

SIDELIITOKSEN NURJAHDUSMITOITUS

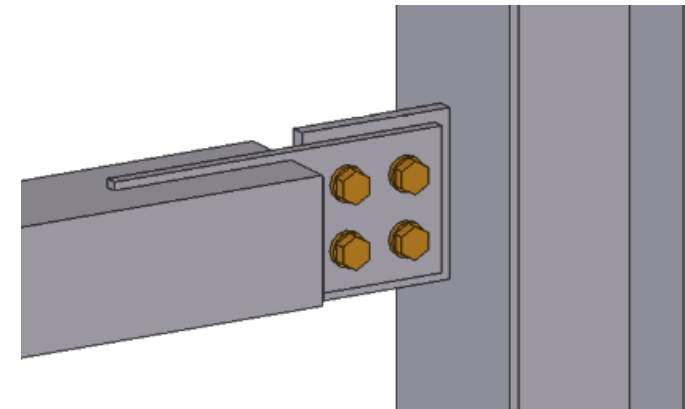
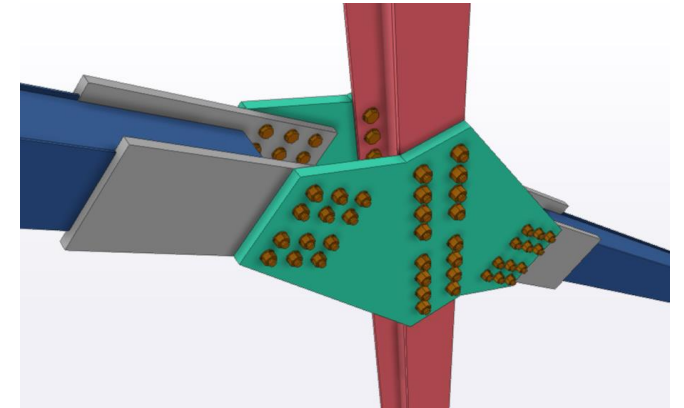
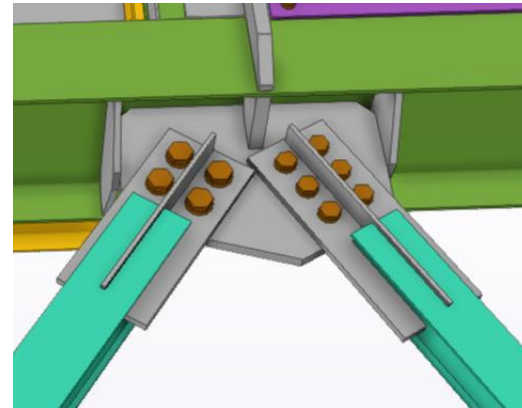
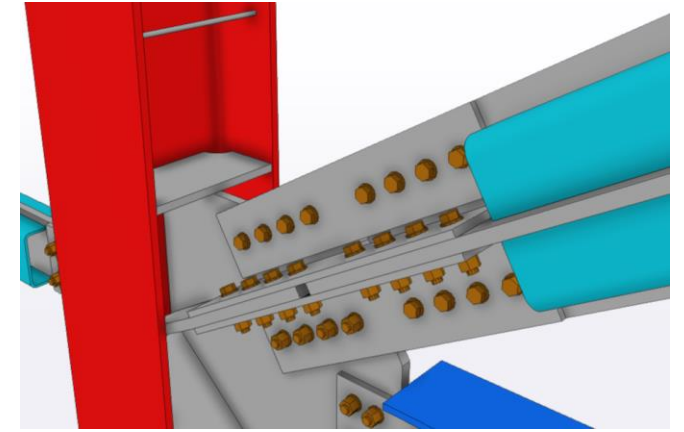
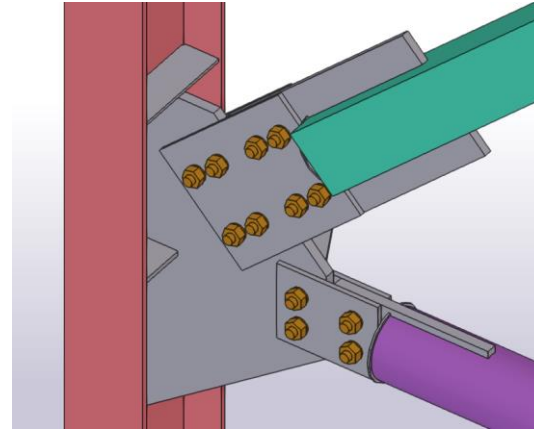
Timo Ketola, Juha Soini, Erkki Hömmö

Sweco Finland Oy

Teräsrakentamisen T&K 2023

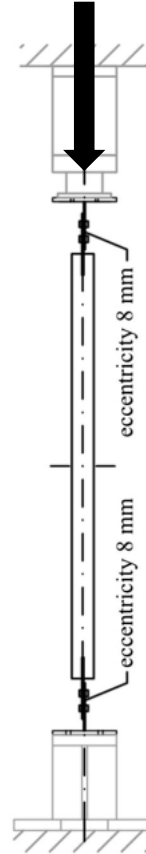
Sisältö

- Johdanto
- Yksileikkeinen sideliitos (esityksen pääpaino)
- Esimerkkiliitoksen laskenta
- Yhteenveto ja keskustelu
- Lähdeluettelo



Johdanto

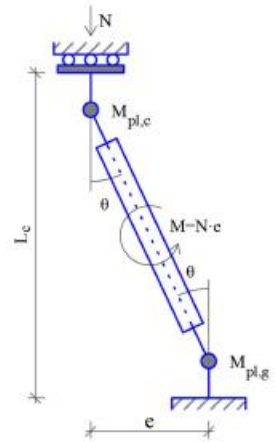
- Viimeisen 10 vuoden aikana on ohjeisiin alettu lisätä uusia ehtoja puristetun liitoksen osalta
 - Taustalla ainakin v. 2012 tapahtunut rakenteen sortuminen
- Kirjallisuudessa esitetyissä sideliitoksen laskentaohjeissa on suurta hajontaa. Suomalaisessa kirjallisuudessa liitoksen levyjen nurjardusta ei ole juurikaan käsitelty
- Siteiden mitoituksessa oletetaan tietynlainen nurjarduspituus, joka ei pidä paikkaansa, mikäli liitos nurjahtaa aiemmin



(a)



(b)



(c)

