

Moduuli 3

Kotitehtävä 12_KYSYMYS (7 pistettä)

15.11.2017

Kuvassa on pientalon NR-harjaristikko. NR-yläpohja jäykistetään NR-pukeilla ja yläpaarteen päälle tulevalla jäykistelaudalla.

Määritä käsinlaskelmilla

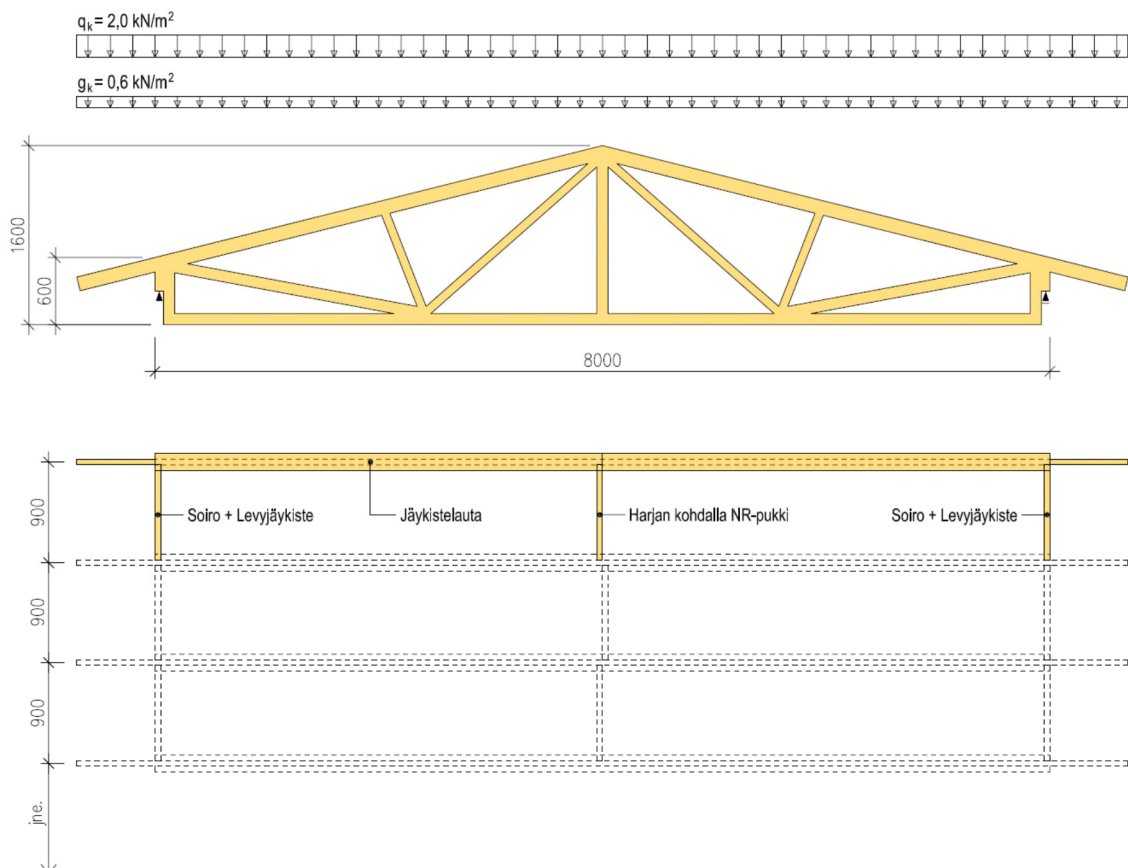
- yläpaarteen päälle tulevan jäykistelaudan koko sekä sen kiinnitys yläpaarteeseen
- NR-pukkien kiinnitysvoimat, joille NR-pukki kiinnitetään NR-ristikoihin ja alakaton levyjäykisteeseen

Esitä ristikkokaaviona

- NR-pukin ristikkokaavio, jossa kuormitustiedot NR-suunnittelijalle
- NR-ristikon ristikkokaavio, jossa kuormitustiedot NR-suunnittelijalle

Lisätietoja

- yläpaarre C30 42x123
- rakennuksen päädyssä, yläpaarteen tasossa, vaikuttava tuulikuorma $q_{w,k,pääty} = 0,6 \text{ kN/m}$ (ominaiskuorma)
- yläpohjan ominaiskuormat (omapaino ja lumikuorma katolla) on esitetty alla olevassa kuvassa
- NR-ristikkomäärä $n = 15 \text{ kpl}$
- rakennuksen leveys on 8000 mm ja pituus on 13500 mm
- NR-ristikko on suunniteltu siten, että yläpaarteen nurjahdustukien maksimijako on 600 mm



Moduuli 3

Kotitehtävä 12_VASTAUS (7 pistettä)

