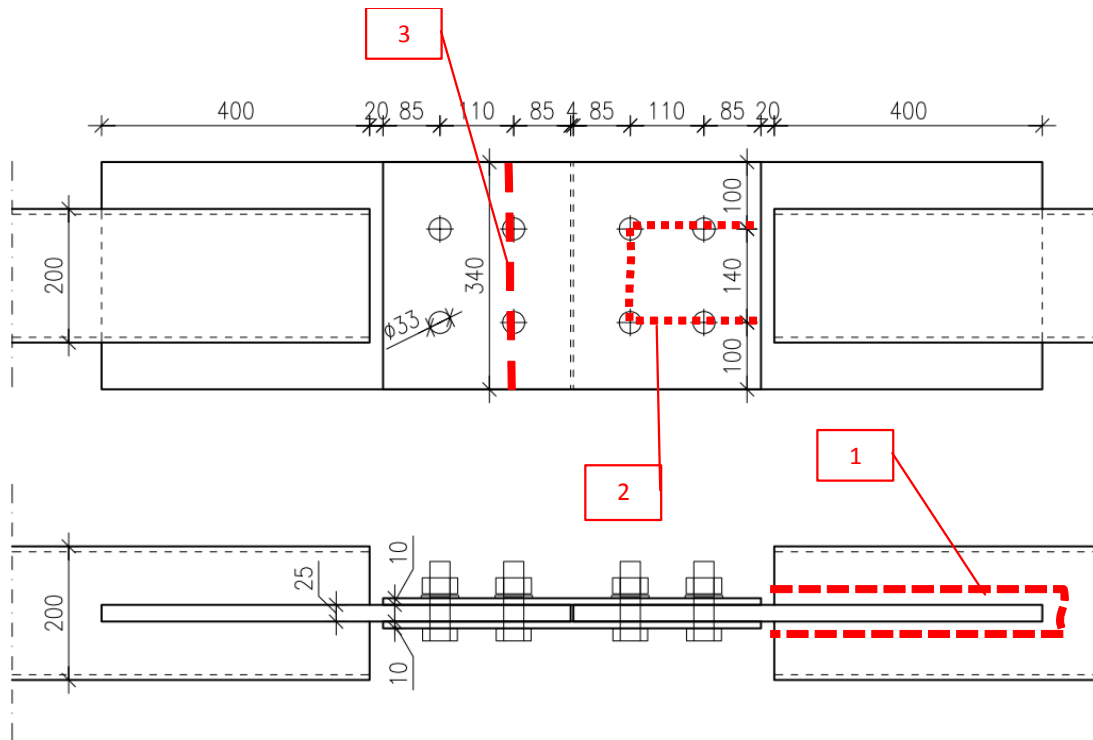


WP 3 esimerkki, sitkeä liitos



Laskelmissa tarkastellut murtokuviot:

1. Palamurtuminen rakenneputken päässä
2. Ulommaisten liitoslevyjen ruuviliitoksen palamurtuminen
3. Ulommaisten liitoslevyjen nettopoikkileikkauksen murtuminen

Mitoitusperusteet

Tässä esimerkissä suunnitellaan yllä olevan kuvan mukainen rakenneputkien välinen vedetty liitos niin, että se täyttää WP3:ssa sitkeälle liitokselle asetetut ehdot. Liitoksessa keskimmäinen levy valitaan niin, että sen kestävyys on aina suurempi kuin uloimmaisten levyjen kestävyys yhteensä.

Valitaan reunapuristustyyppinen ruuviliitos (luokka A).

Lähtötietoja

Osavarmuusluvut

$$\gamma_{M0} := 1.00$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Ruuvit

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa}$$

ruuvit 8.8

$$d_0 := 33 \text{ mm}$$

$d := 30\text{-mm}$ ruuvien halkaisija

$n := 2$ ruuvirivien määrä

$m := 2$ ruuvisarakkeiden määrä

Levyjen mitat ja ominaisuudet

$E := 210000\text{-MPa}$

$f_y := 355\text{MPa}$

$f_u := 510\text{MPa}$

Levyjen mitat

$t_1 := 10\text{mm}$ ulommaisten levyjen paksuus

$t_2 := 25\text{mm}$ keskimmäisen levyn paksuus

$b_1 := 340\text{mm}$ ulommaisten levyjen korkeus

$b_2 := 340\text{mm}$ keskimmäisen levyn korkeus

Rakenneputken mitat ja ominaisuudet

$t_0 := 6\text{mm}$ rakenneputken ainepaksuus

$b_0 := 200\text{mm}$ rakenneputken leveys

$h_0 := 200\text{mm}$ rakenneputken korkeus

$A_0 := 4563\text{-mm}^2$ rakenneputken poikkileikkauksen pinta-ala

$f_{y0} := 355\text{MPa}$ rakenneputken myötölujuus

Rakenneputken vetokestävyys, bruttopoikkileikkaus

$$N_{pl,Rd} := \frac{A_0 \cdot f_{y0}}{\gamma_{M0}} = 1620\text{-kN} \quad \text{rakenneputken vetokestävyyden mitoitusarvo}$$

Liitoksen rasitus

Tässä esimerkissä liitoksen rasitus on rakenneputken vetokestävyyden suuruinen.

$N_{Ed} := 1620\text{-kN}$ vetävän normaalivoiman mitoitusarvo liitoksessa

Rakenneputken ja keskimmäisen liitoslevyn välisen hitsiliitoksen kestävyys

Rakenneputken ja liitoslevyn välisen kylkipienahitsin kestävyys, SFS-EN 1993-1-8 kohta 4.5.3

Valitaan pienahitsin koko $a = 8 \text{ mm}$ (tässä tapauksessa tasaluja hitsi).

$$a := 8 \cdot \text{mm}$$

$$\beta_w := 0.9 \quad (\text{teräslaji S355})$$

$$L_w := 400 \cdot \text{mm}$$

$$n_w := 4 \quad (\text{hitsipienojen määrä kiinnityksessä})$$

$$A_w := n_w \cdot a \cdot L_w = 12800 \cdot \text{mm}^2$$

$$f_{vw,d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 262 \cdot \text{MPa}$$

$$F_{w,Rd} := A_w \cdot f_{vw,d} = 3350 \cdot \text{kN}$$

HUOM! SFS-EN 1993-1-8 merkinnöistä poiketen tässä $F_{w,Rd}$ on kylkipienahitsien kestävyden mitoitusarvo (eikä siis mitoitusarvo pituusyksikköä kohti).

