

# Fin plate -liitosten kiertymiskyvyn ja sitkeyden varmentaminen

Ilari Pirhonen, Ville Laine



Ilari Pirhonen, DI  
A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Satakunnankatu 23 A  
FI-33210 Tampere, Finland  
ilari.pirhonen@ains.fi

Ville Laine, DI  
A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Satakunnankatu 23 A  
FI-33210 Tampere, Finland  
ville.laine@ains.fi

ISBN Numero ISBN 952-9683-35-9.

# Fin plate -liitosten kiertymiskyvyn ja sitkeyden varmentaminen

Ilari Pirhonen<sup>1</sup>, Ville Laine

<sup>1</sup> Vastuullinen kirjoittaja [ilari.pirhonen@ains.fi](mailto:ilari.pirhonen@ains.fi)

# Sisällysluettelo

5	Esipuhe
6	Tiivistelmä
6	Johdanto
7	Sitkeys teräsrakenteiden suunnittelukriteerinä
8	Ripalevyliitoksen sisäiset voimasuureet
9	Reunapuristusmyötääminen sitkeyden perusteena
10	Kiertymiskyvyn laskentamenettely
12	Kiertymiskyvyn ratkaiseminen komponenttimenetelmällä
14	Kiertymiskyvyn parantaminen pidennetyillä rei'illä
15	Kaksileikkeinen liitos
15	Vertailulaskelmat elementtimenetelmällä
16	FEM: IPE400 4M24 -liitos
19	FEM: Hitsattu profiili, ruuvit 12M30
21	Yhteenveto
22	Suosittelava mitoitusprosessi
23	Lähteet

# Esipuhe

Teräsrakenneyhdistys ry julkaisee sarjassa ”teknisiä julkaisuja” viimeaikaisista tutkimuksista, oppilaitosten lopputöistä sekä teräsrakentamisen T&K päivien ja muista merkittävistä teräsrakentamisen esitelmistä laadittuja artikkeleita. Nämä tekniset julkaisut on tarkoitettu levittämään tietoa erityisesti suomalaisten teräsrakennesuunnittelijoiden keskuuteen alalla tapahtuvasta kehityksestä suunnittelu- menetelmien osalta.

Kaikkia teknisissä julkaisuissa esitetyjä menetelmiä ei välttämättä ole vielä julkaisuvaiheessa koeteltu laajasti käytännön suunnittelussa, mutta ne tarjoavat joka tapauksessa uuden mahdollisen menetelmän, näkökulman tai tulkinnan teräsrakennesuunnittelijan arkipäivään.

Teknisen julkaisun sisältö on tarkastettu huolellisesti, mutta kuten aina inhimillisessä toiminnassa, julkaisuun on saattanut jäädä virheitä. Ristiriitatapauksissa on luonnollisesti käytettävä standardin tai lain ja asetuksen mukaista menettelyä. Teräsrakenneyhdistys ry tai kirjoittajat eivät vastaa teknisissä julkaisuissa esitettyjen ohjeiden soveltamisesta aiheutuvista välittömistä tai välillisistä vahingoista. Sarjassa ”tekniset julkaisut” julkaistut artikkelit ovat luonteeltaan ohjeellisia

# Tiivistelmä

Tämä artikkeli perustuu kirjoittajan diplomityöhön [1]. Työssä kehitettiin uudenlainen menetelmä varmentaa ripalevyliitoksen riittävä sitkeys ja kiertymiskyky. Kehitetyllä laskentamenetelmällä voidaan täydentää tai korvata kirjassa ECCS No 126 esitetty vastaava menettely. Laskentaparametrit varmen-  
nettiin käyttäen epälineaarista FEM-laskentaa. Artikkelin lopussa esitellään suositeltava ripalevyliitok-  
sen mitoitusprosessi, jossa kiertymiskyky ja sitkeys on otettu huomioon.

Avainsanat: Fin plate, ripalevy, sitkeys, kiertymiskyky, kiertymisjäykkyys

## Johdanto

Ripalevyliitoksia (fin plate connection, kuva 1) käsitellään rungon globaalissa tarkastelussa tavallisesti nivelinä. Todellisuudessa ruuviryhmällä on kuitenkin liitoksen mitoituksen kannalta merkittävä kier-  
tymisjäykkyys ja momenttikapasiteetti, minkä vuoksi todellisten ruuvivoimien laskeminen on vaikea  
tehtävä. Kantavan rakenneosan ja ruuvikokoonpanon kiertymisjäykkyydet yhdessä määräävät todelli-  
sen momenttikuvion muodon. Jotta liitos ei menettäisi kantokykyään enneaikaisesti palkin pakottaman  
kiertymän takia, liitoksella on oltava riittävä sitkeys ja kiertymiskyky. Sitkeän liitoksen suunnittelussa  
avainasemassa on oikeiden ruuvikokojen ja levypaksuuksien valinta siten, että reunapuristusmyötää-  
minen on mahdollista ennen kuin ruuvit leikkaantuvat.

Kirjassa ECCS No 126 [6] on esitetty eräs eurokoodipohjainen ripalevyliitoksen kiertymiskyvyn ja  
sitkeyden varmentamismenettely. Siinä ruuvikokoonpanoa kuormitetaan puhtaalla taivutusmomen-  
tilla ja määrätään murtotapa sitkeäksi. Reunapuristusmyötäämisen ollessa sitkeyden perustana on  
epäselvää, kuinka suuri muodonmuutos reiälle voidaan sallia, kun reunapuristuskestävyys Eurokoodin  
mukaan laskettuna on pienempi kuin ruuvin leikkauskestävyys. Ljubljanan yliopistossa tehtyjen tutki-  
musten [4] mukaan Eurokoodin mukainen reunapuristuskestävyys on konservatiivisella puolella, mikä  
sitkeyden kannalta johtaa epävarmalle puolelle. Erityisesti kysymys koskee korkeita liitoksia, joissa  
pienikin kiertymä vaatii suuren muodonmuutoksen kauimpana ruuviryhmän painopisteestä olevissa  
rei'issä.



