelementtien välisten saumojen kiinnitys kannattaa mitoittaa levykentän päässä olevan leikkausvoiman mukaan (voimat ovat pieniä). Tässä tapauksessa tuo tason päässä oleva lisävaakavoiman aiheuttama leikkausvoima $Q_{d,max} = 0,75$ kN.

9.0 Perustuksille vietävä voima (0,5 p)

S-kiepahduksesta syntyvät voimat ovat jäykistysjärjestelmän sisäisiä voimia, joten näitä voimia ei tarvitse viedä perustuksille.

Perustuksille viedään lisävaakavoiman aiheuttamat voimat pääkannattimen päissä. Tässä tapauksessa yhdeltä pääkannattimelta perustuksille vietävä lisävaakavoiman aiheuttama voima $Q_{d,max} = 0,75$ kN.

Kuormitustapaus (pysyvä 100 % + tuuli 100 % + lumi 70 %) (hetkellinen)

10.0 Palkin yläreunan puristusvoima (0,5 p)

ℓ_{ef} = kiepahdustukemattoman palkin mitta

$$\frac{\ell_{ef}}{\ell} = 0,9 \Rightarrow \ell_{ef} = 0,9 \cdot 15000 = 13500 \text{ mm}$$

ℓ_{ef} -mittaa suurennetaan 2h verran, koska kuorma puristetulla reunalla

$$\ell_{ef} = 13500 + 2 \cdot 1260 = 13500 + 2 \cdot 1260 = 16020 \text{ mm}$$

$$c = 0,71$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \cdot b^2}{h \cdot \ell_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,71 \cdot 165^2}{1260 \cdot 16020} \cdot 10800 = 10,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,k} = 30,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30,0}{10,3}} = 1,7$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,7^2} = 0,35$$

$$M_d = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot 70 \% \cdot q_k) \cdot L^2}{8} = \frac{(1,15 \cdot 7 + 1,5 \cdot 70 \% \cdot 14) \cdot 15^2}{8} = 640 \text{ kNm}$$

$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_d}{h} = (1 - 0,35) \cdot \frac{640}{1,260} = 330 \text{ kN}$$

11.0 Jäykistyskuorma (0,25 p)

$$k_\ell = \min \begin{cases} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{15}} \end{cases} \Rightarrow 1$$

$$q_d = k_\ell \cdot \frac{n \cdot N_d}{50 \cdot \ell} = 1 \cdot \frac{1 \cdot 330}{50 \cdot 15} = 0,44 \text{ kN/m}$$

12.0 Lisävaakavoima (0,25 p)

Omapaino 100 % + Lumi 70 %

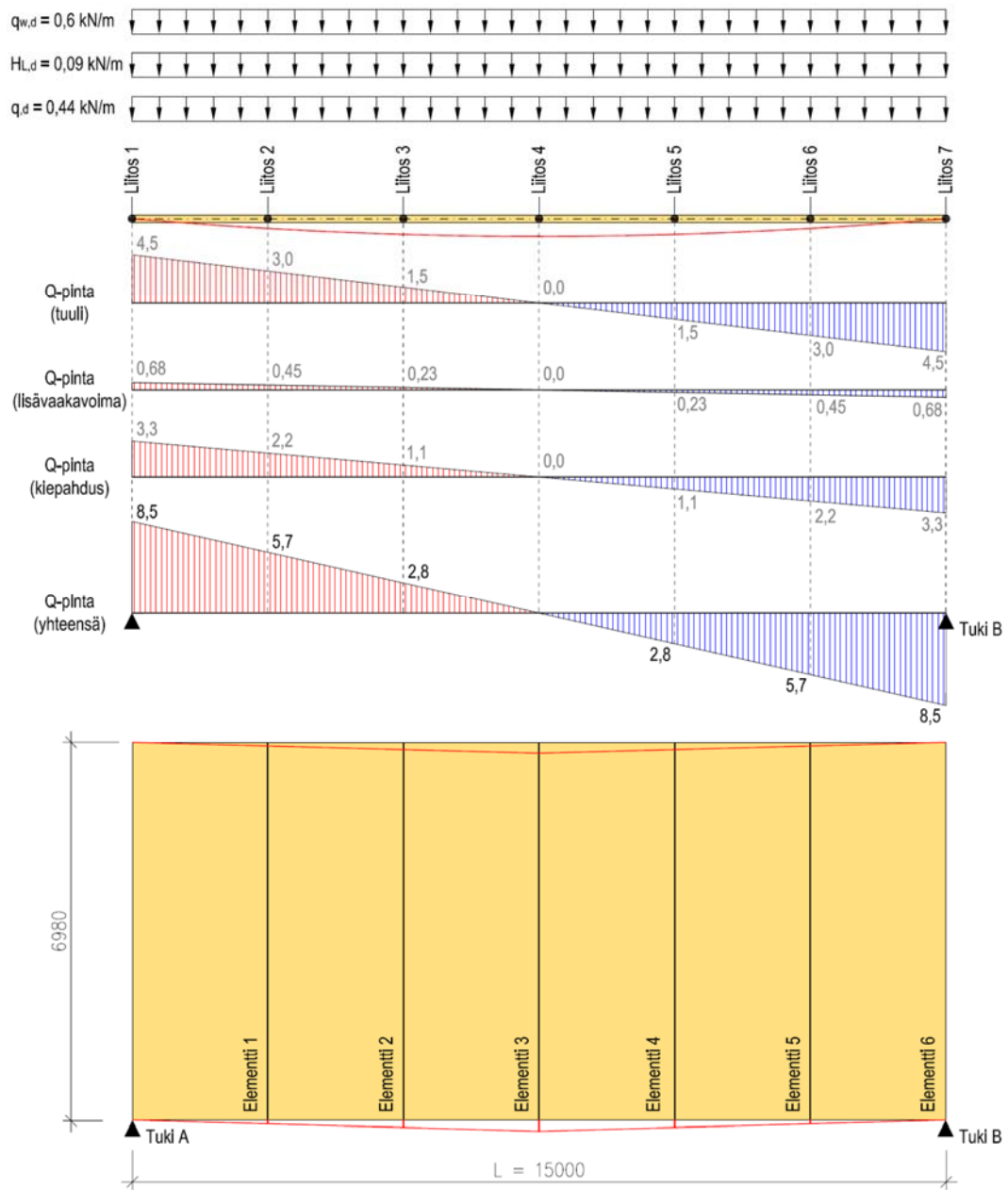
$$H_{L,d} = \frac{B}{L} \cdot \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot 70 \% \cdot q_k)}{150} = \frac{15}{49} \cdot \frac{(1,15 \cdot 7 + 1,5 \cdot 70 \% \cdot 14)}{150} = 0,05 \text{ kN/m}$$