15.11.2017

1.0 NR-ristikon ominaiskuormat (0,75 p)

$$h = 1600 \text{ mm}$$

$$h_m = 1100 \text{ mm}$$

$$k = 900 \text{ mm}$$

$$L = 8000 \text{ mm}$$

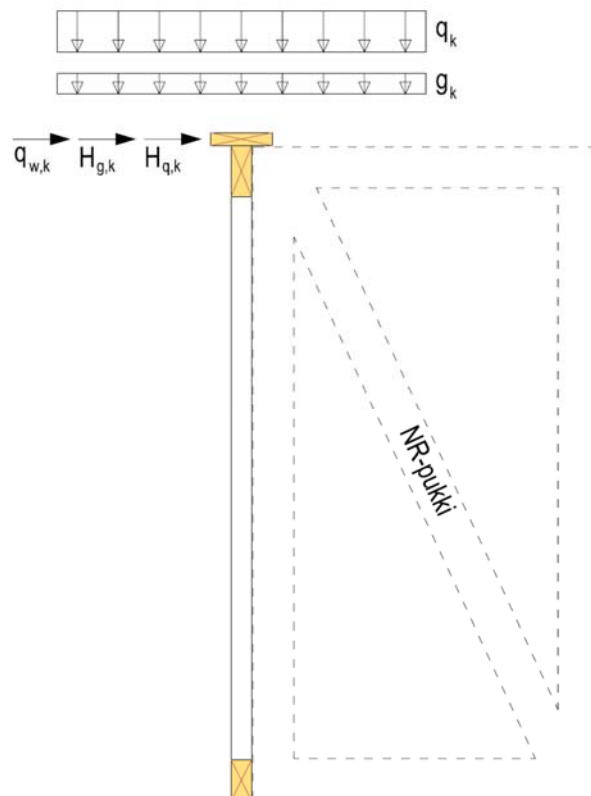
$$N_{g,k} = \frac{k \cdot g_k \cdot L^2}{8 \cdot h_m} = \frac{0,9 \cdot 0,6 \cdot 8^2}{8 \cdot 1,1} = 3,9 \text{ kN (yläpaarten puristusvoima pysyvästä kuormasta)}$$

$$N_{q,k} = \frac{k \cdot q_k \cdot L^2}{8 \cdot h_m} = \frac{0,9 \cdot 2,0 \cdot 8^2}{8 \cdot 1,1} = 13,1 \text{ kN (yläpaarten puristusvoima lumikuormasta)}$$

$$q_{w,k} = \frac{q_{w,k,pääty}}{n} = \frac{0,6}{15} = 0,04 \text{ kN/m}$$

$$H_{g,k} = \max\left(\frac{k \cdot g_k}{250}; \frac{B}{L} \cdot \frac{k \cdot g_k}{150}\right) = \max\left(\frac{0,9 \cdot 0,6}{250}; \frac{8}{13,5} \cdot \frac{0,9 \cdot 0,6}{150}\right) \approx 0,002 \text{ kN/m}$$

$$H_{q,k} = \max\left(\frac{k \cdot q_k}{250}; \frac{B}{L} \cdot \frac{k \cdot q_k}{150}\right) = \max\left(\frac{0,9 \cdot 2,0}{250}; \frac{8}{13,5} \cdot \frac{0,9 \cdot 2,0}{150}\right) \approx 0,007 \text{ kN/m}$$

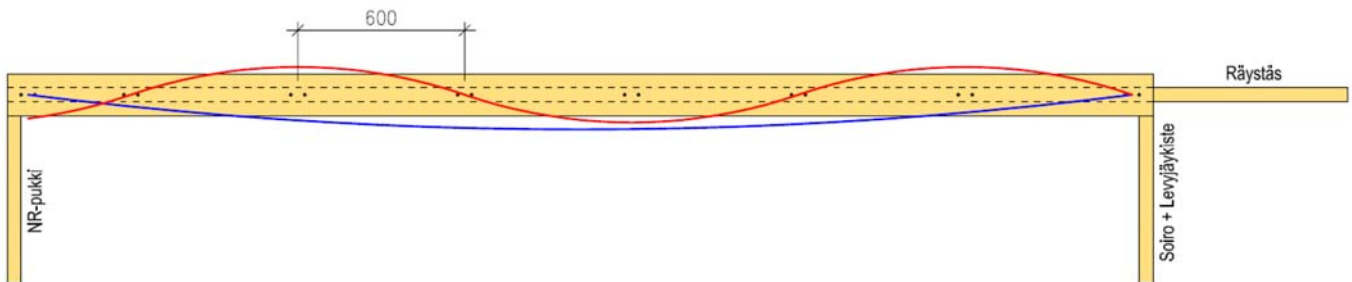


2.0 Nurjahdusmuodot (0,25 p)

$n = 1$ (tarkasteltavien NR-ristikoiden määrä)

$\ell = 4123 \text{ mm}$ (jäykistysjärjestelmän jänneväli)

$m = 7 \text{ kpl}$



3.0 Naulan ominaisuudet (0,25 p)

Konenaula 2,8x75

$\psi_2 = 0,2$

$k_{def,liitos} = 2 \cdot 0,8 = 1,6$

$\rho_m = 380 \text{ kg/m}^3$

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30} = \frac{380^{1,5} \cdot 2,8^{0,8}}{30} = 562 \text{ N/mm}$$

$$K_{u,fin} = \frac{\frac{2}{3} \cdot K_{ser}}{(1 + \psi_2 \cdot k_{def,liitos})} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 562}{(1 + 0,2 \cdot 1,6)} = 284 \text{ N/mm}$$