**Kuva 1:**  
Ripalevyliitos.

# Sitkeys teräsrakenteiden suunnittelukriteerinä

Sanalla sitkeys viitataan tässä artikkelissa englannin kielen sanaan *ductility*, joka kuvaa materiaalin muodonmuutoskykyä myötäämisen alkamishetken ja varsinaisen murtumisen välillä [2]. Useimmiten kirjallisuudessa kuvataan plastiseen muodonmuutokseen liittyvää sitkeyttä kaavalla

$$\mu = \frac{\text{muodonmuutos murtotilassa}}{\text{muodonmuutos myötön alkaessa}} \quad (1)$$

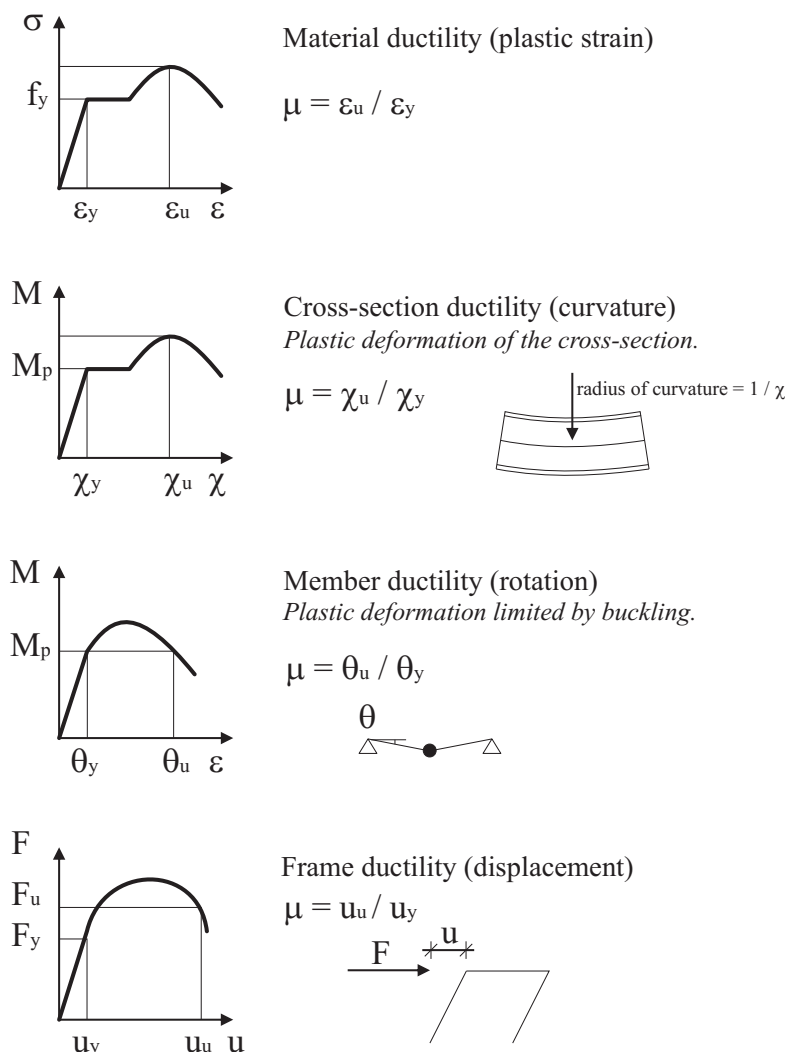
Sitkeyden olemassaolo edellyttää, että on oltava todettavissa rajajännitys, jossa myötääminen alkaa ja jonka jälkeen materiaali voi venyä plastisesti menettämättä lujuuttaan. Määritelmä on käyttökelpoinen rakennehierarkian kaikilla tasoilla, mutta mitattava muodonmuutossuure riippuu tarkasteltavasta tasosta. Kuvassa 2 on koottuna esimerkkejä sitkeyden mittaamisesta muutamilla rakennehierarkian tasoilla [3]. Materiaalitasolla sitkeys mittaa käytännössä jännitys-venymäkäyrän pituutta kimmoisen alueen jälkeen.

On monia syitä, miksi sitkeys vähenee siirryttäessä rakennehierarkiassa ylöspäin [3]. Yksi selitys voisi olla, että kaikkien alempien tasojen haurautta aiheuttavat ominaisuudet kumuloituvat ylemmille hierarkiatasoille. Korkeimmalla tasolla rakennehierarkiassa (rakennuksen runko) on kertyneenä kaikkien alempien tasojen haurautta aiheuttavat ominaisuudet. Materiaali- ja liitostasoilla sitkeys on siis avainasemassa rakennekokonaisuuksien sitkeyttä tarkasteltaessa.

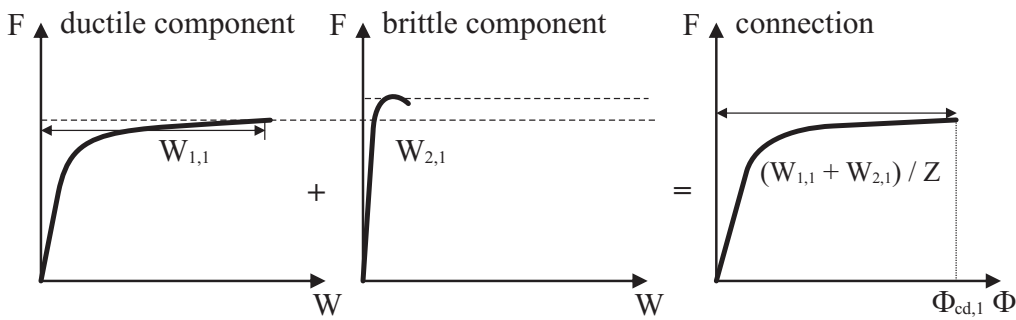
Sitkeyden ollessa liitosten suunnitteluperusteena perusajatus on suunnitella hauraat komponentit sitkeitä komponentteja vahvemmiksi. Ripalevyliitoksen kiertymissitkeyttä tarkasteltaessa olennainen sitkeä komponentti on reunapuristuskestävyys, joka tulisi suunnitella ruuvin leikkauskestävyyttä heikommaksi.