Rakenneputken palamurtumiskestävyys liitoslevyn hitsin vieressä, SFS-EN 1993-1-8 kohdan 3.10 mukainen periaate

Tarkasteltava nettopoikkileikkaus merkitty yllä olevaan kuvaan punaisella katkoviivalla 1.

$$A_{0,nv} := 4 \cdot t_0 \cdot L_w = 9600 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{0,nt} := 2 \cdot t_0 \cdot (t_2 + 2\sqrt{2} \cdot a) = 572 \cdot \text{mm}^2$$

$$V_{eff,0,Rd} := \frac{f_u \cdot A_{0,nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{0,nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2201 \cdot \text{kN}$$

SFS-EN 1993-1-8 mukainen merkintä ruuviliitokselle on $V_{eff,1,Rd}$.

Rakenneputken ja keskimmäisen liitoslevyn välisen kiinnityksen kestävyys

$$F_{0,Rd} := \min(F_{w,Rd}, V_{eff,0,Rd}) = 2201 \cdot \text{kN}$$

Ruuviliitoksen leikkauskestävyys, SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.6.1

Ruuvin leikkauskestävyys leikettä kohden

$\alpha_v := 0.6$ osakierteinen ruuvi, ruuvin kierteetön osa on leikkaustasossa

$$A_{vv} := \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 707 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{V.Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 271 \cdot \text{kN}$$

$n_{tot} := 2 \cdot n \cdot m = 8$ ruuvileikkeiden määrä, 2-leikkeinen liitos

Liitoksessa äärimmäisten kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys L_j on pienempi kuin $15 \cdot d \rightarrow$ Ruuvien leikkauskestävyyttä ei tarvitse pienentää (SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.8).

Liitoksen ruuvileikkeiden leikkauskestävyys

$$F_{V.tot.Rd} := n_{tot} \cdot F_{V.Rd} = 2171 \cdot \text{kN}$$

Ruuviliitoksen reunapuristuskestävyys, SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.6.1

Reunapuristuskestävyys liitoksen ulommaisissa levyissä

$$t_1 := 10 \cdot \text{mm}$$

$$e_1 := 85 \cdot \text{mm}$$

$$e_2 := 100 \cdot \text{mm}$$

$$p_1 := 110 \cdot \text{mm}$$

$$p_2 := 140 \cdot \text{mm}$$

Ruuvien etäisyydet täyttävät SFS-EN 1993-1-8 taulukon 3.3 ehdot silloin, kun rakenne ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille.

Huom. Tässä tapauksessa etäisyydet on valittu samoiksi sekä ulommaisille liitoslevyille että keskimmaiselle liitoslevylle.

Reunasarakkeen ruuvit (levyn reunassa):

$$k_{1.edg} := \min \left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) = 2.5$$

$$\alpha_{b.edg} := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right) = 0.859$$

$$F_{b.edg1.Rd} := \frac{(k_{1.edg} \cdot \alpha_{b.edg} \cdot f_u \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}} = 262.727 \cdot \text{kN}$$

Keskisarakkeen ruuvit:

$$k_{1,\text{mid}} := \min \left[\left(1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7 \right), 2.5 \right] = 2.5$$

$$\alpha_{b,\text{mid}} := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right) = 0.861$$

$$F_{b,\text{mid}1,\text{Rd}} := \frac{(k_{1,\text{mid}} \cdot \alpha_{b,\text{mid}} \cdot f_u \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}} = 263.5 \cdot \text{kN}$$

Reunapuristuskestävyys ulommaisissa levyissä
(2-leikkeinen liitos)

$$F_{b1,\text{Rd}} := 2 \cdot n \cdot F_{b,\text{edg}1,\text{Rd}} + 2n \cdot (m - 1) \cdot F_{b,\text{mid}1,\text{Rd}} = 2105 \cdot \text{kN}$$

Nähdään että uloimmaisissa levyissä jokaisen ruuvin reunapuristuskestävyys on pienempi kuin ruuvin leikkauskestävyys.

Reunapuristuskestävyys, liitoksen keskimäinen levy

Tässä liitoksen mittasuhteet on valittu niin, että keskimäisessä levyssä reunapuristuskestävyys ei tule määrääväksi.

Ulommaisten liitoslevyjen palamurtumiskestävyys ruuviliitoksessa, SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.10

Tarkasteltava nettopoikkileikkaus merkitty yllä olevaan kuvaan punaisella katkoviivalla 2.

$$A_{1,\text{nv}} := 2 \cdot 2 \cdot [e_1 + (m - 1)p_1 - d_0] \cdot t_1 = 6480 \cdot \text{mm}^2 \quad n = 2 \quad \text{ruuvirivien määrä}$$

$$A_{1,\text{nt}} := 2 \cdot [(n - 1)(p_2 - d_0)] \cdot t_1 = 2140 \cdot \text{mm}^2 \quad m = 2 \quad \text{ruuvisarakkeiden määrä}$$

$$V_{\text{eff}1,\text{Rd}} := \frac{f_u \cdot A_{1,\text{nt}}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{1,\text{nv}}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2201 \cdot \text{kN}$$

Keskimäisen levyn palamurtumiskestävyyttä ei tässä tapauksessa tarvitse tarkistaa, koska kaikki seuraavat ehdot toteutuvat:

- keskimäisen levyn paksuus on suurempi kuin ulommaisten levyjen yhteispaksuus
- kaikkien levyjen materiaalilujuus on sama
- ruuvien etäisyydet ovat samat ulommaisissa ja keskimäisissä levyissä.