Keskipitkä aikaluokka

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,liitos}} \cdot 120 \cdot d^{1,7} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 120 \cdot 2,8^{1,7} = 425 \text{ N}$$

Hetkellinen aikaluokka

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_{M,liitos}} \cdot 120 \cdot d^{1,7} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 120 \cdot 2,8^{1,7} = 585 \text{ N}$$

4.0 Jäykistelaudan ominaisuudet (0,25 p)

Jäykistelauda C18 38x150

$\psi_2 = 0,2$

$k_{def} = 0,8$

$E_{0,mean} = 9000 \text{ N/mm}^2$

Keskipitkä aikaluokka

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 18 = 11,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 3,4 = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Hetkellinen aikaluokka

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 18 = 15,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{1,1}{1,3} \cdot 3,4 = 2,9 \text{ N/mm}^2$$

5.0 Jäykistelaudan mitoitus (nurjahduksen 1. muoto) (1,5 p)

5.1 Jäykistelaudan taivutus- ja leikkauskestävyys

$$k_{\ell} = \min \begin{cases} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{8}} \end{cases} \Rightarrow 1$$

$$q_{k,pysyvä} = k_{\ell} \cdot \frac{n \cdot N_{g,k}}{50 \cdot \ell} = 1 \cdot \frac{1 \cdot 3,9}{50 \cdot 4,123} = 0,019 \text{ kN/m} \quad q_{k,lumi} = k_{\ell} \cdot \frac{n \cdot N_{q,k}}{50 \cdot \ell} = 1 \cdot \frac{1 \cdot 13,1}{50 \cdot 4,123} = 0,064 \text{ kN/m}$$

Kuormitustapaus 1

Pysyvä + Lumi 100 %

$$q_{d,tot} = 1,15 \cdot (q_{k,pysyvä} + H_{g,k}) + 1,5 \cdot (q_{k,lumi} + H_{q,k})$$

$$q_{d,tot} = 1,15 \cdot (0,019 + 0,002) + 1,5 \cdot (0,064 + 0,007) = 0,13 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \cdot q_{d,tot} \cdot \ell^2}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,13 \cdot 4123^2}{8 \cdot 38 \cdot 150^2} = 1,9 \text{ N/mm}^2 \leq 11,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (17 \%)}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_{d,tot} \cdot \ell}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,13 \cdot 4123}{2 \cdot 38 \cdot 150} = 0,07 \text{ N/mm}^2 \leq 2,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (3 \%)}$$

Kuormitustapaus 2

Pysyvä + Lumi 100 % + Tuuli 60 %

$$q_{d,tot} = 1,15 \cdot (q_{k,pysyvä} + H_{g,k}) + 1,5 \cdot (q_{k,lumi} + H_{q,k}) + 1,5 \cdot 60 \% \cdot q_{w,k}$$

$$q_{d,tot} = 1,15 \cdot (0,019 + 0,002) + 1,5 \cdot (0,064 + 0,007) + 1,5 \cdot (60 \% \cdot 0,04) = 0,17 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \cdot q_{d,tot} \cdot \ell^2}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,17 \cdot 4123^2}{8 \cdot 38 \cdot 150^2} = 2,5 \text{ N/mm}^2 \leq 15,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (16 \%)}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_{d,tot} \cdot \ell}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,17 \cdot 4123}{2 \cdot 38 \cdot 150} = 0,09 \text{ N/mm}^2 \leq 2,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (3 \%)}$$

Kuormitustapaus 3

Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %

$$q_{d,tot} = 1,15 \cdot (q_{k,pysyvä} + H_{g,k}) + 1,5 \cdot q_{w,k} + 1,5 \cdot 70 \% \cdot (q_{k,lumi} + H_{q,k})$$

$$q_{d,tot} = 1,15 \cdot (0,019 + 0,002) + 1,5 \cdot 0,04 + 1,5 \cdot 70 \% \cdot (0,064 + 0,007) = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \cdot q_{d,tot} \cdot \ell^2}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,16 \cdot 4123^2}{8 \cdot 38 \cdot 150^2} = 2,4 \text{ N/mm}^2 \leq 15,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (15 \%)}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_{d,tot} \cdot \ell}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,16 \cdot 4123}{2 \cdot 38 \cdot 150} = 0,09 \text{ N/mm}^2 \leq 2,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (3 \%)}$$

5.2 Jäykistelaudan jäykkyys

Kuormitustapaus 1

Pysyvä + Lumi 100 %

$$q_{d,tot} = 0,13 \text{ kN/m}$$

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,tot} \cdot \ell^4 \cdot 12}{E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,13 \cdot 4123^4 \cdot 12}{9000 \cdot 38 \cdot 150^3} = 5,1 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 5,1 = 5,9 \text{ mm} \leq \frac{\ell}{500} = \frac{4123}{500} = 8,2 \text{ (72 \%)}$$

Kuormitustapaus 2

Pysyvä + Lumi 100 % + Tuuli 60 %

$$q_{d,tot} = 0,17 \text{ kN/m}$$

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,tot} \cdot \ell^4 \cdot 12}{E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,17 \cdot 4123^4 \cdot 12}{9000 \cdot 38 \cdot 150^3} = 6,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 6,6 = 7,7 \text{ mm} \leq \frac{\ell}{500} = \frac{4123}{500} = 8,2 \text{ (93 \%)}$$