Yksileikkeinen sideliitos

Murtumistavat

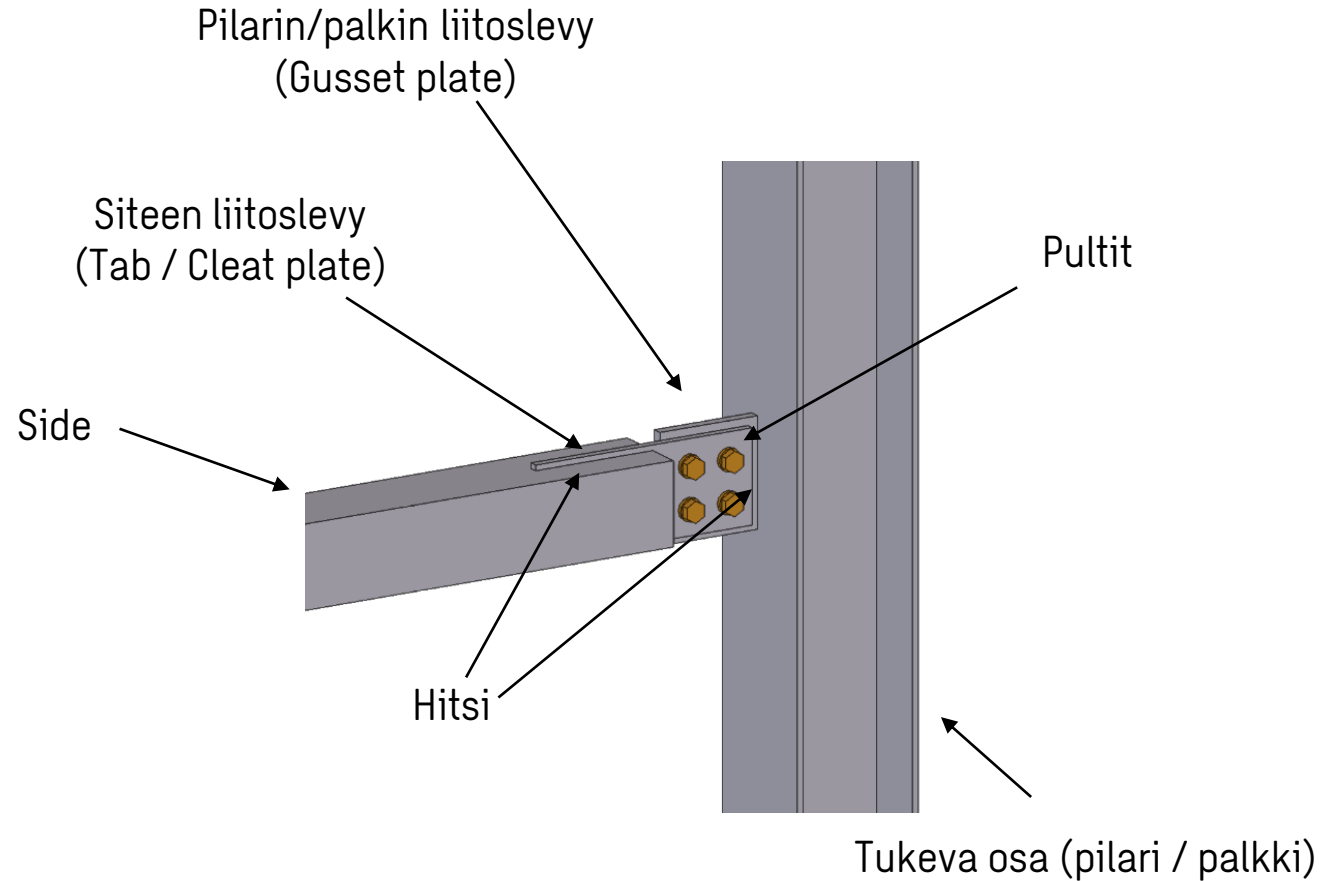
Siteen puoli & tukevan osan puoli

- Hitsin kestävyys
- Ruuviliitoksen kestävyys
 - Ruuvien leikkaus
 - Reunapuristus
 - Palamurto
 - Ruuviryhmän sisäinen lommahdus ($0.6p_1$)

Koko liitos

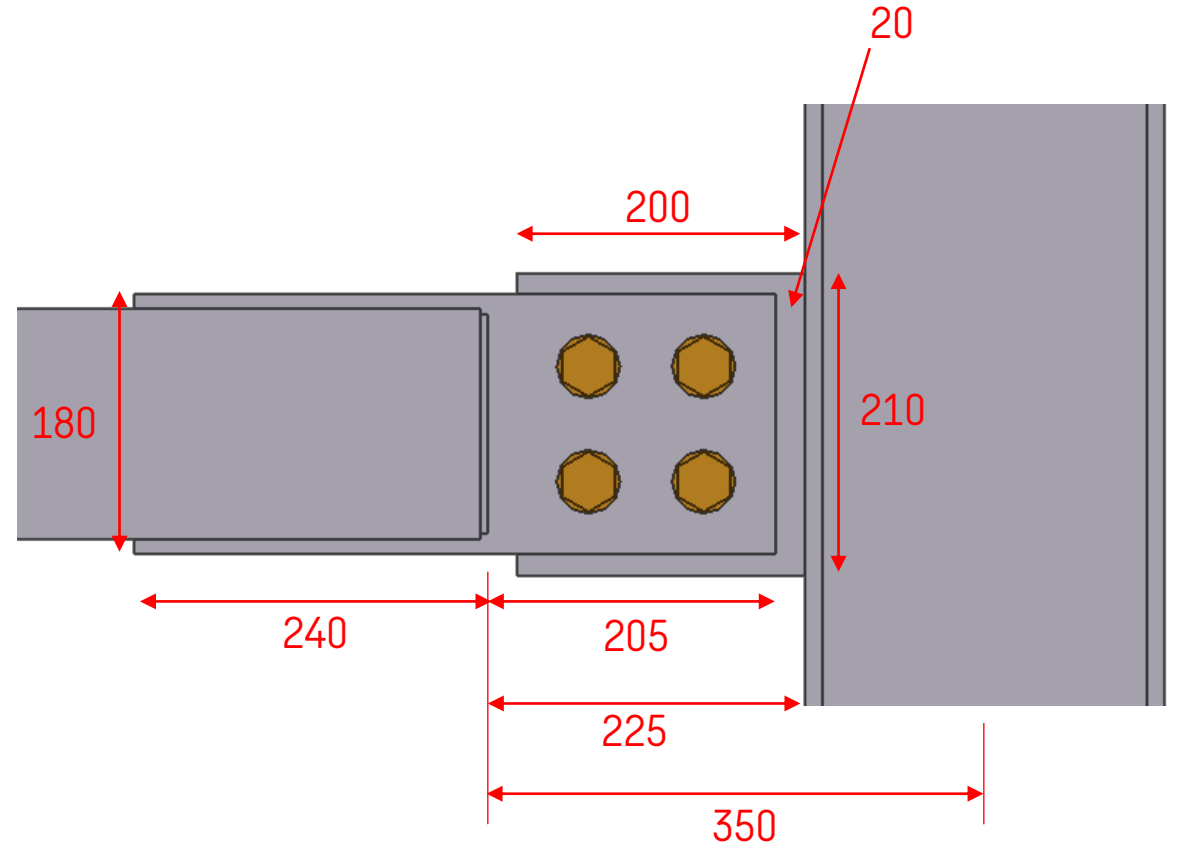
- Vedettynä
 - Levyn N+M (epäkeskisyydestä aiheutuva M)
- Puristettuna
 - Koko liitoksen plastinen mekanismi / nurjahdus
 - Epäkeskisyydestä aiheutuva momentti & 2. kertaluku