Liitoslevyjen vetokestävyys, SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.3 hallitun plastisoitumisen periaate

Tarkasteltava nettopoikkileikkaus merkitty yllä olevaan kuvaan punaisella katkoviivalla 3.

$$A_{1.net} := 2(b_1 - n \cdot d_0) \cdot t_1 = 5480 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{ulommaisten levyjen nettopinta-ala yhteensä}$$

Ulommaiset levyt, nettopoikkileikkauksen kestävyysmitoitussarvo reikien kohdalla:

$$N_{1.u.Rd} := 0.9 \cdot A_{1.net} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 2012 \cdot \text{kN}$$

Ulommaiset levyt, bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisen kestävyysmitoitussarvo:

$$A_1 := 2 \cdot t_1 \cdot b_1 = 6800 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{ulommaisten levyjen bruttopinta-ala yhteensä}$$

$$N_{1.pl.Rd} := A_1 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2414 \cdot \text{kN}$$

$$N_{1.t.Rd} := \min(N_{1.u.Rd}, N_{1.pl.Rd}) = 2012 \cdot \text{kN} \quad \text{ulommaisten levyjen vetokestävyys}$$

Sisimmäinen levy, nettopoikkileikkauksen kestävyysmitoitussarvo reikien kohdalla

Tässä liitoksen mittasuhteet on valittu niin, että keskimmäisen levyn nettopoikkileikkauksen kestävyys ei tule määrääväksi.

$$N_{t.Rd} := N_{1.t.Rd} = 2012 \cdot \text{kN}$$

Nähdään että hallitun plastisoitumisen periaate (EN 1998 mukainen mitoitus maanjäristyksestä aiheutuville kuormille) ei liitoksessa toteudu, sillä bruttopoikkileikkauksen kestävyysmitoitussarvo $N_{pl.Rd}$ on suurempi kuin nettopoikkileikkauksen kestävyysmitoitussarvo $N_{u.Rd}$.

Tässä tapauksessa liitos voidaan silti luokitella staattisille kuormille sitkeäksi, koska liitoksen kestävyys $N_{Rd} = 2012 \text{ kN}$ on vähintään 1.2 kertaa suurempi verrattuna rakenneputken 200x200x6 vetokestävyysmitoitussarvoon $N_{pl.Rd} = 1620 \text{ kN}$.

Liitoksen murtomekanismi on nettopoikkileikkauksen plastisoituminen ruuvisarakkeen kohdalla ulommaisissa levyissä.

Liitoksen kestävyys

Liitoksen kestävyydeksi saadaan:

$$N_{Rd} := \min(F_{0.Rd}, F_{V.tot.Rd}, F_{b1.Rd}, V_{eff.1.Rd}, N_{t.Rd}) = 2012 \cdot \text{kN}$$

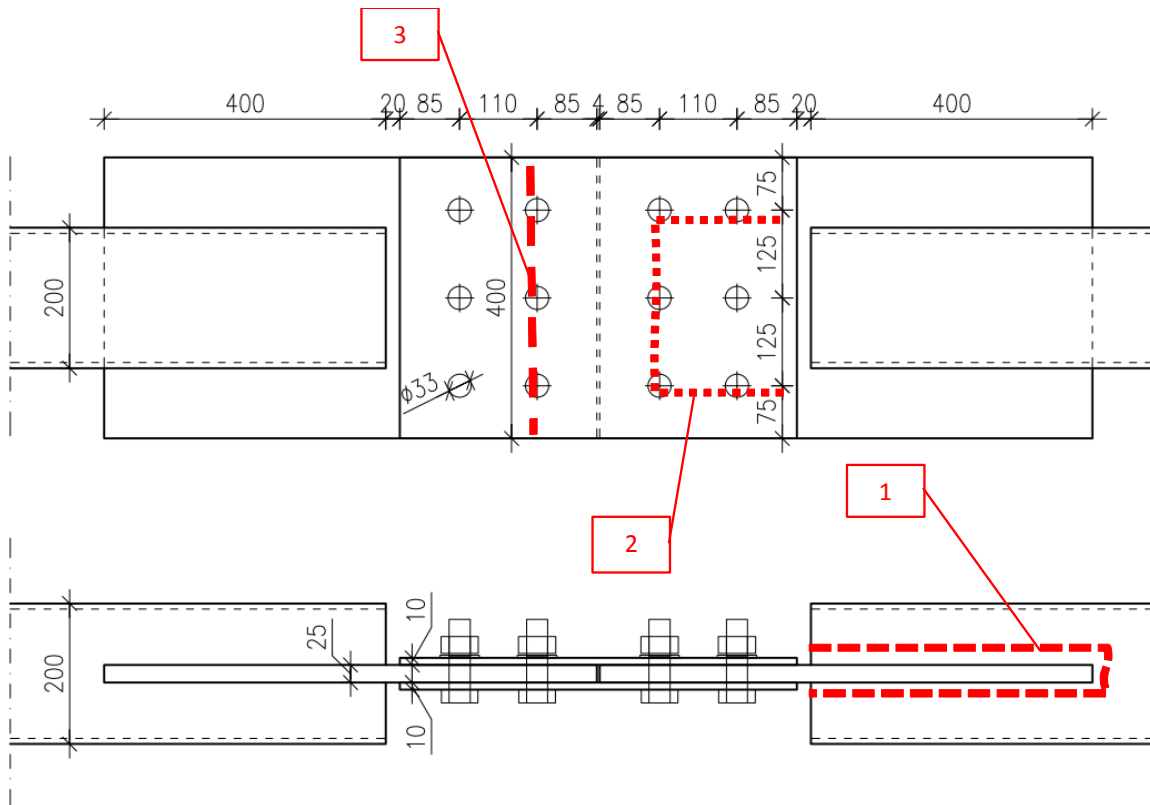
Liitosta rasittavan normaalivoiman mitoitusarvo on:

$$N_{Ed} = 1620 \cdot \text{kN}$$

Liitoksen kestävyys on suurempi kuin liitoksen rasitus -> OK



WP 3 esimerkki, muodonmuutoskykyinen liitos



Laskelmissa tarkastellut murtokuviot:

1. Palamurtuminen rakenneputken päässä
2. Ulommaisten liitoslevyjen ruuviliitoksen palamurtuminen
3. Ulommaisten liitoslevyjen nettopoikkileikkauksen murtuminen

Mitoitusperusteet

Tässä esimerkissä suunnitellaan yllä olevan kuvan mukainen rakenneputkien välinen vedetty liitos niin, että se täyttää WP3:ssa muodonmuutoskykyiselle liitokselle asetetut ehdot.