Kuormitustapaus 3

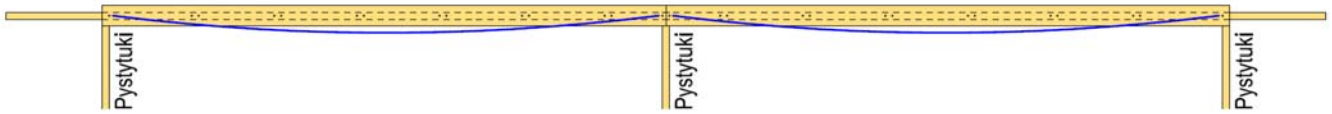
Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %

$$q_{d,tot} = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,tot} \cdot \ell^4 \cdot 12}{E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,16 \cdot 4123^4 \cdot 12}{9000 \cdot 38 \cdot 150^3} = 6,3 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 6,3 = 7,3 \text{ mm} \leq \frac{\ell}{500} = \frac{4123}{500} = 8,2 \text{ (89 \%)}$$

5.3 Kiinnityksen kestävyys jäykistelaudan päissä



Laitetaan varmuuden vuoksi 2 naulaa / jäykistelaudan pää, koska yhden naulan liitoksia ei saisi tehdä.

Kuormitustapaus 1

Pysyvä + Lumi 100 %

$$q_{d,tot} = 0,13 \text{ kN/m}$$

$$V_{z,d} = \frac{q_{d,tot} \cdot \ell}{2} = \frac{0,13 \cdot 4123}{2} = 268 \text{ N}$$

$$F_{d,naula} = \frac{V_{z,d}}{n} = \frac{268}{2} = 134 \text{ N} \leq R_d = 425 \text{ N (32 \%)}$$

Kuormitustapaus 2

Pysyvä + Lumi 100 % + Tuuli 60 %

$$q_{d,tot} = 0,17 \text{ kN/m}$$

$$V_{z,d} = \frac{q_{d,tot} \cdot \ell}{2} = \frac{0,17 \cdot 4123}{2} = 350 \text{ N}$$

$$F_{d,naula} = \frac{V_{z,d}}{n} = \frac{350}{2} = 175 \text{ N} \leq R_d = 585 \text{ N (30 \%)}$$

Kuormitustapaus 3

Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %

$$q_{d,tot} = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$V_{z,d} = \frac{q_{d,tot} \cdot \ell}{2} = \frac{0,16 \cdot 4123}{2} = 330 \text{ N}$$

$$F_{d,naula} = \frac{V_{z,d}}{n} = \frac{330}{2} = 165 \text{ N} \leq R_d = 585 \text{ N (28 \%)}$$

6.0 Jäykistelaudan mitoitus (nurjahduksen 2. muoto) (1,5 p)

6.1 Jäykistelaudan taivutus- ja leikkauskestävyys

Kuormitustapaus 1

Pysyvä + Lumi 100 %

$$N_d = 1,15 \cdot 3,9 + 1,5 \cdot 13,1 = 24,1 \text{ kN}$$

$$C_{vaad} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{7}\right) \right) \cdot \frac{24,1}{0,6} = 153 \text{ N/mm}$$

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{123 \cdot 42^3}{12} = 759402 \text{ mm}^4 \text{ (paarre)}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ N/mm}^2 \text{ (paarre)}$$

$$\ell_s = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C_{vaad}}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}} = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{153}{600 \cdot 8000 \cdot 759402}}} = 1234 \text{ mm} > (2 \cdot a)$$

$$F_d = \frac{N_d}{50} = \frac{24,1}{50} = 0,48 \text{ kN} \Rightarrow \frac{F_d}{2} = \frac{0,48}{2} = 0,24 \text{ kN}$$

$$k_{S,red} = \frac{a}{\ell_s - a} = \frac{600}{1234 - 600} = 0,946$$

$$F_{d,red} = k_{S,red} \cdot F_d = 0,946 \cdot 0,48 = 0,45 \text{ kN}$$

$$q_{Fd} = \frac{F_d}{\ell_s} = \frac{0,48}{1,234} = 0,39 \text{ kN/m}$$

$$q_{Fd,tot} = q_{Fd} + H_{g,d} + H_{q,d} = 0,39 + 0,0023 + 0,011 = 0,40 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \cdot q_{Fd,tot} \cdot \ell_s^2}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,40 \cdot 1234^2}{8 \cdot 38 \cdot 150^2} = 0,53 \text{ N/mm}^2 \leq 11,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (5 \%)}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_{Fd,tot} \cdot \ell_s}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,40 \cdot 1234}{2 \cdot 38 \cdot 150} = 0,06 \text{ N/mm}^2 \leq 2,1 \text{ N/mm}^2 \text{ (3 \%)}$$

Kuormitustapaus 2

Pysyvä + Lumi 100 % + Tuuli 60 %

$$N_d = 1,15 \cdot 3,9 + 1,5 \cdot 13,1 = 24,1 \text{ kN}$$

$$C_{vaad} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{7}\right) \right) \cdot \frac{24,1}{0,6} = 153 \text{ N/mm}$$