Esityksen yksileikkeisen sideliitoksen osat



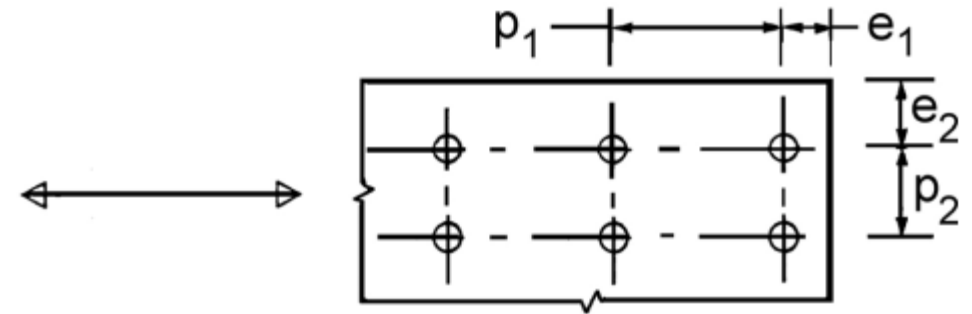
Esimerkkiliitos

- Side CFRHS**160X160X8**, S355H (L = 6m, $N_{b,Rd} = 653$ kN)
 - Liitoslevy 445 X 180 X **16**, S355
 - $f_y = 355$ MPa, $f_u = 510$ MPa
 - Loveuspituus 240mm
- **HEA260**, S355 pilari
 - $t = 20$ mm liitoslevy, S355
- **4 x M24**, 8.8 osakierteiset ruuvit
 - $e_1 = 50$ mm
 - $e_2 = 50$ mm
 - $p_1 = 80$ mm
 - $p_2 = 80$ mm



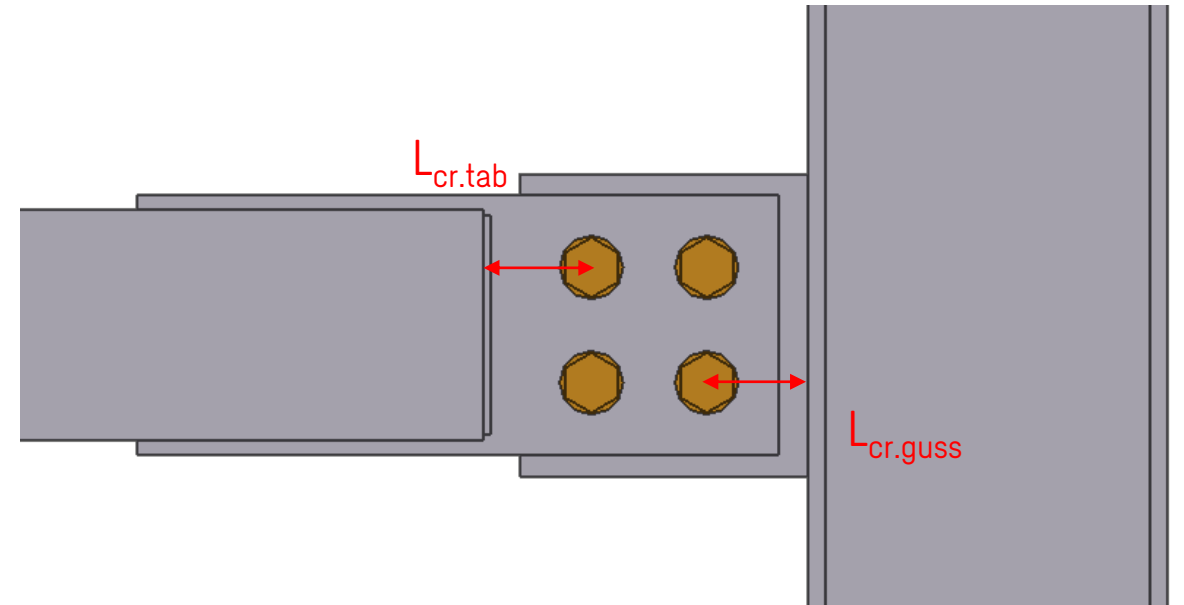
Mitoitus ilman nurjahdusta

- Ruuviliitoksen kestävyys
 - Ruuvien leikkauskestävyys 174 kN / ruuvi
 - Kun kierre ei ole leikkaustasossa
 - Reunapuristuskestävyys 251 kN / ruuvi
 - Palamurtumiskestävyys (koko ryhmä) 752 kN
 - Palamurtumiskestävyys (kulma, 1 ruuvi) 363 kN
 - (Hitsi mitoitetaan lujemmaksi)
 - → $N_{Rd} = 695 \text{ kN}$



Nurjahdusmitoitus arvioidulla nurjahduspituudella

- Käytetään nurjahduspituutena etäisyyttä levyn reunasta ruuvisarakkeen linjalle
- Siteen levy
 - $L_{cr.tab} = 75 \text{ mm}$
 - Normaalivoimakkestävyys $N_{Rd} = 1022 \text{ kN}$
 - Nurjahduskestävyys $N_{b,Rd} = 1016 \text{ kN}$
- Pilarin levy
 - $L_{cr.guss} = 70 \text{ mm}$
 - Normaalivoimakkestävyys $N_{Rd} = 1491 \text{ kN}$
 - Nurjahduskestävyys $N_{b,Rd} = 1491 \text{ kN}$
- Tässä tapauksessa levyjen kestävyys ei käytännössä pienene verrattuna normaalivoimakestävyyteen (ilman nurjahdusta)
 - Näillä nurjahduspituuksilla nurjahdus ei mitoita liitosta



Nurjahdusmitoitus kirjallisuuden menetelmillä

- Kirjallisuudesta löytyy ehdotettuja menetelmiä plastisen mekanismin / nurjahduksen huomiointiin puristetuille yksileikkeisille sideliitoksille