Ensinmäisen esimerkin sitkeään liitokseen verrattuna tässä esimerkissä ovat seuraavat lähtötiedot muuttuneet:

- rakenneputken poikkeileikkaus nyt 200x200x8, joten liitosta rasittavan normaalivoiman mitoitusarvo on suurempi verrattuna edelliseen esimerkkiin.
- ruuvien lukumäärä ja etäisyydet ovat muuttuneet.
- liitoslevyjen korkeus nyt 400 mm.

Liitoksessa keskimääräinen levy valitaan niin, että sen kestävyys on aina suurempi kuin uloimmaisten levyjen kestävyys yhteensä.

Valitaan reunapuristustyyppinen ruuviliitos (luokka A).

Lähtötietoja

Osavarmuusluvut

$$\gamma_{M0} := 1.00 \qquad \gamma_{M2} := 1.25$$

Ruuvit

$$f_{ub} := 800 \text{ MPa} \qquad \text{ruuvit 8.8}$$

$$d_0 := 33 \text{ mm}$$

$$d := 30 \text{ mm} \quad \text{ruuvien halkaisija}$$

$$n := 3 \quad \text{ruuvirivien määrä}$$

$$m := 2 \quad \text{ruuvisarakkeiden määrä}$$

Levyjen mitat ja ominaisuudet

$$E := 210000 \text{ MPa}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

Levyjen mitat

$$t_1 := 10 \text{ mm} \quad \text{ulommaisten levyjen paksuus}$$

$$t_2 := 25 \text{ mm} \quad \text{keskimmäisen levyn paksuus}$$

$$b_1 := 400 \text{ mm} \quad \text{ulommaisten levyjen korkeus}$$

$$b_2 := 400 \text{ mm} \quad \text{keskimmäisen levyn korkeus}$$

Rakenneputken mitat ja ominaisuudet

$$t_0 := 8 \text{ mm} \quad \text{rakenneputken ainepaksuus}$$

$$b_0 := 200 \text{ mm} \quad \text{rakenneputken leveys}$$

$$h_0 := 200 \text{ mm} \quad \text{rakenneputken korkeus}$$

$$A_0 := 5924 \text{ mm}^2 \quad \text{rakenneputken poikkileikkauksen pinta-ala}$$

$$f_{y0} := 355 \text{ MPa} \quad \text{rakenneputken myötölujuus}$$

Rakenneputken vetokestävyys, bruttopoikkileikkaus

$$N_{pl,Rd} := \frac{A_0 \cdot f_{y0}}{\gamma_{M0}} = 2103 \text{ kN} \qquad \text{rakenneputken vetokestävyuden mitoitusarvo}$$

Liitoksen rasitus

Tässä esimerkissä liitoksen rasitus on rakenneputken vetokestävyyden suuruinen.

$$N_{Ed} := 2103 \cdot \text{kN}$$

vetävän normaalivoiman mitoitusarvo liitoksessa

Rakenneputken ja keskimmäisen liitoslevyn välisen hitsiliitoksen kestävyys

Rakenneputken ja liitoslevyn välisen kylkipienahitsin kestävyys, SFS-EN 1993-1-8 kohta 4.5.3

Valitaan pienahitsin koko $a = 8 \text{ mm}$ (tässä tapauksessa tasaluja hitsi).

$$a := 8 \cdot \text{mm}$$

$$\beta_w := 0.9 \quad \text{teräslaji S355}$$

$$L_w := 400 \cdot \text{mm}$$

$$n_w := 4 \quad \text{hitsipienojen määrä kiinnityksessä}$$

$$A_w := n_w \cdot a \cdot L_w = 12800 \cdot \text{mm}^2$$

$$f_{vw,d} := \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 262 \cdot \text{MPa}$$

$$F_{w,Rd} := A_w \cdot f_{vw,d} = 3350 \cdot \text{kN}$$

HUOM! SFS-EN 1993-1-8 merkinnöistä poiketen tässä $F_{w,Rd}$ on kylkipienahitsien kestävyden mitoitusarvo (eikä siis mitoitusarvo pituusyksikköä kohti).

Rakenneputken palamurtumiskestävyys liitoslevyn hitsin vieressä, SFS-EN 1993-1-8 kohdan 3.10 mukainen periaate

Tarkasteltava nettopoikkileikkaus merkitty yllä olevaan kuvaan punaisella katkoviivalla 1.

$$A_{0,nv} := 4 \cdot t_0 \cdot L_w = 12800 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{0,nt} := 2 \cdot t_0 \cdot (t_2 + 2\sqrt{2} \cdot a) = 762 \cdot \text{mm}^2$$

$$V_{eff,0,Rd} := \frac{f_u \cdot A_{0,nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{0,nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2934 \cdot \text{kN}$$

SFS-EN 1993-1-8 mukainen merkintä ruuviliitokselle on $V_{eff,1,Rd}$

Rakenneputken ja keskimmäisen liitoslevyn välisen kiinnityksen kestävyys

$$F_{0,Rd} := \min(F_{w,Rd}, V_{eff,0,Rd}) = 2934 \cdot \text{kN}$$

Ruuviliitoksen leikkauskestävyys, SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.6.1

Ruuvien leikkauskestävyys leikettä kohden

$\alpha_v := 0.6$ osakierteinen ruuvi, ruuvien kierteetön osa on leikkaustasossa

$$A_w := \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 707 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{V,Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 271 \cdot \text{kN}$$

$n_{tot} := 2 \cdot n \cdot m = 12$ ruuvileikkeiden määrä, 2-leikkeinen liitos

Liitoksessa äärimmäisten kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys L_j on pienempi kuin $15 \cdot d \rightarrow$ Ruuvien leikkauskestävyyttä ei tarvitse pienentää (SFS-EN 1993-1-8, kohta 3.8).