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{123 \cdot 42^3}{12} = 759402 \text{ mm}^4 \text{ (paarre)}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ N/mm}^2 \text{ (paarre)}$$

$$\ell_s = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C_{vaad}}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}} = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{153}{600 \cdot 8000 \cdot 759402}}} = 1234 \text{ mm} > (2 \cdot a)$$

$$F_d = \frac{N_d}{50} = \frac{24,1}{50} = 0,48 \text{ kN} \Rightarrow \frac{F_d}{2} = \frac{0,48}{2} = 0,24 \text{ kN}$$

$$k_{S,red} = \frac{a}{\ell_s - a} = \frac{600}{1234 - 600} = 0,946$$

$$F_{d,red} = k_{S,red} \cdot F_d = 0,946 \cdot 0,48 = 0,45 \text{ kN}$$

$$q_{Fd} = \frac{F_d}{\ell_s} = \frac{0,48}{1,234} = 0,39 \text{ kN/m}$$

$$q_{Fd,tot} = q_{Fd} + H_{g,d} + H_{q,d} + (60 \% \cdot q_{w,d}) = 0,39 + 0,0023 + 0,011 + (60 \% \cdot 0,06) = 0,44 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \cdot q_{Fd,tot} \cdot \ell_s^2}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,44 \cdot 1234^2}{8 \cdot 38 \cdot 150^2} = 0,59 \text{ N/mm}^2 \leq 15,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (4 \%)}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_{Fd,tot} \cdot \ell_s}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,44 \cdot 1234}{2 \cdot 38 \cdot 150} = 0,07 \text{ N/mm}^2 \leq 2,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (2 \%)}$$

Kuormitustapaus 3

Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %

$$N_d = 1,15 \cdot 3,9 + 1,5 \cdot (70\% \cdot 13,1) = 18,2 \text{ kN}$$

$$C_{vaad} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{7}\right) \right) \cdot \frac{18,2}{0,6} = 115 \text{ N/mm}$$

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{123 \cdot 42^3}{12} = 759402 \text{ mm}^4 \text{ (paarre)}$$

$$E_{0,05} = 8000 \text{ N/mm}^2 \text{ (paarre)}$$

$$\ell_s = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C_{vaad}}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}} = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{115}{600 \cdot 8000 \cdot 759402}}} = 1325 \text{ mm} > (2 \cdot a)$$

$$F_d = \frac{N_d}{50} = \frac{18,2}{50} = 0,36 \text{ kN} \Rightarrow \frac{F_d}{2} = \frac{0,36}{2} = 0,18 \text{ kN}$$

$$k_{S,red} = \frac{a}{\ell_s - a} = \frac{600}{1325 - 600} = 0,828$$

$$F_{d,red} = k_{S,red} \cdot F_d = 0,828 \cdot 0,36 = 0,30 \text{ kN}$$

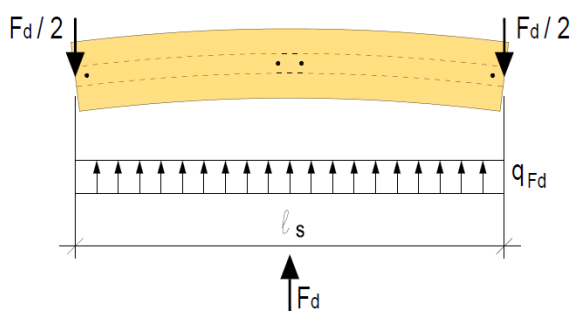
$$q_{Fd} = \frac{F_d}{\ell_s} = \frac{0,36}{1,325} = 0,27 \text{ kN/m}$$

$$q_{Fd,tot} = q_{Fd} + q_{w,d} + H_{g,d} + (70\% \cdot H_{q,d}) = 0,27 + 0,06 + 0,0023 + (70\% \cdot 0,011) = 0,34 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{6 \cdot q_{Fd,tot} \cdot \ell_s^2}{8 \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,34 \cdot 1325^2}{8 \cdot 38 \cdot 150^2} = 0,52 \text{ N/mm}^2 \leq 15,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (3 \%)}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_{Fd,tot} \cdot \ell_s}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,34 \cdot 1325}{2 \cdot 38 \cdot 150} = 0,06 \text{ N/mm}^2 \leq 2,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (2 \%)}$$

6.2 Jäykistelaudan jäykkyys



Kuormitustapaus 1

Pysyvä + Lumi 100 %

$$u_{inst,jäykiste} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Fd} \cdot \ell_s^4 \cdot 12}{E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,39 \cdot 1234^4 \cdot 12}{9000 \cdot 38 \cdot 150^3} = 0,12 \text{ mm}$$

$$u_{fin,jäykiste} = (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 0,12 = 0,14 \text{ mm}$$

$$F_{d,naula} = \frac{F_d}{n} = \frac{480}{2} = 240 \text{ N}$$

$$u_{fin,naula} = \frac{F_{d,naula}}{K_{u,fin}} = \frac{240}{284} = 0,85 \text{ mm}$$

$$u_{fin,tuki} = 2 \cdot u_{fin,naula} + u_{fin,jäykiste} = 2 \cdot 0,85 + 0,14 = 1,84 \text{ mm}$$

$$C_{tuki} = \frac{F_d}{u_{fin,tuki}} = \frac{480}{1,84} = 261 \text{ N/mm} \geq 153 \text{ N/mm (59 \%)}$$