- SCI P358 [1]

- $N_{\text{tab.Rd}} = 336 \text{ kN}$
- $N_{\text{guss.Rd}} = 313 \text{ kN}$

- Khoo-Perera-Albermani [4]

- $N_{\text{Rd}} = 328 \text{ kN}$

- Vrt. pelkän ruuviliitoksen tarkastelulla $N_{\text{Rd}} = 695 \text{ kN}$

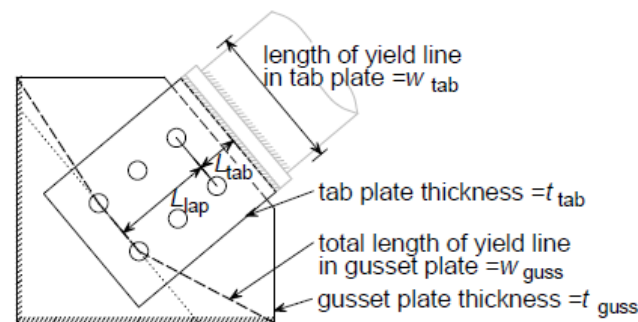


Figure 8.13 Nomenclature for gusset plate calculations – cases (a) and (b)

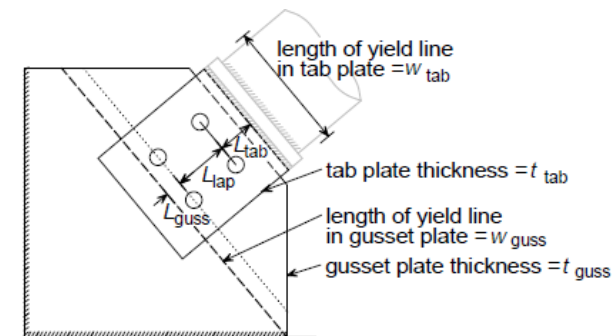
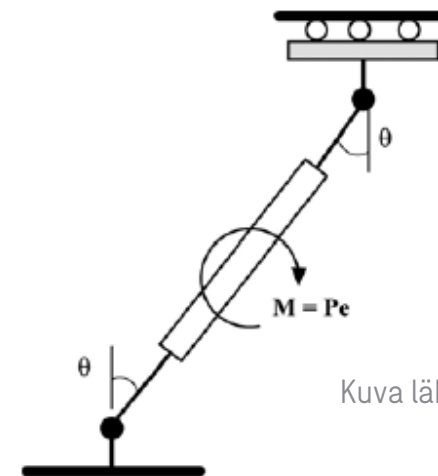


Figure 8.14 Nomenclature for gusset plate calculations – case (c)

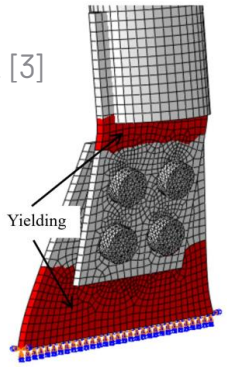
Kuvat lähteestä [1]



Kuva lähteestä [4]

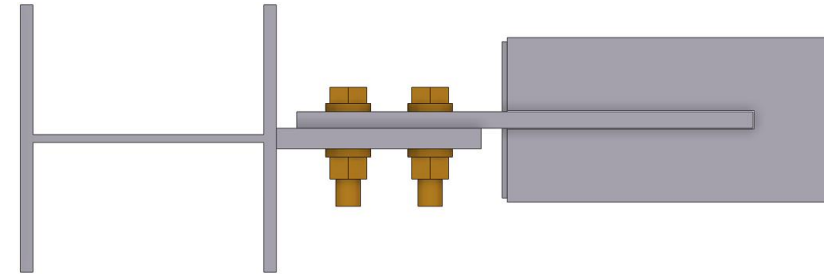
Mitoitus elementtimenetelmällä, GMNA

Kuva lähteestä [3]

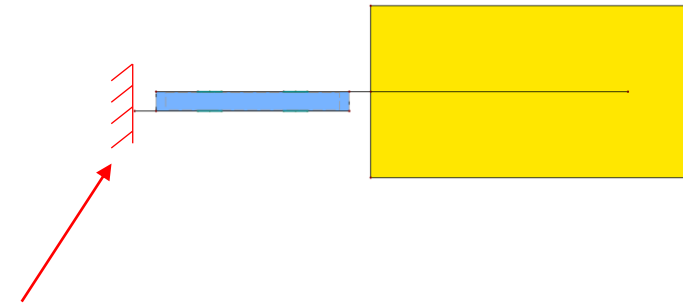


- Luodaan kuorimalli
 - Suuret siirtymät
 - Kimmoplastinen materiaalimalli
 - Pultit palkkielementeillä. Liitoslevyjen välinen kontakti
 - Ei epätarkkuuksia
- Täysin jäykällä tuennalla kestävyys 466 kN
 - Tässä ei ole vielä huomioitu
 - Epätarkkuuksia
 - Tukevan osan jäykkyyttä
- Vrt. pelkän ruuviliitoksen tarkastelulla $N_{Rd} = 695 \text{ kN}$

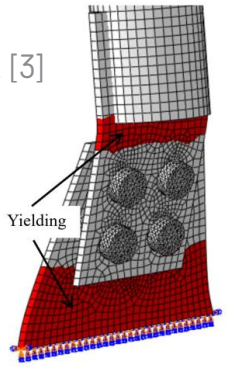
Liitosgeometria



Laskentamalli

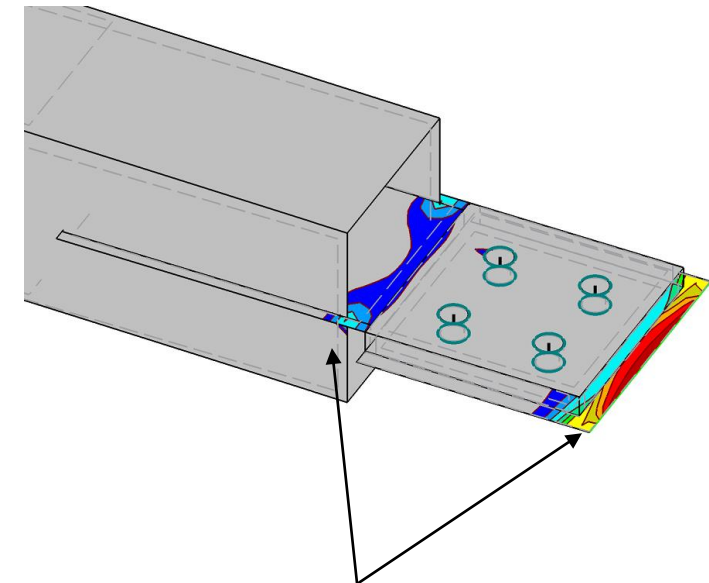


Jäykkä tuenta. Toisessa päässä siteen pituussuunnan liike vapautettu (koko laskentamallin pituus 5.75m)