Liitoksen ruuvileikkeiden leikkauskestävyys

$$F_{V,tot,Rd} := n_{tot} \cdot F_{V,Rd} = 3257 \cdot \text{kN}$$

Ruuviliitoksen reunapuristuskestävyys, SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.6.1

Reunapuristuskestävyys liitoksen ulommaisissa levyissä

$$t_{lw} := 10 \cdot \text{mm}$$

$$e_1 := 85 \cdot \text{mm}$$

$$e_2 := 75 \cdot \text{mm}$$

$$p_1 := 110 \cdot \text{mm}$$

$$p_2 := 125 \cdot \text{mm}$$

Ruuvien etäisyydet täyttävät SFS-EN 1993-1-8 taulukon 3.3 ehdot silloin, kun rakenne ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille.

Huom. Tässä tapauksessa etäisyydet on valittu samoiksi sekä ulommaisille liitoslevyille että keskimmaiselle liitoslevylle

Reunasarakkeen ruuvit (levyn reunassa):

$$k_{1,edg} := \min \left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) = 2.5$$

$$\alpha_{b,edg} := \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right) = 0.859$$

$$F_{b,edg1,Rd} := \frac{(k_{1,edg} \cdot \alpha_{b,edg} \cdot f_u \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}} = 262.727 \cdot \text{kN}$$

Keskisarakkeen ruuvit (levyn keskellä):

$$k_{1,mid} := \min \left[\left(1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7 \right), 2.5 \right] = 2.5$$

$$\alpha_{b,mid} := \min \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right) = 0.861$$

$$F_{b.mid1.Rd} := \frac{(k_{l.mid} \cdot \alpha_{b.mid} \cdot f_u \cdot d \cdot t_1)}{\gamma_{M2}} = 263.5 \cdot \text{kN}$$

Reunapuristuskestävyys ulommaisissa levyissä (2-leikkeinen liitos)

$$F_{b1.Rd} := 2 \cdot n \cdot F_{b.edg1.Rd} + 2n \cdot (m - 1) \cdot F_{b.mid1.Rd} = 3157 \cdot \text{kN}$$

Nähdään että uloimmaisissa levyissä jokaisen ruuvin reunapuristuskestävyys on pienempi kuin ruuvin leikkauskestävyys.

Reunapuristuskestävyys, liitoksen keskimäinen levy

Tässä liitoksen mittasuhteet on valittu niin, että keskimäisessä levyssä reunapuristuskestävyys ei tule määrääväksi.

Ulommaisten liitoslevyjen palamurtumiskestävyys ruuviliitoksessa, SFS-EN 1993-1-8 kohta 3.10

Tarkasteltava nettopoikkileikkaus merkitty yllä olevaan kuvaan punaisella katkoviivalla 2.

$$A_{1.nv} := 2 \cdot 2 \cdot [e_1 + (m - 1)p_1 - d_0] \cdot t_1 = 6480 \cdot \text{mm}^2 \quad n = 3 \quad \text{ruuvirivien määrä}$$

$$A_{1.nt} := 2 \cdot [(n - 1)(p_2 - d_0)] \cdot t_1 = 3680 \cdot \text{mm}^2 \quad m = 2 \quad \text{ruuvisarakkeiden määrä}$$

$$V_{eff.1.Rd} := \frac{f_u \cdot A_{1.nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{1.nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 2830 \cdot \text{kN}$$

Keskimäisen levyn palamurtumiskestävyttä ei tässä tapauksessa tarvitse tarkistaa, koska kaikki seuraavat ehdot toteutuvat:

- keskimäisen levyn paksuus on suurempi kuin ulommaisten levyjen yhteispaksuus
- kaikkien levyjen materiaalilujuus on sama
- ruuvien etäisyydet ovat samat ulommaisissa ja keskimäisissä levyissä.

Liitoslevyjen vetokestävyys, SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.2.3 hallitun plastisoitumisen periaate

Tarkasteltava nettopoikkileikkaus merkitty yllä olevaan kuvaan punaisella katkoviivalla 3.

$$A_{1.net} := 2(b_1 - n \cdot d_0) \cdot t_1 = 6020 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{ulommaisten levyjen nettopinta-ala yhteensä}$$

Ulommaisista levyistä, nettopoikkileikkauksen kestävyden mitoitusarvo reikien kohdalla:

$$N_{1.uRd} := 0.9 \cdot A_{1.net} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 2211 \cdot \text{kN}$$

Ulommaisista levyistä, bruttopoikkileikkauksen plastisuusteorian mukaisen kestävyden mitoitusarvo:

$$A_1 := 2 \cdot t_1 \cdot b_1 = 8000 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{ulommaisten levyjen bruttopinta-ala yhteensä}$$

$$N_{1,pl.Rd} := A_1 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2840 \cdot \text{kN}$$

$$N_{1,t.Rd} := \min(N_{1,u.Rd}, N_{1,pl.Rd}) = 2211 \cdot \text{kN} \quad \text{ulommaisten levyjen vetokestävyys}$$

Sisimmäinen levy, nettopoikkileikkauksen kestävyden mitoitusarvo reikien kohdalla:

Tässä liitoksen mittasuhteet on valittu niin, että keskimmäisen levyn nettopoikkileikkauksen kestävyys ei tule määrääväksi.

$$N_{t.Rd} := N_{1,t.Rd} = 2211 \cdot \text{kN}$$

Nähdään että hallitun plastisoitumisen periaate (EN 1998 mukainen mitoitus maanjäristyksestä aiheutuville kuormille) ei liitoksessa toteudu, sillä bruttopoikkileikkauksen kestävyden mitoitusarvo $N_{pl.Rd}$ on suurempi kuin nettopoikkileikkauksen kestävyden mitoitusarvo $N_{u.Rd}$.