Kuormitustapaus 2

Pysyvä + Lumi 100 % + Tuuli 60 %

$$u_{inst,jäykiste} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Fd} \cdot \ell_s^4 \cdot 12}{E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,39 \cdot 1234^4 \cdot 12}{9000 \cdot 38 \cdot 150^3} = 0,12 \text{ mm}$$

$$u_{fin,jäykiste} = (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 0,12 = 0,14 \text{ mm}$$

$$F_{d,naula} = \frac{F_d}{n} = \frac{480}{2} = 240 \text{ N}$$

$$u_{fin,naula} = \frac{F_{d,naula}}{K_{u,fin}} = \frac{240}{284} = 0,85 \text{ mm}$$

$$u_{fin,tuki} = 2 \cdot u_{fin,naula} + u_{fin,jäykiste} = 2 \cdot 0,85 + 0,14 = 1,84 \text{ mm}$$

$$C_{tuki} = \frac{F_d}{u_{fin,tuki}} = \frac{480}{1,84} = 261 \text{ N/mm} \geq 153 \text{ N/mm (59 \%)}$$

Kuormitustapaus 3

Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %

$$u_{inst,jäykiste} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Fd} \cdot \ell_s^4 \cdot 12}{E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,27 \cdot 1326^4 \cdot 12}{9000 \cdot 38 \cdot 150^3} = 0,11 \text{ mm}$$

$$u_{fin,jäykiste} = (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst} = (1 + 0,2 \cdot 0,8) \cdot 0,11 = 0,13 \text{ mm}$$

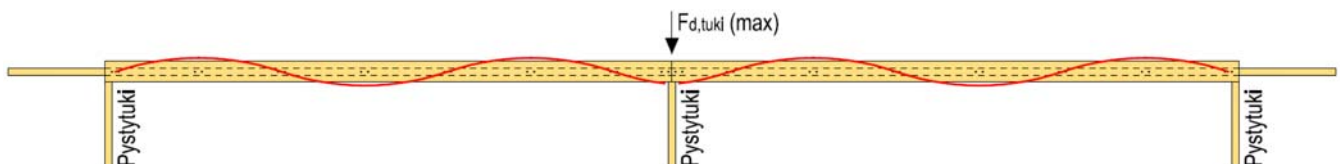
$$F_{d,naula} = \frac{F_d}{n} = \frac{360}{2} = 180 \text{ N}$$

$$u_{fin,naula} = \frac{F_{d,naula}}{K_{u,fin}} = \frac{180}{284} = 0,63 \text{ mm}$$

$$u_{fin,tuki} = 2 \cdot u_{fin,naula} + u_{fin,jäykiste} = 2 \cdot 0,63 + 0,13 = 1,4 \text{ mm}$$

$$C_{tuki} = \frac{F_d}{u_{fin,tuki}} = \frac{360}{1,4} = 257 \text{ N/mm} \geq 115 \text{ N/mm (45 \%)}$$

6.3 Jäykistelaudan kiinnityksen kestävyys



Kuormitustapaus 1

Pysyvä + Lumi 100 %

$$F_{d/2} = 0,24 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{H,d} = \frac{\ell}{2} \cdot (H_{g,d} + H_{q,d}) = \frac{4,123}{2} \cdot (0,0023 + 0,011) = 0,027 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{q,w,d} = \frac{\ell}{2} \cdot q_{w,d} = \frac{4,123}{2} \cdot 0,0 = 0,0 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{d,tuki} = F_{d/2} + F_{H,d} = 0,24 + 0,027 = 0,27 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{d,red} = 0,45 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{H,d} = \ell \cdot (H_{g,d} + H_{q,d}) = 4,123 \cdot (0,0023 + 0,011) = 0,05 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{q,w,d} = \ell \cdot q_{w,d} = 4,123 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{d,tuki} = F_{d,red} + F_{H,d} + F_{q,w,d} = 0,45 + 0,05 + 0,00 = 0,50 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{d,tuki(max)} = 0,50 \text{ kN (harjan kohdalla on mitoittava voima)}$$

$$F_{d,naula,max} = \frac{F_{d,tuki(max)}}{n} = \frac{500}{2} = 250 \text{ N} \leq R_d = 425 \text{ N (60 \%)}$$

Laitetaan varmuuden vuoksi 2 naulaa / jäykistelaudan pää, koska yhden naulan liitoksia ei saisi tehdä. Näin ollen jäykistelaudan päissä olevien naulaliitosten käyttöaste on 30 %.