**Kuva 2**

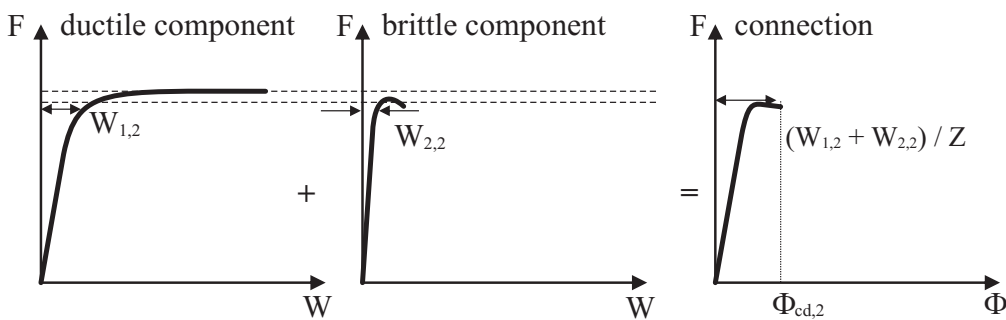
Esimerkkejä sitkeyden mittaamisesta rakennehierarkian eri tasoilla.



Sitkeän komponentin ylikuormitus voi johtaa hauraaseen lopputulokseen kuten kuvassa 3 on esitetty. Tuote- ja materiaalistandardit määrittelevät useimmiten materiaalin mekaanisille ominaisuuksille vähimmäisarvot, mutta eivät ylärajoja. Yleensä ylikuormitus lisää varmuutta, mutta pahimmillaan se voi johtaa kuvan 3 mukaiseen tilanteeseen, jossa standardin mukaisen lujuuden mukaan sitkeäksi suunniteltu liitos onkin todellisuudessa hauras. Materiaalin ylikuormitusta myöntämisen suhteen voidaan tarvittaessa arvioida käyttäen maanjäristysnormien ylikuormituskertoimia. Standardissa EN 1998-1 ylikuormituskertoimen suositusarvo on 1,25.



a) nominal values of strength

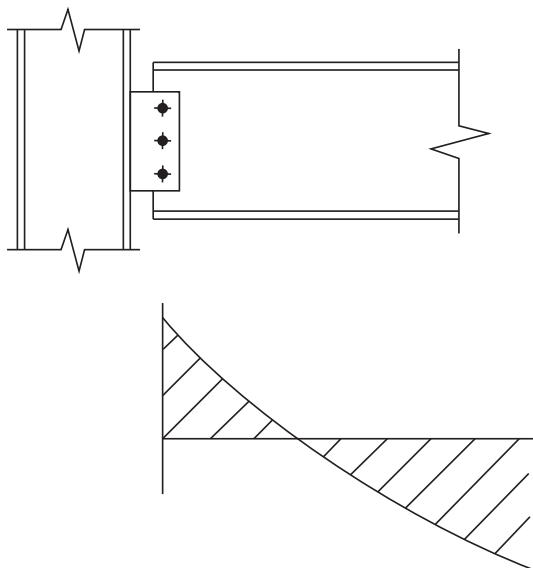


b) actual values of strength

**Kuva 3**  
Ylikuormituksen vaikutus  
sitkeyssuunnittelussa. [7]

## Ripalevyliitoksen sisäiset voimasuureet

Ripalevyliitoksella on kiertymisjäykkyys  $S$ , johon vaikuttaa eniten ruuviryhmän korkeus. Kuvassa 4 on esitetty palkin tyypillinen taivutusmomenttipinta liitosalueella.



**Kuva 4**  
Taivutusmomentti-  
kuvaaja liitosalueella.  
[8]

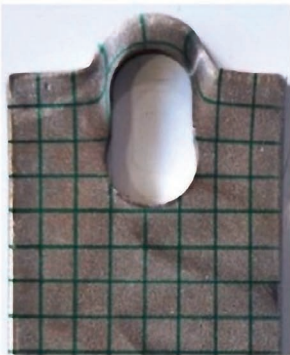


Kirjan ECCS No 126 mitoitusmenetellessä ruuviryhmälle kohdistetaan kuvitteellinen taivutusmomentti  $V_{Ed} \cdot z$ , jossa  $z$  on etäisyys ruuviryhmän keskeltä pilarin laipan ulkopintaan. Ruuvivoimat ratkaistaan käyttämällä kimmoista voimajakamaa. [6] Leikkaus- ja normaalivoima jaetaan yleensä ruuveille tasan. Diplomityössä kuitenkin osoitettiin FEM-laskelmin, että korkeiden liitosten tapauksessa liitoksen leikkausvoiman jakautuminen ruuveille noudattaa palkin uuman leikkausjännitys jakaamaa. Korkeussuunnassa keskialueen ruuvit ottavat siis suuremman osuuden liitoksen leikkausvoimasta kuin ylimpien ja alimpien rivien ruuvit.

## Reunapuristusmyötääminen sitkeyden perusteena

Käytännöllisin tapa varmentaa ripalevyliitoksen sitkeys ja kiertymiskyky on hyödyntää reunapuristusmyötäämistä. Suunnittelijan tulisi ymmärtää perusasiat reunapuristumurrin mekaniikasta. Reunapuristukselle tunnetaan kolme perusmurtotapaa, jotka on esitetty kuvassa 5. Leikkausmurto (*shear failure*) on puhtaasti reunapuristustyyppinen murtotapa, kun taas halkaisumurto (*splitting failure*) on nettopoikkileikkausmurrin ja leikkausmurrin välimuoto. Nettopoikkileikkausmurrissa reiän piteneminen murtorajatilassa jää selvästi pienemmäksi, sillä plastiset muodonmuutokset keskittyvät pienelle alueelle ja levy kuroutuu reiän kohdalta. Murtotavan ollessa leikkaus- tai halkaisumurto reiän piteneminen on murtorajatilassa suurin piirtein ruuvin halkaisijan suuruinen. [4]