Tässä tapauksessa liitos voidaan silti luokitella muodonmuutoskykyiseksi staattisille kuormille, sillä liitoksen kestävyys $N_{Rd} = 2211 \text{ kN}$ on suurempi verrattuna rakenneputken 200x200x8 vetokestävyden mitoitusarvoon $N_{pl.Rd} = 2103 \text{ kN}$.

Liitoksen murtomekanismi on nettopoikkileikkauksen plastisoituminen ruuvisarakkeen kohdalla ulommaisissa levyissä.

Liitoksen kestävyys

Liitoksen kestävyydeksi saadaan:

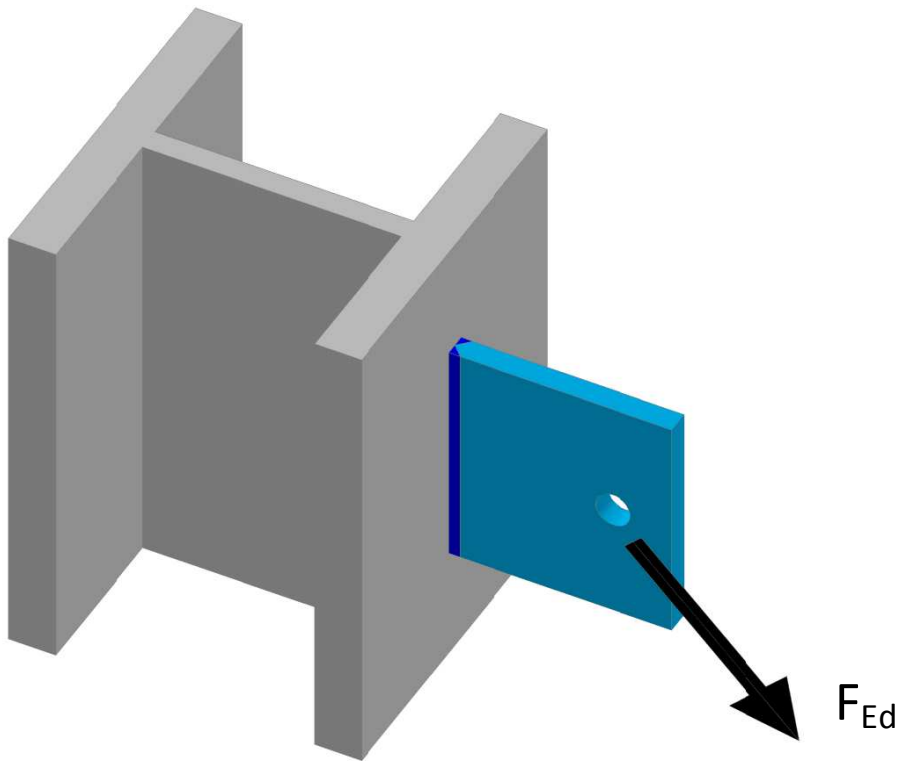
$$N_{Rd} := \min(F_{0.Rd}, F_{V.tot.Rd}, F_{b1.Rd}, V_{eff.1.Rd}, N_{t.Rd}) = 2211 \cdot \text{kN}$$

Liitosta rasittavan normaalivoiman mitoitusarvo on:

$$N_{Ed} = 2103 \cdot \text{kN}$$

Liitoksen kestävyys on suurempi kuin liitoksen rasitus -> OK

WP 3 esimerkki, korvakkeen mitoitus. Hitsi tasaluja.



Mitoitusperusteet

Tässä esimerkissä tarkastetaan yllä olevan kuvan mukaisen korvakkeen tasalujan hitsatun kiinnityksen kestävyttä. Standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaan läpihitsatun päittäisliitoksen kestävyys voidaan olettaa yhtä suureksi kuin heikomman liitettävän osan kestävyys.

Liitoksen muiden osien kestävyttä ei tarkasteta tässä esimerkissä. Pilarin laipan paksuussuuntaista kestävyttä (lamellirepeily) ei myöskään tarkasteta tässä esimerkissä.

Korvakkeen paksuus on 20 mm, korkeus 200 mm ja pituus 170 mm. Korvakkeessa olevan kiinnitysreiän etäisyys pilarin laipasta on $e_1 = 140$ mm.

Kuorma $F_{Ed} = 300$ kN vaikuttaa 45 asteen kulmassa.

Lähtötietoja

Korvakkeen mitat

$h := 200\text{ mm}$

$t := 20\text{ mm}$

$e_1 := 140\text{ mm}$

$a := 10\text{ mm} + 10\text{ mm} = 20\text{ mm}$

läpihitsattu päittäishitsi

$$I := \frac{h^3 \cdot t}{12} = 1.333 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{\text{w}} := h \cdot t = 4000 \cdot \text{mm}^2$$

Korvakkeen voimasuureet

$$F_{\text{Ed}} := 300 \text{ kN}$$

$$\alpha := 45^\circ$$

$$N_{\text{Ed}} := F_{\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha) = 212.132 \cdot \text{kN}$$

$$V_{\text{Ed}} := F_{\text{Ed}} \cdot \sin(\alpha) = 212.132 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{Ed}} := V_{\text{Ed}} \cdot e_1 = 29.698 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Osavarmuusluvut ja materiaaliparametrit

$$\gamma_{\text{M0}} := 1.00$$

$$\gamma_{\text{M2}} := 1.25$$

$$E := 210000 \cdot \text{MPa}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

Korvakkeen leikkauskestävyys

$$A_v := \frac{2}{3} \cdot h \cdot t = 2667 \cdot \text{mm}^2$$

Standardin SFS-EN 1993-1-1 kohdassa 6.2.6 ei esitetä suorakaidepoikkileikkauksen leikkauspinta-alaa A_v . Tässä on

käytetty arvoa $\frac{2}{3} \cdot h \cdot t$.