$$H_{L,d} = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot 70 \% \cdot q_k)}{250} = \frac{(1,15 \cdot 7 + 1,5 \cdot 70 \% \cdot 14)}{250} = 0,09 \text{ kN/m (määräävä)}$$

13.0 Tuulikuorma (0,1 p)

Tuuli 100 %

$$q_{w,d} = 1,5 \cdot q_{w,k} = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ kN/m}$$



14.0 Kattoelementin levyjäykisteen mitoittava voima (kiepahdus) (0,25 p)

Suurin leikkausvoima $Q_{d,max} = 8,5$ kN on elementeissä 1.

Yksinkertaistamisen vuoksi kaikkien kattoelementtien levyjäykisteet mitoitetaan kyseiselle leikkausvoimalle.

15.0 Pääkannattimen ja kattoelementin välisen liitoksen mitoittava voima (kiepahdus) (0,5 p)

Lähtötietojen mukaan tuulikuorma siirtyy seuraavalle elementille erillisen jatkoksen kautta, joten tuulikuorma ei rasita liitosta. Liitosvoimat syntyvät jäykistyskuormasta ja lisävaakavoimasta.

k = kuormitusleveys, joka tässä tapauksessa on 1250 mm (puolet kattoelementin leveydestä)

$$F_{stab,d} = Q_{d,max} = 3,3 \text{ kN}$$

$$F_{HL,d} = H_{L,d} \cdot k = 0,09 \cdot 1,25 = 0,125 \text{ kN}$$

$$F_{d,liitos} = F_{stab,d} + F_{HL,d} = 3,3 + 0,125 = 3,4 \text{ kN}$$

16.0 Kattoelementtien välisen pituussuuntaisen sauman mitoittava voima (0,5 p)

Kiepahduksen, lisävaakavoiman ja tuulikuorman aiheuttamat rasitukset tulee siirtää pääkannattimen päätylinjoille, joista lisävaakavoima ja tuulikuorma edelleen pystyjäykisteiden kautta perustuksille. Näin ollen kattoelementtien väliset pituussuuntaiset saumat tulee kiinnittää toisiinsa, jotta levykenttä toimii "palkkina". Suunnittelun ja rakentamisen yksinkertaistamiseksi kattoelementtien välisten saumojen kiinnitys kannattaa mitoittaa levykentän päässä olevan leikkausvoiman mukaan (voimat ovat pieniä). Tässä tapauksessa tuo tason päässä oleva leikkausvoima $Q_{d,max} = 8,5$ kN.

17.0 Perustuksille vietävä voima (0,5 p)

Kiepahduksesta syntyvät voimat kumoutuvat pääkannattimen päällä olevassa levyjäykisteessä, joten näitä voimia ei tarvitse viedä perustuksille.

Perustuksille viedään lisävaakavoiman ja tuulikuorman aiheuttamat voimat pääkannattimen päissä. Tässä tapauksessa yhdeltä pääkannattimelta perustuksille vietävä voima $\Sigma Q_{d,max} = 0,68 \text{ kN} + 4,5 \text{ kN} = 5,2 \text{ kN}$.

18.0 S-kiepahduksen jousijäykkyyksivaatimus (0,5 p)

S-kiepahduksen jousijäykkyyksivaatimus osoitetaan seuraavasti:

- määritetään kattoelementin levyjäykisteen lopputilan siirtymä $u_{fin,jäykiste}$ voimasta $\frac{F_{d,tuki,i}}{2}$

- määritetään pääkannattimen ja kattoelementin liitosten lopputilan siirtymä $u_{fin,liitos}$ voimasta $\frac{F_{d,tuki,i}}{2}$

- tarkastetaan tuen jäykkyys kaavalla $\frac{\frac{F_{d,tuki,i}}{2}}{u_{fin,jäykiste} + u_{fin,liitos}} \geq C_{vaad}$

19.0 Levyjäykisteen jäykkyyksivaatimus (0,15 p)

Levykentän lopputilan siirtymä saa olla enintään $L/500$ levykenttään kohdistuvan murtorajatilan kuormituksen vaikutuksesta.