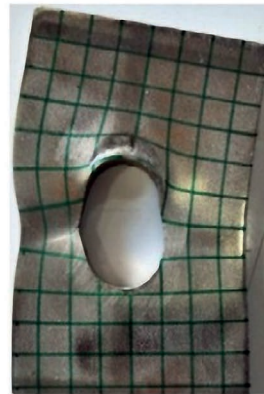
Shear failure



Splitting failure



Net cross-section failure



Kuva 5  
Reunapuristuksen murtotavat. [4]

Ljubljanan yliopistossa tehtyjen tutkimusten [4] perusteella näyttäisi, että Eurokoodin mukaan lasketut reunapuristuskestävyydet ovat erityisesti suurilla reunaetaisyyksillä huomattavasti konservatiivisella puolella. Kuormituskokeissa saavutettiin jopa yli  $5f_{t,c}$ :n suuruisia reunapuristusjännityksiä Eurokoodin mukaisen maksimin ollessa  $2,5f_{t,c}$ . Tutkimukseensa perustuen Primoz Može on tehnyt standardiin EN 1993-1-8 muutosehdotuksen, jossa uudistettaisiin Eurokoodin reunapuristuskestävyyden laskenta. Hänen ehdottamallaan uudella laskentakaavalla saatava kestävyys vastaisi halkaisumurtokestävyyttä, ja sillä saataisiin useimmissa tapauksissa ainakin 20 %, mutta suurilla reuna- ja keskiöetaisyyksillä jopa 100 % suurempia kestävyksiä nykyiseen Eurokoodiin verrattuna.

Jos sitkeysheito  $F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$ , jossa  $F_{v,Rd}$  on ruuvin leikkauskestävyys  $F_{b,Rd}$  reunapuristuskestävyys, täytyy ja  $F_{b,Rd}$  on laskettu Možen ehdottamalla kaavalla, voitaneen todeta, että reiän piteneminen murtorajatilassa on ruuvin halkaisijan suuruinen. Käyttämällä Možen mukaista reunapuristuskestävyyttä sitkeyskriteerissä saadaan tulokseksi käytännön suunnittelutilanteiden kannalta useimmiten liian ohuita levyjä ja liian suuria ruuveja. Jotta suunnittelussa ei ajauduttaisi umpikujaan, olisi sitkeysheito parempi pitäytyä Eurokoodin mukaisessa reunapuristuskestävyydessä. Suunnittelijan on kuitenkin tiedostettava, että Eurokoodin mukainen reunapuristuskestävyys ei ole ideaaliplastisen voima-muodonmuutoskuvaajan taitekohta. Vaikka sitkeysheito toteutuisi on todennäköistä, että ruuvin leikkauskestävyys on todellisuudessa reunapuristuskestävyyttä heikompi ja reiän piteneminen ruuvin murtuessa vähäinen. Diplomityössä tehtyjen FEM-laskelmien perusteella näyttäisi, että reiän piteneminen murtorajatilassa olisi noin  $0,1d$ , kun  $F_{v,Rd} = F_{b,Rd}$  Eurokoodin mukaan lasketuilla kestävyyksillä.

Ripalevyliitoksessa myötääminen alkaa ylimmästä ruuvirivistä, missä momentin aiheuttama ruuvivoima on kohti ripalevyn tai palkin uuman pystyreunaa. Ruuvien reunaetäisyys pystyreunaan ja ruuvien keskinäinen etäisyys vaakasuunnassa tulisi valita siten, että kaikille ruuveille toteutuu ehto  $F_{v,Rd} \geq F_{b,hor,Rd}$ , jossa *hor* viittaa reunapuristuskestävyyteen vaakasuunnassa. Ehto on useimmiten helpoin täyttää palkin uumalle, sillä vakioprofiilien uumat ovat ohuempia kuin tyypillisesti käytettävät liitoslevyt.

## Kiertymiskyvyn laskentamenettely

Seuraavaksi esitettävä laskentamenettely kehitettiin diplomityössä [1] eikä vastaavaa tietävästi ole esitetty muussa kirjallisuudessa. Menetelmän laskukaavat on johdettu yksileikkiselle liitokselle. Ennen kiertymiskyvyn laskemista tietyjen perusehtojen tulee täytyä. Ensinnäkin ruuvien koko sekä reuna- ja keskiöetäisyydet vaakasuunnassa valitaan siten, että sitkeyshehto  $F_{v,Rd} \geq F_{b,hor,Rd}$  täyttyy palkin uumassa. Sitkeysheidon täyttävä ruuvien maksimietäisyys uuman pystyreunaan vaakasuunnassa on

$$e_{x,max,w} = \frac{3d_0 F_{v,Rd} \gamma_{M2}}{k_1 f_u d t_w} \quad (2)$$

ja ruuvien välinen etäisyys vaakasuunnassa

$$p_{x,max} = \frac{3d_0 F_{v,Rd} \gamma_{M2}}{k_1 f_u d t_w} + \frac{3d_0}{4}, \quad (3)$$

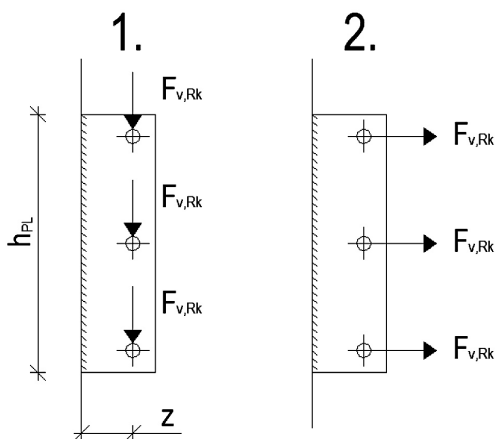
joissa  $t_w$  on uuman paksuus ja  $d_0$  reiän nimellishalkaisija. Pystysuuntaisia etäisyyksiä ei tarvitse ottaa huomioon, kun valitaan  $k_1 = 2,5$ .