$$V_{\text{pl.Rd}} := \frac{A_v}{\gamma_{\text{M0}}} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 547 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{pl.Rd}}} = 0.388$$

$$\rho := \begin{cases} 0 & \text{if } V_{\text{Ed}} \leq 0.5 V_{\text{pl.Rd}} \\ \left(\frac{2 V_{\text{Ed}}}{V_{\text{pl.Rd}}} - 1 \right)^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\rho = 0$$

Tässä leikkausvoima on alle puolet leikkauskestävyydestä, joten leikkausvoiman vaikutusta ei tarvitse SFS-EN 1993-1-1 kohdan 6.2.10 (2) mukaan ottaa huomioon.

$$f_{y,\text{red}} := (1 - \rho) f_y = 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{pl} := \frac{1}{4} \cdot t \cdot h^2 = 2 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

$$N_{pl.Rd} := A \cdot \frac{f_{y.red}}{\gamma_{M0}} = 1420 \cdot \text{kN}$$

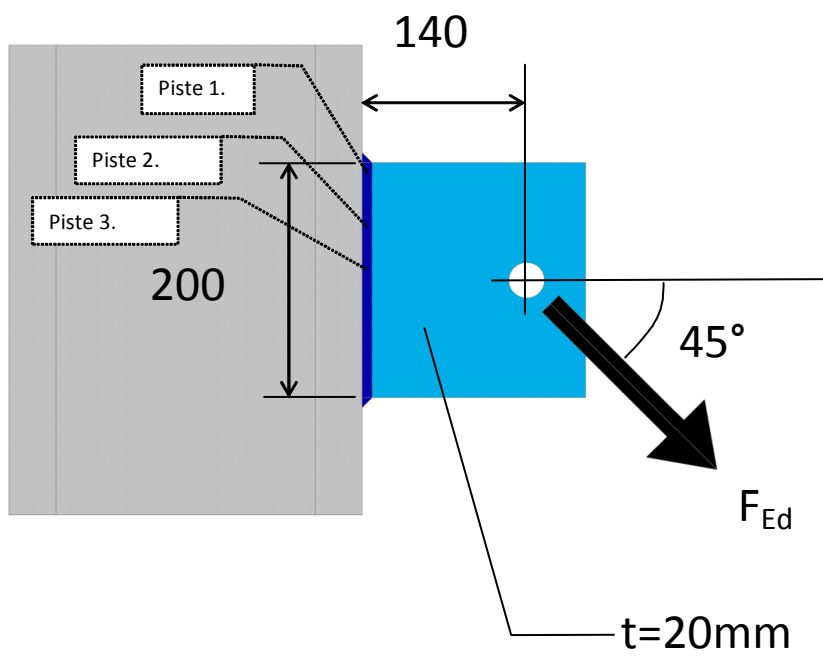
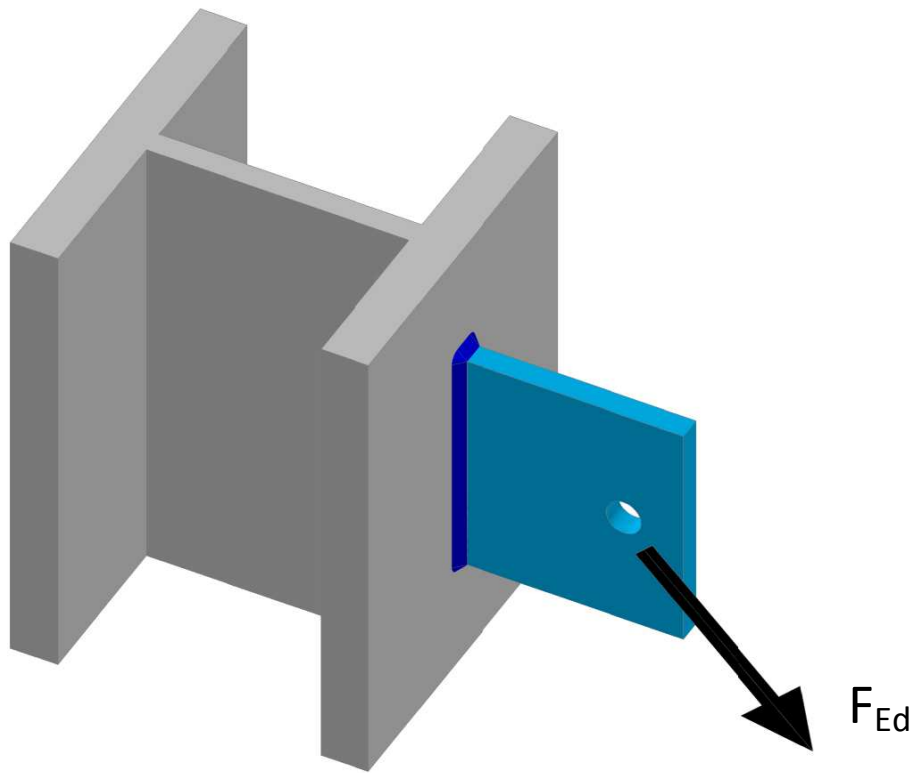
$$M_{pl.Rd} := W_{pl} \cdot \frac{f_{y.red}}{\gamma_{M0}} = 71.0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{N.Rd} := M_{pl.Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \right)^2 \right] = 69.4 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed} < M_{N.Rd}$$

-> OK, nähdään että tasalujasti hitsattu korvake kestää rasituksen $F_{Ed}=300 \text{ kN}$.

WP 3 esimerkki, korvakkeen hitsin mitoitus kimmoteorian mukaan



Mitoitusperusteet

Tässä esimerkissä tarkastetaan yllä olevan kuvan mukaisen korvakkeen hitsattu kiinnitys pilarin laippaan. Liitoksen muiden osien kestävyyttä ei tarkasteta tässä esimerkissä. Pilarin laipan paksuussuuntaista kestävyyttä (lamellirepeily) ei myöskään tarkasteta tässä esimerkissä.