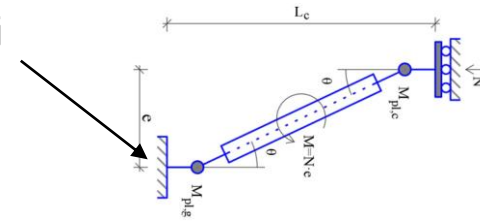


Mitoitus elementtimenetelmällä, GMNIA

- Lisätään edellisen kalvon malliin epätarkkuudet
 - Sauvan kaarevuus $L/150$
 - Levyjen vinous $L/100$
- Täysin jäykällä tuennalla kestävyys 419 kN
 - Tässä ei ole vielä huomioitu tukevan osan jäykkyyttä
- Vrt. pelkän ruuviliitoksen tarkastelulla $N_{Rd} = 695$ kN



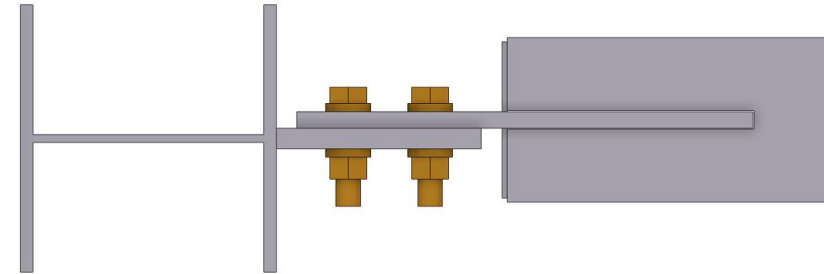
Plastinen nivel muodostuu tuelle, ja siteen liitoslevyyn heti siteen päässä



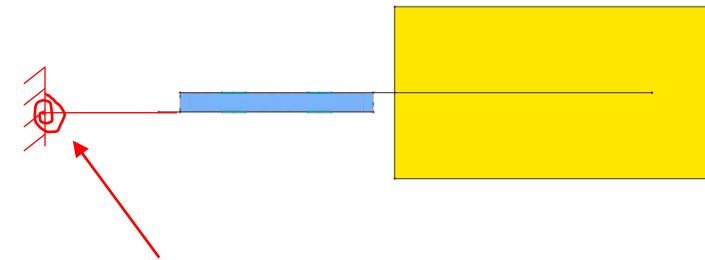
Tukevan osan antama tuenta

- Pileri / palkki ei välttämättä anna täysin jäykkää tuentaa liitoslevylle
 - Kirjallisuuden menetelmissä, ja löydetyissä koekuormituksissa, liitos on oletettu jäykäksi
- Muokataan liitosmallia lisäämällä jäykkä levy pilarin vääntökeskiön ja liitoslevyn välille

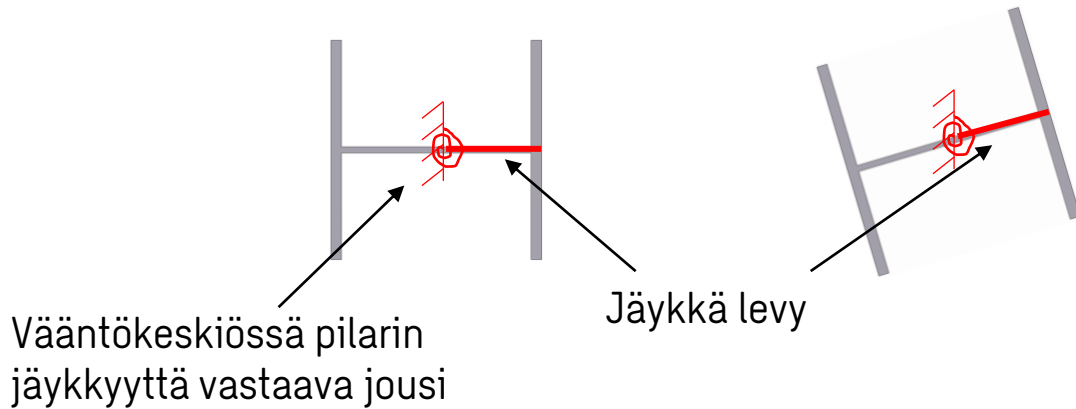
Liitosgeometria



Laskentamalli



Jousituenta, joka on sijoitettu pilarin vääntökeskiöön. Vääntökeskiön ja pilarin liitoslevyn välille mallinnettu jäykkä levy (koko laskentamallin pituus 6m)