Ripalevyn stabiilisuusiilmiöt poissuljetaan valitsemalla vähintään muunnettua hoikkua  $\bar{\lambda} = 0,2$  vastaava levynpaksuus

$$t_{min} = \sqrt{\frac{12 f_y L_{cr}^2}{0,2^2 \pi^2 E}} \quad (4)$$

Nurjahduspituus  $L_{cr}$  mitataan pilarin laipan ulkopinnasta lähimpään ruuvipystyryviin, kun palkki on tuettu poikittaissuunnassa. Muulloin on varmalla puolilla kertoa kyseinen mitta kahdella. Tapauskoh- taista harkintaa voidaan käyttää.

Pilarin ja levyn välinen hitsi mitoitetaan täyslujaksi. Täyslujuuden kriteerinä voidaan käyttää levyn myötäämistä vedosta, mikä saattaa tuottaa kohtuuttoman suuren hitsin. Vaihtoehtoisesti hitsi voidaan mitoittaa ruuvien yhteenlasketulle ominaiskestävyydelle, jolloin tarkastetaan kaksi kuormitustapausta kuvan 6 mukaisesti. Ensimmäisessä tapauksessa hitsin voimissa tulee ottaa huomioon leikkausvoima ja taivutusmomentti epäkeskisyydestä  $z$ , toisessa tapauksessa on puhdas veto.



**Kuva 6**  
Hitsin mitoittaminen ruuvien yhteenlasketulle ominaiskestävyydelle. [4]

Ruuvien lukumäärä  $n$  valitaan siten, että leikkauskestävyys on vähintään

$$F_{v,Rd} = \sqrt{\left(\frac{1,5V_{Ed}}{n}\right)^2 + \left(\frac{N_{Ed}}{n}\right)^2}. \quad (5)$$

Kaavalla (5) otetaan huomioon liitoksen leikkausvoiman epätasainen jakautuminen ruuveille.

Kiertymiskyvyn laskentakaavan johtaminen alkaa ruuvien käyttöasteen tarkastelusta. Leikkaus- ja normaalivoima jaetaan ruuveille tasan, ja tarkastetaan, paljonko kiertymän vaatimaan reiän vakaa-suuntaiseen muodonmuutokseen on kapasiteettia käytettävissä. Ruuvien leikkaantumisen käyttöaste voidaan ilmaista vaak- ja pystysuuntaisten käyttöasteiden neliösummana

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,ver,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,hor,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2} \leq 1, \quad (6)$$

jossa alaindeksit *hor* ja *ver* viittaavat ruuvivoiman pysty- ja vaakasuuntaan.

Ruuvien käyttöaste pystysuunnassa saadaan jakamalla leikkausvoima ruuveille tasan. Ruuvien käyttöaste vaakasuunnassa voidaan ilmaista reiän muodonmuutoksen ja murtorajatilaa vastavan muodonmuutoksen suhteella, kun voima-muodonmuutosvaste yksinkertaistetaan lineaarisesti. Normaalivoiman käyttöaste voidaan ottaa huomioon jakamalla se ruuveille niin ikään tasan. Rajatilassa, jossa pultin leikkauskestävyys ylittyy, on voimassa yhtälö

$$\sqrt{\left(\frac{V_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_{0,x,max}}{\Delta d_{0,x,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}}\right)^2} = 1. \quad (7)$$

Termi  $\Delta d_{0,x,Rd}$  tarkoittaa reiän muodonmuutosta murtorajatilassa pelkälle vaakasuuntaiselle ruuvi-voimalle. Termi  $\Delta d_{0,x,max}$  tarkoittaa suurinta mahdollista reiän muodonmuutosta, joka on käytettävissä liitoksen rotaatioon, kun liitoksen leikkaus- ja normaalivoima on otettu huomioon. Kaavasta (7) ratkaistaan

$$\Delta d_{0,x,max} = \Delta d_{0,x,Rd} \left( \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}}\right)^2} - \frac{N_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} \right). \quad (8)$$

Ruuviryhmän kiertymiskyky voidaan laskea, kun ratkaistaan kaavalla (8) ylimmän ja alimman reiän suurimmat mahdolliset rotaatioon käytettävissä olevat muodonmuutokset. Ylimmälle reiälle käytetään merkintää  $\Delta d_{0,x,max,1}$  ja alimmalle  $\Delta d_{0,x,max,2}$ . Ylimmälle ja alimmalle reiälle ei voida käyttää samaa arvoa, sillä alimmassa rivissä rotaation aiheuttama ruuvivoima on palkin uuman pystyreunasta pois-päin. Tällöin reunaetäisyys voiman suunnassa on ääretön eikä sitkeyshehto ole voimassa. Diplomityön FEM-laskelmissa todistettiin, että sitkeysheidon toteutuessa ja puhtaalla vaakasuuntaisella kuormituksella reiän muodonmuutos on 10 % ruuvien nimellishalkaisijasta. Jakamalla osavarmuusluvulla saadaan ylimmän reiän  $\Delta d_{0,x,Rd}$  -arvoksi

$$\Delta d_{0,x,Rd1} = \frac{0,1d}{\gamma_{M2}}. \quad (9)$$

Alimman reiän  $\Delta d_{0,x,Rd}$  -arvo voidaan ratkaista EN 1993-1-8 mukaisella komponenttimenetelmällä. Uuman reunapuristuskomponentin jousijäykkyys äärettömällä reunaetäisyydellä on

$$k_w = 30 \cdot \min\left(1,5 \frac{t_w}{16 \text{ mm}}; 2,5\right) d f_u. \quad (10)$$

Ruuvien murtoa vastaava reiän muodonmuutos on

$$\Delta d_{0,x,Rd,2} = \frac{F_{v,Rd}}{k_w}, \quad (11)$$

jossa osavarmuusluku sisältyy ruuvin leikkauskestävyyteen. Liitoksen kiertymiskapasiteetti on kuvan 5 mukaisesti