Kuormitustapaus 2

Pysyvä + Lumi 100 % + Tuuli 60 %

$$F_{d/2} = 0,24 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{H,d} = \frac{\ell}{2} \cdot (H_{g,d} + H_{q,d}) = \frac{4,123}{2} \cdot (0,0023 + 0,011) = 0,027 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{q,w,d} = \frac{\ell}{2} \cdot 60\% \cdot q_{w,d} = \frac{4,123}{2} \cdot (60\% \cdot 0,06) = 0,074 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{d,tuki} = F_{d/2} + F_{H,d} + F_{q,w,d} = 0,24 + 0,027 + 0,074 = 0,34 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{d,red} = 0,45 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{H,d} = \ell \cdot (H_{g,d} + H_{q,d}) = 4,123 \cdot (0,0023 + 0,011) = 0,05 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{q,w,d} = \ell \cdot q_{w,d} = 4,123 \cdot (60\% \cdot 0,06) = 0,15 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{d,tuki} = F_{d,red} + F_{H,d} + F_{q,w,d} = 0,45 + 0,05 + 0,15 = 0,65 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{d,tuki}(\text{max}) = 0,65 \text{ kN (harjan kohdalla on mitoittava voima)}$$

$$F_{d,naula,max} = \frac{F_{d,tuki}(\text{max})}{n} = \frac{650}{2} = 325 \text{ N} \leq R_d = 585 \text{ N (56 \%)}$$

Laitetaan varmuuden vuoksi 2 naulaa / jäykistelaudan pää, koska yhden naulan liitoksia ei saisi tehdä. Näin ollen jäykistelaudan päissä olevien naulaliitosten käyttöaste on 28 %.

Kuormitustapaus 3

Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %

$$F_{d/2} = 0,18 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{H,d} = \frac{\ell}{2} \cdot (H_{g,d} + 70\% \cdot H_{q,d}) = \frac{4,123}{2} \cdot (0,0023 + (70\% \cdot 0,011)) = 0,021 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{q,w,d} = \frac{\ell}{2} \cdot q_{w,d} = \frac{4,123}{2} \cdot 0,06 = 0,124 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{d,tuki} = F_{d/2} + F_{H,d} + F_{q,w,d} = 0,18 + 0,021 + 0,124 = 0,33 \text{ kN (paarteen päässä)}$$

$$F_{d,red} = 0,30 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{H,d} = \ell \cdot (H_{g,d} + 70\% \cdot H_{q,d}) = 4,123 \cdot (0,0023 + (70\% \cdot 0,011)) = 0,04 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{q,w,d} = \ell \cdot q_{w,d} = 4,123 \cdot 0,06 = 0,247 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{d,tuki} = F_{d,red} + F_{H,d} + F_{q,w,d} = 0,30 + 0,04 + 0,247 = 0,59 \text{ kN (harjan kohdalla)}$$

$$F_{d,tuki}(\text{max}) = 0,59 \text{ kN (harjan kohdalla on mitoittava voima)}$$

$$F_{d,naula,max} = \frac{F_{d,tuki}(\text{max})}{n} = \frac{590}{2} = 295 \text{ N} \leq R_d = 585 \text{ N (50 \%)}$$

Laitetaan varmuuden vuoksi 2 naulaa / jäykistelaudan pää, koska yhden naulan liitoksia ei saisi tehdä. Näin ollen jäykistelaudan päissä olevien naulaliitosten käyttöaste on 25 %.

7.0 NR-pukkien kiinnitys alakattoon ja NR-ristikkoon (1 p)

Kuormitustapaus 1

Pysyvä + Lumi 100 %

$$P_d(\max) = \max[q_{d,tot} \cdot \ell ; F_{d,tuki}(\max)] = \max[0,13 \cdot 4,123 ; 0,50] = 0,54 \text{ kN (NR-pukin kiinnitys yläpaarteeseen)}$$

$n = 8$ kpl ristikoita yhdessä jäykistelohkossa

$$P_{H,d} = P_d(\max) \cdot n = 0,54 \cdot 8 = 4,3 \text{ kN (jäykistelohkon kiinnitys alakaton levyjäykisteeseen)}$$

Jäykistelohkossa on 7 kpl NR-pukkeja

$$\text{Yksi NR-pukki kiinnitetään alakaton levyjäykisteeseen voimalle } \frac{P_{H,d}}{7 \text{ kpl}} = \frac{4,3 \text{ kN}}{7 \text{ kpl}} = 0,61 \text{ kN}$$

$$L_{lohko} = 6300 \text{ mm}$$

$$P_{V,d} = \frac{h \cdot P_{H,d}}{L_{lohko}} = \frac{1,6 \cdot 4,3}{6,3} = 1,09 \text{ kN (NR-pukin kiinnitys NR-ristikon pystysauvaan)}$$

Kuormitustapaus 2

Pysyvä + Lumi 100 % + Tuuli 60 %

$$P_d(\max) = \max[q_{d,tot} \cdot \ell ; F_{d,tuki}(\max)] = \max[0,17 \cdot 4,123 ; 0,65] = 0,70 \text{ kN (NR-pukin kiinnitys yläpaarteeseen)}$$

$n = 8$ kpl ristikoita yhdessä jäykistelohkossa

$$P_{H,d} = P_d(\max) \cdot n = 0,70 \cdot 8 = 5,6 \text{ kN (jäykistelohkon kiinnitys alakaton levyjäykisteeseen)}$$