Korvakkeen paksuus on 20 mm, korkeus 200 mm ja pituus 170 mm. Korvakkeessa olevan kiinnitysreiän etäisyys pilarin laipasta on $e_1 = 140$ mm.

Kuorma $F_{Ed} = 200$ kN vaikuttaa 45 asteen kulmassa.

Hitsin rasituksia tarkastellaan kolmessa pisteessä:

Piste 1. Korvakkeen yläreunan taso

Piste 2. 50 mm korvakkeen yläreunasta alaspäin

Piste 3. 100 mm korvakkeen yläreunasta alaspäin

Koska hitsit eivät tässä esimerkissä ole tasalujia, niin hitsien kestävyys tarkistetaan kimmoteorian mukaisille rasituksille. Vrt. SFS-EN 1993-1-8, kohta 4.9(4):

"Hitsausliitokset suunnitellaan siten, että niillä on riittävä muodonmuutoskyky. Hitsin sitkeyteen ei kuitenkaan saa luottaa."

Lähtötietoja

Korvakkeen mitat

$$h := 200 \text{ mm}$$

$$t := 20 \cdot \text{mm}$$

$$e_1 := 140 \text{ mm}$$

$$a := 6 \text{ mm} \quad \text{pienahitsi koko levyn ympäri}$$

$$I := \frac{h^3 \cdot t}{12} = 1.333 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_w := h \cdot t = 4000 \cdot \text{mm}^2$$

Korvakkeen voimasuureet

$$F_{Ed} := 200 \text{ kN}$$

$$\alpha := 45^\circ$$

$$N_{Ed} := F_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 141.421 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed} := F_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 141.421 \cdot \text{kN}$$

$$M_{Ed} := V_{Ed} \cdot e_1 = 19.799 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Osavarmuusluvut ja materiaaliparametrit

$$\gamma_{M0} := 1.00$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

$$E := 210000 \cdot \text{MPa}$$

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$f_u := 510 \text{ MPa}$$

$$\beta_w := 0.9$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Hitsin lujuus

$$f_{w.d} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 453 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korvakkeen rasitukset pisteessä 1

Korvakkeen normaalijännitys pisteessä 1:

$y_1 := 100 \cdot \text{mm}$ pisteen etäisyys korvakkeen kimmoteorian mukaisesta painopisteestä

$$\sigma_1 := \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I} \cdot y_1 = 183.8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korvakkeen leikkausjännitys pisteessä 1:

$$\tau_1 := 0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nähdään että korvakkeen normaalijännitys on selvästi pienempi kuin myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd} .

Kaksoispienahitsin rasitukset pisteessä 1

$$\sigma_{\text{perp.1}} := \sigma_1 \cdot \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 216.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{perp.1}} := \sigma_1 \cdot \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 216.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{par.1}} := \tau_1 = 0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{vert.1}} := \sqrt{\sigma_{\text{perp.1}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{perp.1}}^2 + \tau_{\text{par.1}}^2)} = 433 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Util}_1 := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \sigma_{\text{vert.1}} \leq f_{w.d} \\ \text{"not ok"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Util₁ = "ok"

Lisäksi on tarkistettava että

$$\sigma_{\text{perp.1}} \leq \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Korvakkeen rasitukset pisteessä 2

Korvakkeen normaalijännitys pisteessä 2:

$y_2 := 50 \cdot \text{mm}$ pisteen etäisyys korvakkeen kimmoteorian mukaisesta painopisteestä

$$\sigma_2 := \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I} \cdot y_2 = 109.6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Korvakkeen leikkausjännitys pisteessä 2:

$$S_2 := \left(\frac{h}{2} - y_2 \right) \cdot t \cdot \left(\frac{\frac{h}{2} - y_2}{2} + y_2 \right) = 7.5 \times 10^4 \cdot \text{mm}^3$$

$$\tau_2 := \frac{(V_{Ed} \cdot S_2)}{t \cdot I} = 39.8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kaksoispienahitsin rasitukset pisteessä 2

$$\sigma_{\text{perp.2}} := \sigma_2 \cdot \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 129.167 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{perp.2}} := \sigma_2 \cdot \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 129.167 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{par.2}} := \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \tau_2 = 66.291 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{vert.2}} := \sqrt{\sigma_{\text{perp.2}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{perp.2}}^2 + \tau_{\text{par.2}}^2)} = 283 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Util}_2 := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \sigma_{\text{vert.2}} \leq f_{w,d} \\ \text{"not ok"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Util₂ = "ok"

Korvakkeen rasitukset pisteessä 3

Korvakkeen normaalijännitys pisteessä 3:

$y_3 := 0 \cdot \text{mm}$ pisteen etäisyys korvakkeen kimmoteorian mukaisesta painopisteestä

$$\sigma_3 := \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I} \cdot y_3 = 35.4 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

korvakkeen leikkausjännitys pisteessä 3:

$$S_3 := \left(\frac{h}{2} - y_3 \right) \cdot t \cdot \left(\frac{\frac{h}{2} - y_3}{2} + y_3 \right) = 1 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

$$\tau_3 := \frac{(V_{Ed} \cdot S_3)}{t \cdot I} = 53 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kaksoispienahitsin rasiutukset pisteessä 3

$$\sigma_{\text{perp.3}} := \sigma_3 \cdot \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 41.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{perp.3}} := \sigma_3 \cdot \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 41.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{par.3}} := \frac{t}{2 \cdot a} \cdot \tau_3 = 88.388 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{vert.3}} := \sqrt{\sigma_{\text{perp.3}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{perp.3}}^2 + \tau_{\text{par.3}}^2)} = 174 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Util}_3 := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \sigma_{\text{vert.3}} \leq f_{\text{w.d}} \\ \text{"not ok"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Util}_3 = \text{"ok"}$$