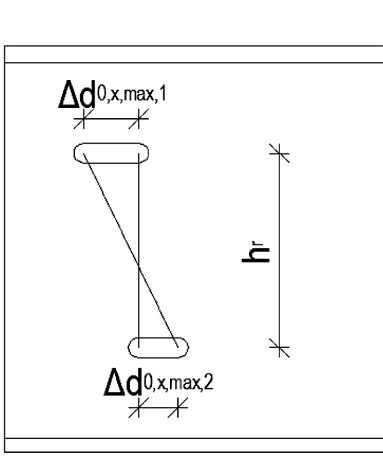
$$\varphi_{Rd} = \frac{1}{\eta_w} \frac{(\Delta d_{0,x,max,1} + \Delta d_{0,x,max,2})}{h_r}, \quad (12)$$

jossa  $h_r$  on ruuviryhmän korkeus ja  $\eta_w$  uuman reikien muodonmuutoksen osuus liitoksen kokonaiskiertymästä. Uuman reikien muodonmuutoksen osuus riippuu liitoslevyjen ja uuman paksuuksien suhteesta, ruuvin halkaisijasta ja reunaetäisyyksistä. On kuitenkin selvää, että myötäämisen tapahtuessa vain uuman rei'issä ne muodostavat liitoksen kiertymiskyvystä suurimman osan. Diplomityössä havaittiin, että uuman reikien osuus vaihtelee todellisuudessa suuresti ja todettiin, että valitsemalla arvo  $\eta_w = 80 \%$  päädytään suurimmassa osassa käytännön laskentatapauksia varmalle puolelle.

Kiertymiskyky on riittävä, kun ehto

$$\frac{\varphi_{Ed}}{\varphi_{Rd}} \leq 1 \quad (13)$$

täyttyy. Termi  $\varphi_{Ed}$  tarkoittaa kiertymän mitoitusarvoa murtorajatilan kuormitusyhdistelmällä.



**Kuva 7**

Liitoksen kiertymiskapasiteetin määrittämisen, kun ylimmän ja alimman reiän rotaatioon käytettävissä olevat muodonmuutokset tunnetaan.

## Kiertymiskyvyn ratkaiseminen komponenttimenetelmällä

Suunnittelussa voi tulla vastaan tilanne, jossa reunapuristuksen sitkeysheidon toteuttaminen ei ole mahdollista. Tällöin kiertymiskyky voidaan ratkaista käyttämällä komponenttimenetelmää myös ylimmälle ruuviriville. Komponenttimenetelmällä laskettavat reiän suurimmat mahdolliset muodonmuutokset ovat niin pieniä, että kannattaa hyödyntää myös ripalevyn reunapuristuskomponentin ja ruuvin leikkauskomponentin mahdollistama muodonmuutos.

Ruuvin leikkauskomponentin jousijäykkyys lasketaan kaavalla

$$k_{bolt} = \frac{16d^2 f_u}{16 mm}. \quad (14)$$

Ylimmän ruuvin kohdalla ripalevyn ja uuman reunapuristuskomponenttien jäykkyydet lasketaan kaavalla

$$k_{p1,w1} = 24 k_b k_t d f_u. \quad (15)$$

Reunaetäisyyden huomioioon ottava termi  $k_b$  lasketaan yhden pystyrivin tapauksessa kaavalla

$$k_b = \min\left(\frac{0,25e_x}{d} + 0,5; 1,25\right) \quad (16)$$

ja kahden tai useamman pystyvirin tapauksessa

$$k_b = \max\left(\min\left(\frac{0,25e_x}{d} + 0,5; 1,25\right); \min\left(\frac{0,25p_x}{d} + 0,375; 1,25\right)\right). \quad (17)$$

Mitat  $e_x$  ja  $p_x$  tarkoittavat ruuvien vaakasuuntaisia reuna- ja keskiöetäisyyksiä. Mitta  $e_x$  voi olla eri suuruisen uumalle ja ripalevyille. Materiaalin paksuuden huomioon ottava termi lasketaan kaavalla

$$k_t = \min\left(\frac{1,5t}{16 \text{ mm}}; 2,5\right), \quad (18)$$

jossa  $t$  on uuman tai ripalevynlevyn paksuus. Ripalevyn ja uuman reunapuristuskomponentit alimmalle ruuville  $k_{p2}$  ja  $k_{w2}$  lasketaan kaavalla (10) käyttäen asianomaista levynpaksuutta.

Ylimmän ruuvirivin kohdalla ruuvin leikkaantumista vastaava suurin mahdollinen vaakasuuntainen kokonaismuodonmuutos pelkälle vaakasuuntaiselle voimalle on

$$\Delta_{tot,x,Rd,1} = \frac{F_{v,Rd}}{k_{w1}} + \frac{F_{v,Rd}}{k_{p1}} + \frac{F_{v,Rd}}{k_{bolt}} \quad (19)$$

ja alimman rivin kohdalla

$$\Delta_{tot,x,Rd,2} = \frac{F_{v,Rd}}{k_{w2}} + \frac{F_{v,Rd}}{k_{p2}} + \frac{F_{v,Rd}}{k_{bolt}}. \quad (20)$$

Kun ruuveille tasan jaetun normaali- ja leikkausvoiman vaikutus otetaan huomioon, rotaatioon käytettävissä oleva kokonaismuodonmuutos ylimmän rivin kohdalla on

$$\Delta_{tot,x,max1} = \Delta_{tot,x,Rd,1} \left( \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}}\right)^2} - \frac{N_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} \right) \quad (21)$$

ja alimman rivin kohdalla

$$\Delta_{tot,x,max2} = \Delta_{tot,x,Rd,2} \left( \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}}\right)^2} - \frac{N_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} \right). \quad (22)$$