Jäykistelohkossa on 7 kpl NR-pukkeja

$$\text{Yksi NR-pukki kiinnitetään alakaton levyjäykisteeseen voimalle } \frac{P_{H,d}}{7 \text{ kpl}} = \frac{5,6 \text{ kN}}{7 \text{ kpl}} = 0,80 \text{ kN}$$

$$L_{lohko} = 6300 \text{ mm}$$

$$P_{V,d} = \frac{h \cdot P_{H,d}}{L_{lohko}} = \frac{1,6 \cdot 5,6}{6,3} = 1,4 \text{ kN (NR-pukin kiinnitys NR-ristikon pystysauvaan)}$$

Kuormitustapaus 3

Pysyvä + Tuuli 100 % + Lumi 70 %

$$P_d(\max) = \max[q_{d,tot} \cdot \ell ; F_{d,tuki}(\max)] = \max[0,16 \cdot 4,123 ; 0,59] = 0,65 \text{ kN (NR-pukin kiinnitys yläpaarteeseen)}$$

$n = 8$ kpl ristikoita yhdessä jäykistelohkossa

$$P_{H,d} = P_d(\max) \cdot n = 0,65 \cdot 8 = 5,2 \text{ kN (jäykistelohkon kiinnitys alakaton levyjäykisteeseen)}$$

Jäykistelohkossa on 7 kpl NR-pukkeja

$$\text{Yksi NR-pukki kiinnitetään alakaton levyjäykisteeseen voimalle } \frac{P_{H,d}}{7 \text{ kpl}} = \frac{5,2 \text{ kN}}{7 \text{ kpl}} = 0,74 \text{ kN}$$

$$L_{lohko} = 6300 \text{ mm}$$

$$P_{V,d} = \frac{h \cdot P_{H,d}}{L_{lohko}} = \frac{1,6 \cdot 5,2}{6,3} = 1,3 \text{ kN (NR-pukin kiinnitys NR-ristikon pystysauvaan)}$$

8.0 NR-pukin ominaiskuormat NR-suunnittelijalle (1 p)

Pysyvä

1. Nurjahdusmuoto

$$P_{H,1,k} = \frac{[(q_{k,pysyvä} + H_{g,k}) \cdot \ell] \cdot n_{ristikko}}{n_{pukki}} = \frac{[(0,019 + 0,002) \cdot 4,123] \cdot 8}{7} = 0,1 \text{ kN}$$

2. Nurjahdusmuoto

$$F_k = \frac{N_k}{50} = \frac{3,9}{50} = 0,078 \text{ kN}$$

$$F_{k,mean} = \frac{F_k}{\left(\frac{L_{crit}}{a} - 1\right)} = \frac{0,078}{\left(\frac{1234}{600} - 1\right)} = 0,074 \text{ kN}$$

$$P_{H,1,k} = \frac{[(H_{g,k} \cdot \ell) + F_{k,mean}] \cdot n_{ristikko}}{n_{pukki}} = \frac{[(0,002 \cdot 4,123) + 0,074] \cdot 8}{7} = 0,09 \text{ kN}$$

$$P_{H,1,k}(\text{max}) = 0,1 \text{ kN}$$

Lumi

1. Nurjahdusmuoto

$$P_{H,1,k} = \frac{[(q_{k,lumi} + H_{q,k}) \cdot \ell] \cdot n_{ristikko}}{n_{pukki}} = \frac{[(0,064 + 0,007) \cdot 4,123] \cdot 8}{7} = 0,33 \text{ kN}$$

2. Nurjahdusmuoto

$$F_k = \frac{N_k}{50} = \frac{13,1}{50} = 0,33 \text{ kN}$$

$$F_{k,mean} = \frac{F_k}{\left(\frac{L_{crit}}{a} - 1\right)} = \frac{0,33}{\left(\frac{1234}{600} - 1\right)} = 0,25 \text{ kN}$$

$$P_{H,1,k} = \frac{[(H_{q,k} \cdot \ell) + F_{k,mean}] \cdot n_{ristikko}}{n_{pukki}} = \frac{[(0,007 \cdot 4,123) + 0,25] \cdot 8}{7} = 0,32 \text{ kN}$$

$$P_{H,1,k}(\text{max}) = 0,33 \text{ kN}$$

Tuuli

1. Nurjahdusmuoto

$$P_{H,1,k} = \frac{[q_{w,k} \cdot \ell] \cdot n_{ristikko}}{n_{pukki}} = \frac{[0,04 \cdot 4,123] \cdot 8}{7} = 0,19 \text{ kN}$$

$$P_{H,1,k}(\text{max}) = 0,19 \text{ kN}$$

9.0 NR-ristikon lisäkuormat (ominaiskuormat) NR-suunnittelijalle (0,5 p)

Pysyvä

$$P_{V,k} = \frac{h \cdot P_{H,1,k} \cdot n_{pukki}}{L_{lohko}} = \frac{1,6 \cdot 0,1 \cdot 7}{6,3} = 0,18 \text{ kN}$$

Lumi

$$P_{V,k} = \frac{h \cdot P_{H,1,k} \cdot n_{pukki}}{L_{lohko}} = \frac{1,6 \cdot 0,33 \cdot 7}{6,3} = 0,59 \text{ kN}$$

Tuuli

$$P_{V,k} = \frac{h \cdot P_{H,1,k} \cdot n_{pukki}}{L_{lohko}} = \frac{1,6 \cdot 0,19 \cdot 7}{6,3} = 0,34 \text{ kN}$$