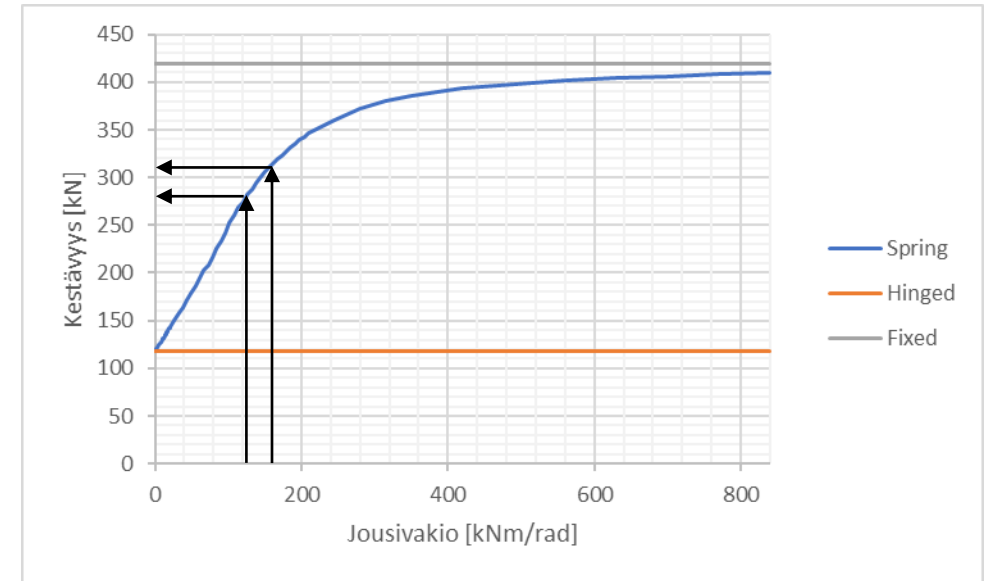


Vääntökeskiössä pilarin jäykkyyttä vastaava jousi

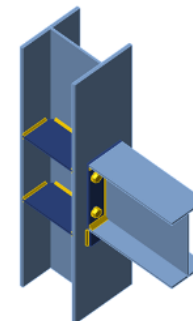
Jäykkä levy

Tukevan osan antama tuenta

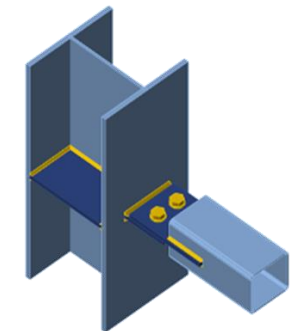
- Edellä muodostetulla mallilla niveltuennalla kapasiteetti tippuu arvoon 118 kN (vrt. 419 kN täysin jäykällä tuella)
- Kotelopoikkileikkaukset ja rakenneputket ovat hyvin vääntöjäykkiä → Toimivat lähes jäykän tuen tavoin
- I-poikkileikkauksen vääntöjäykkyys ei riitä itsesään antamaan täyttä tukea
 - Esim. pilari tuettu vääntöjäykästi 4 m + 4 m tarkasteltavasta kohdasta
 - HEA260 → 27 kNm/rad
 - WI400-12-20X300 → 85 kNm/rad
- Jäykkyyteen vaikuttaa pilarin/palkin vääntöjäykkyyden lisäksi myös muut liittyvät osat ja niiden liitokset → Yleistettyjen ohjeiden antaminen mahdotonta



IPE200, L=6m, tukipalallinen päätylevyltiitos
($t_{pl} = 10\text{mm}$, 4M16)
Pelkkä liitos: 818 kNm/rad
Yhteensä: **160 kNm/rad**

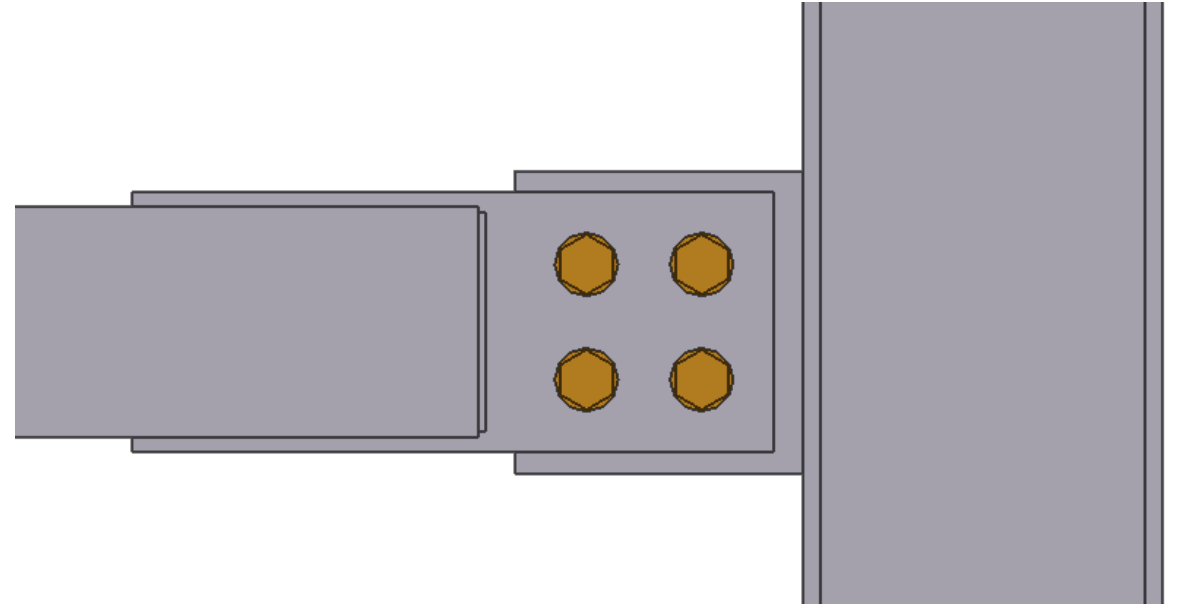


RHS120X4, L=6m, vaakalevy
($t_{pl} = 12\text{mm}$, 2M20)
Pelkkä liitos: 124 kNm/rad
Yhteensä: **127 kNm/rad**



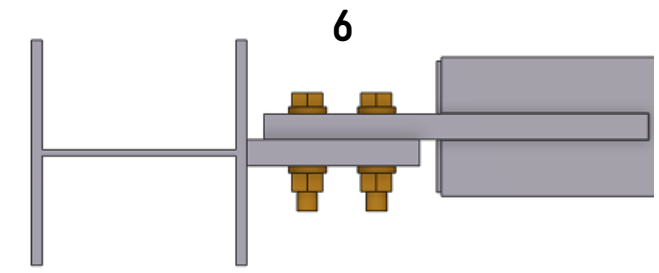
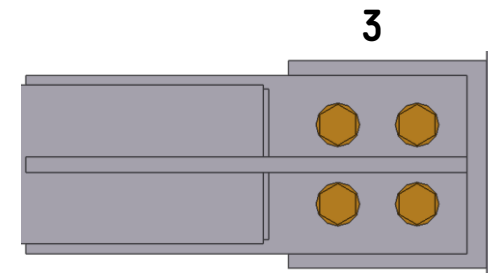
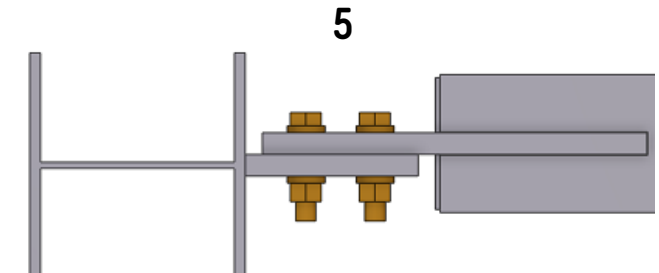
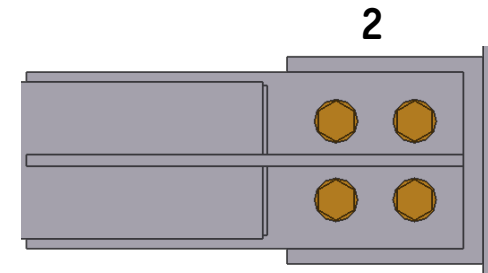
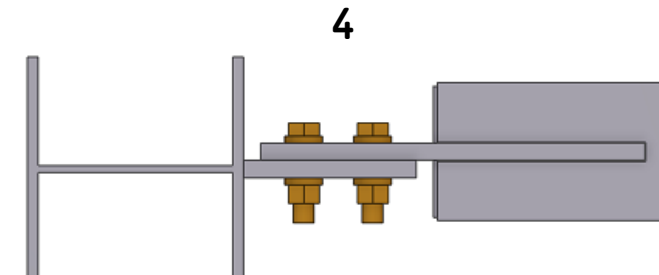
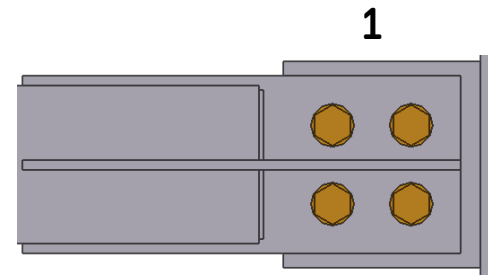
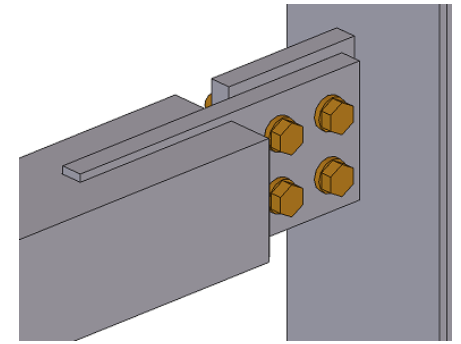
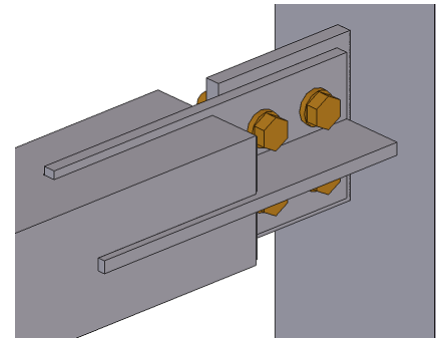
Esimerkkiliitoksen yhteenveto