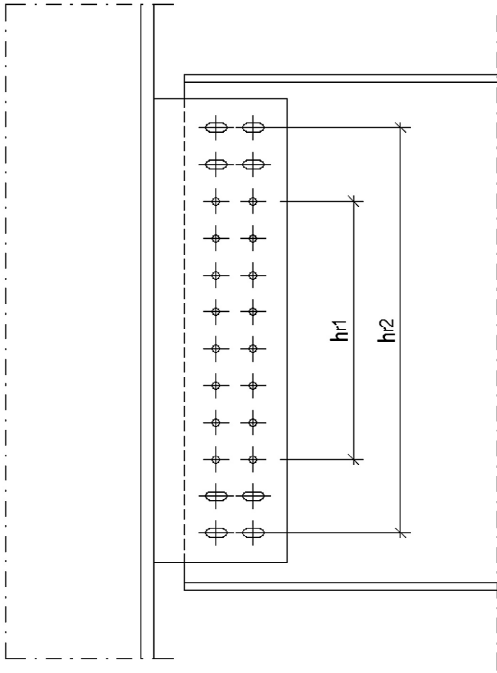
Liitoksen kiertymiskyky lasketaan kaavalla

$$\varphi_{Rd} = \frac{(\Delta_{tot,x,max1} + \Delta_{tot,x,max2})}{h_r}. \quad (23)$$

Myös sitkeysheidon toteuttavan liitoksen kiertymiskyky voidaan määrittää ylimmän ruuvirivin uuman reunapuristuskomponenttia lukuun ottamatta kokonaan komponenttimenetelmällä. Tällöin kaavassa (2) termi  $F_{v,Rd} / k_{w1}$  korvataan kaavalla (9). Hyödyntämällä komponenttimenetelmää kaikkiin mahdollisiin komponentteihin päästään eroon termistä  $\eta_w$  ja saadaan tarkempi tulos.

# Kiertymiskyvyn parantaminen pidennetyillä rei'illä

Korkeiden palkkien liitoksissa riittävän kiertymiskyvyn saavuttaminen voi olla vaikeaa. Kun käytetään pidennettyjä reikiä ylimmissä ja alimmissa riveissä, pienennetään merkittävästi ruuviryhmän momenttia vastustavan osan korkeutta. Kuvan 8 liitoksessa kaksi ylintä ja kaksi alinta riviä on tehty soikeilla rei'illä. Paras mahdollinen liikkumavara saavutetaan, kun soikeat reiät tehdään sekä uumaan, että ripalevyyn.



**Kuva 8**

Korkea liitos, jossa kiertymiskykyä on parannettu käyttämällä pidennettyjä reikiä kahdessa ylimmissä ja alimmissa ruuvirivissä.

Pidennettyjä reikiä käytettäessä kiertymiskyky tulee tarkastaa erikseen normaalireikäiselle ruuviryhmän osalle, jonka korkeus on  $h_{r1}$ , sekä ruuviryhmän täydelle korkeudelle  $h_{r2}$ . Tarkasteltaessa normaalireikäisen ruuviryhmän osan kiertymiskykyä, edellä esitettyjä menetelmiä voidaan käyttää, kun kaavojen (8), (21) ja (22) normaalivoiman käyttöasteessa  $N_{Ed} / (n \cdot F_{v,Rd})$  ja kaavan (5) termissä  $N_{Ed} / n$  ruuvien lukumäärän  $n$  paikalla käytetään normaaleissa rei'issä olevien ruuvien lukumäärää.

Kun kiertymiskykyä tarkastetaan täydelle korkeudelle  $h_{r2}$ , kannattaa ensin tarkistaa riittääkö pidennetyistä reiästä saatava liikkumavara sellaisenaan riittävän kiertymän saavuttamiseen. Merkitään reiän pituutta vaakasuunnassa  $d_{0,x}$ . Pidennetyistä reiästä saatava liikkumavara on

$$\Delta_{slotted} = \frac{d_{0,x} - d_0}{2}, \quad (24)$$

jos pidennetyt reiät ovat joko ripalevyssä tai uumassa. Jos pidennetyt reiät ovat sekä ripalevyssä että uumassa, liikkumavara on

$$\Delta_{slotted} = 2 \cdot (d_{0,x} - d_0). \quad (25)$$

Reikien pidennysmitalla saatava kiertymiskyky on

$$\varphi_{slotted} = \frac{2 \cdot \Delta_{slotted}}{h_{r2}} \quad (26)$$

Mikäli pidennysmitasta saatava kiertymiskyky ei sellaisenaan riitä, voidaan siihen lisätä reunapuristuskomponenteista ja ruuvien leikkauskomponenteista saatava kiertymiskyky. Menettely on muuten sama kuin tavalliselle ruuviryhmälle, mutta kaavoista (8), (21) ja (22) poistetaan normaalivoiman käyttöaste  $N_{Ed} / (n \cdot F_{v,Rd})$ .

# Kaksileikkeinen liitos

Kaavassa (9) esitetty reiän suurin mahdollinen muodonmuutos sitkeysheidon toteutuessa määritettiin diplomityön FEM-vertailulaskemissa yksileikkeiselle liitokselle. Yksileikkeisen liitoksen epäkeskisyydestä johtuen ruuveille tulee merkittäviä vetovoimia, joiden takia ruuvien yhdistetty käyttöaste ylittää 100 % jo pienehkällä reiän muodonmuutoksella, vaikka sitkeysheito toteutuisikin. Kaksileikkeinen liitos, jossa ripalevyt ovat uuman molemmilla puolilla, on lujuusopillisesti parempi. Ruuvista voidaan hyödyntää kaksinkertainen kapasiteetti yksileikkeiseen verrattuna, ja sitkeysheito on helpompi saada toteutumaan. Lisäksi kaksileikkeinen liitos on keskeisesti kuormitettu, jolloin ruuvien muodonmuutokset ja vetovoimat jäävät pienemmiksi.