- Ruuviryhmän kestävyys 695 kN
- Huomioimalla nurjahdus reunimmaisista ruuviriveistä levyjen tuentalinjoille kestävyys pysyi samana
- Kirjallisuuden menetelmillä
 - SCI 313 kN
 - Khoo et. al. 328 kN
- Laskemalla kuorielementeillä
 - GMNA 466 kN (jäykkä tuenta)
 - GMNIA 419 kN (jäykkä tuenta, yläraja)
 - GMNIA 118 kN (niveltuenta, alaraja)
- Nurjahdus tulee huomioida jopa verrattain lyhyillä liitoksilla



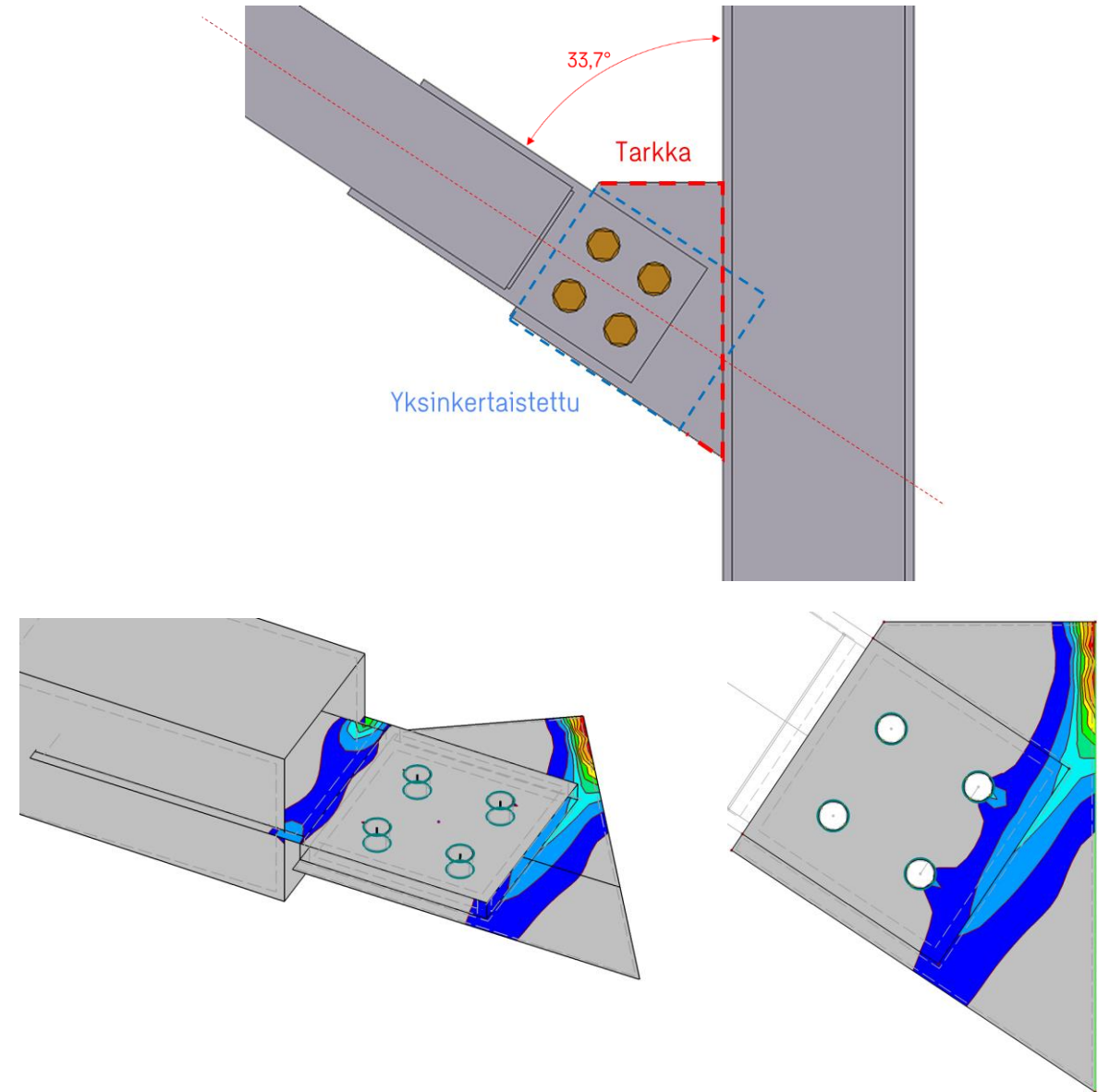
Liitoksen vahvistaminen

- Lähtökohtana laskentamalli, jossa pilarin ja 120x4 siteen antama jäykkyys liitokselle on 127 kNm/rad, $t_{\text{tab}} = 16 \text{ mm}$, $t_{\text{guss}} = 20 \text{ mm}$, $N_{\text{Rd}} = 280 \text{ kN}$ (43 %)
- Lisäämällä jäykistelevy siteen liitoslevyyn (ja 5mm tulppalevy)
 1. $t_{\text{jäyk}} = 10 \text{ mm}$, $N_{\text{Rd}} = 493 \text{ kN}$ (75 %)
 2. $t_{\text{jäyk}} = 12 \text{ mm}$, $N_{\text{Rd}} = 542 \text{ kN}$ (83 %)
 3. $t_{\text{jäyk}} = 16 \text{ mm}$, $N_{\text{Rd}} = 619 \text{ kN}$ (95 %)
- Vaihtamalla liitoslevyjen paksuuksia (ilman jäykistelevyä) saadaan kapasiteeteiksi
 4. $t_{\text{tab}} = 20 \text{ mm}$, $t_{\text{guss}} = 20 \text{ mm}$, $N_{\text{Rd}} = 322 \text{ kN}$ (49 %)
 5. $t_{\text{tab}} = 25 \text{ mm}$, $t_{\text{guss}} = 25 \text{ mm}$, $N_{\text{Rd}} = 374 \text{ kN}$ (57 %)
 6. $t_{\text{tab}} = 30 \text{ mm}$, $t_{\text{guss}} = 30 \text{ mm}$, $N_{\text{Rd}} = 428 \text{ kN}$ (66 %)
- Vrt. siteen nurjahduskestävyys $N_{\text{b,Rd}} = 653 \text{ kN}$



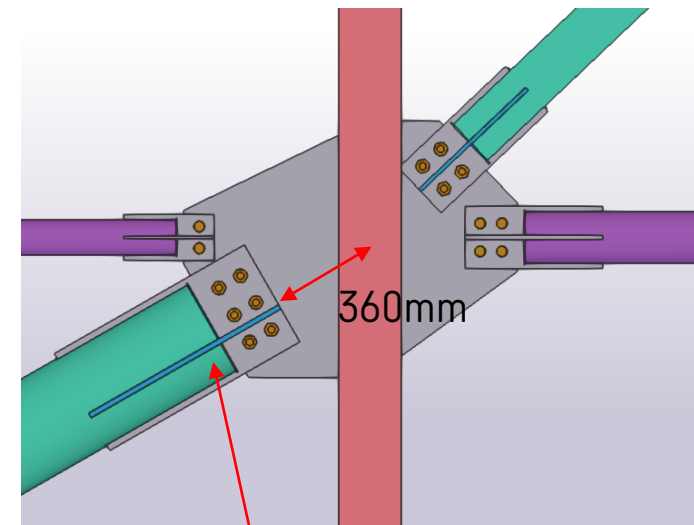
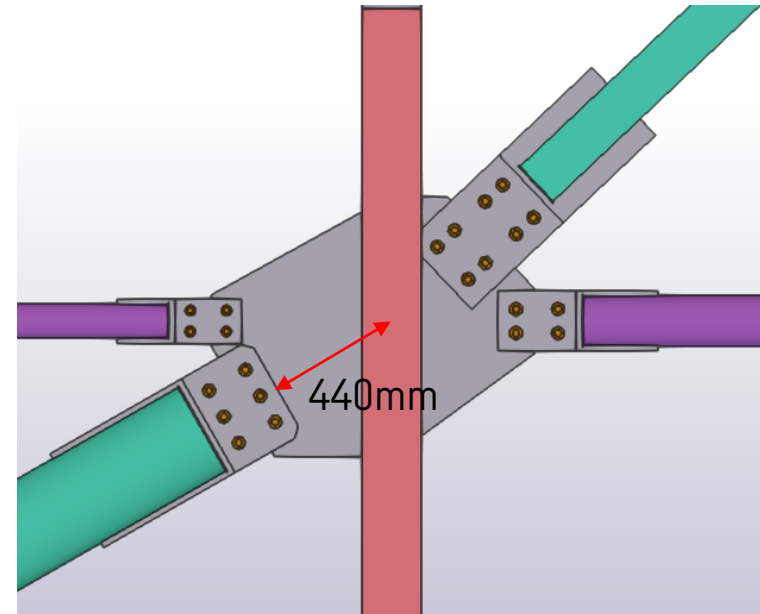
Vinoliitos

- Lasketaan vastaava liitos vinositeelle kahdella geometrialla
 - Yksinkertaistetaan pilarin levy suorakaiteeksi
 - Käytetään tarkempaa geometriaa
- Ruuviryhmän kestävyys 695 kN
- Kirjallisuuden menetelmillä kestävyys 344 kN / 341kN
- Laskemalla kuorielementeillä
 - GMNA 411 kN / 581 kN (jäykkä tuenta, yläraja)
 - GMNIA 373 kN / 539 kN (jäykkä tuenta)



Yhteenveto

- Esimerkkiliitoksen perusteella vaikuttaisi, että yksileikkeisen sideliitoksen puristuskestävyys voi tulla yliarvioituksi, mikäli liitoskokonaisuuden nurjahdusta ei huomioida
 - Ei voida kuitenkaan yleistää yhden tarkastelun perusteella
 - Lisätutkimustarve
- Kirjallisuuden menetelmissä ei ole huomioitu tukevan osan vääntöjäykkyyden vaikutusta
 - Kotelo- ja rakenneputkipoikkileikkaukset ovat väännössä hyvin jäykkiä
 - Avoimet I-poikkileikkaukset eivät ole, niihin rotaatiojäykkyys tulisi käytännössä samaan kohtaan liittyvistä muista rakenneosista (siteet, palkit)
 - Liitosjäykkyydellä keskeinen rooli
- Puristuskestävyyden parantamiseksi voidaan
 - Muokata liitosgeometriaa
 - Paksuntaa liitoslevyjä
 - Lisätä jäykistelevyjä
 - (Vaihtaa liitostyyppi)



Jäykkäri

Kiitos!

Timo Ketola, timo.ketola@sweco.fi

Juha Soini, juha.soini@sweco.fi

Erkki Hömmö, erkki.hommo@sweco.fi

Lähteet

- [1] SCI Publication P358, Joints in steel construction: Simple joints to Eurocode 3 (2014)
- [2] AD 374 Design of gusset plate connections, Moore D. B. (2013)
- [3] Compressive Resistance of Eccentrically Connected Gusset Plates, Vesecký et. al. (2020)
- [4] Design of Eccentrically connected cleat plates in compression, Khoo et. al. (2009)

Transforming society together