Hyödyllinen lisätutkimus olisi määrittää kaavassa (9) esitetty reiän muodonmuutos kaksileikkeiselle tapaukselle sellaisilla reuna- ja keskiöetäisyyksillä, joille sitkeysheito Eurokoodin mukaan juuri ja juuri toteutuu. Kaavassa (9) esitetty maksimimuodonmuutos on varmuudella konservatiivinen arvo kaksileikkeiselle liitokselle. Možen tutkimuksista [4] tiedetään, että yläraja on ruuvin halkaisijamitta  $d$ , mutta toisaalta tiedetään Eurokoodin olevan reunapuristuskestävyyden suhteen konservatiivisella puolella. Paremman tiedon puuttuessa kirjoittajan suositus on käyttää reiän muodonmuutoksena kaksileikkeisessä tapauksessa enintään

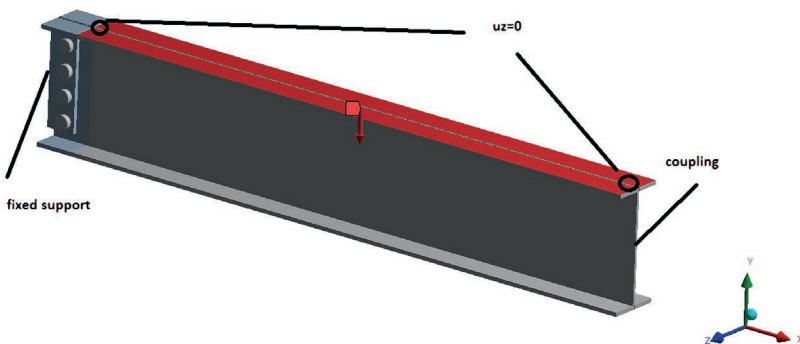
$$\Delta d_{0,x,Rd1} = 0,3d. \quad (27)$$

Tätä suuremmilla reiän muodonmuutoksen arvoilla voima-muodonmuutosvaste on jo niin lähellä ideaaliplastista, ettei kiertymiskyvyn laskentamenetelmää, joka perustuu reiän voima-muodonmuutosvasteen linearisointiin, voida pitää luotettavana.

## Vertailulaskelmat elementtimenetelmällä

Laskelmien tarkoitus oli vertailla ruuvivoimien jakautumista yleisiin suunnitteluoletuksiin ja löytää kiertymiskyvyn laskentamenettelyyn sopivat parametrit. Lisäksi vertailtiin liitosten FEM-laskennan mukaista kestävyyttä olemassa olevan MathCad-laskentapohjan mukaisiin kestävyyskäyriin. Käytetty laskentapohja perustui enimmäkseen kirjan ECCS No 126 mukaiseen mitoitusmenettelyyn. Analyysi tehtiin Ansys Mechanical R16.1 lujuuslaskentaohjelmistolla. Kaikki laskenta ja ruuvivoimien vertailu tehtiin ilman osavarmuuslukuja.

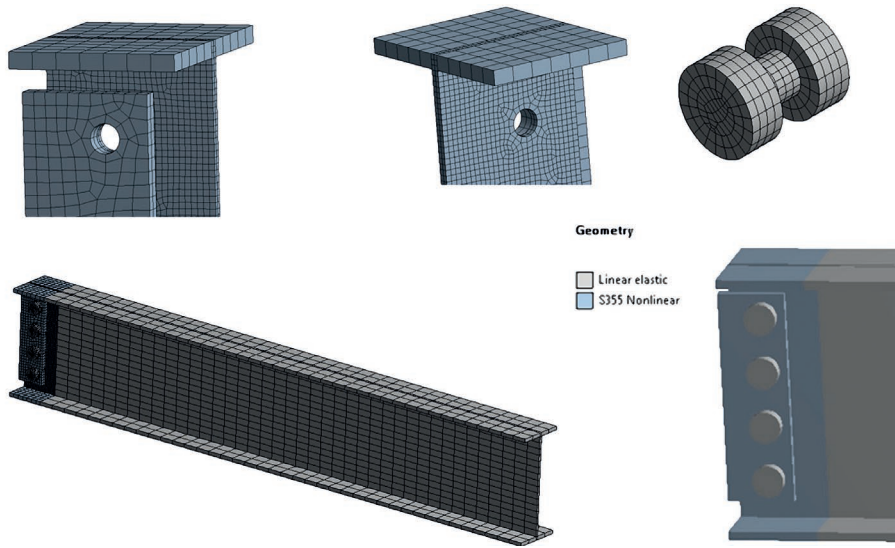
Käytetty rakennemalli on esitetty kuvassa 9. Palkki ja liitos mallinnettiin jännevälin puoleenväliin asti. Ripalevyn päässä käytettiin jäykkää tuentaa. Poikkileikkauksen kiertymä jännevälin keskellä lukiin. Ylälaipan siirtymä estettiin z-suunnassa liitosalueen vierestä ja jännevälin keskeltä. Ylälaippaan kohdistettiin tasainen askeleittain kasvava kuormitus.



**Kuva 9**

Liitoksen kiertymiskapasiteetin määrittäminen, kun ylimmän ja alimman ruuvin rotaatioon käytettävissä olevat muodonmuutokset tunnetaan.

Liitosalueella käytettiin uumalle ja ripalevyille ideaaliplastista materiaalia, jonka myötörajana käytettiin 355 MPa ja tangenttimoduulin arvona 0,5 MPa. Ruuveille ja liitosalueen ulkopuolisille palkin osille käytettiin lineaarisesti kimmoista materiaalia. Kaikkien käytettyjen materiaalien kimmokertoimena käytettiin 210 GPa. Malli verkotettiin 20-solmuisilla kvadraattisilla hexahedroneilla. Liitos alueella käytettiin tiheää verkotusta siten, että elementtejä oli vähintään kaksi levyn paksuuden yli. Materiaalirajat ja verkon yksityiskohtan on esitetty kuvassa 10.



**Kuva 10**  
Verkon yksityiskohtia ja materiaalirajat.

Ruuvien, ripalevyn ja palkin uuman keskinäiset kontaktit olivat kitkakontakteja, joiden kitkakerroimen arvona käytettiin 0,01 (lähes kitkaton). Ruuvivoimat mitattiin siten, että ruuvien leikkausvoima vastasi uuman reiän sisäpinnan kontaktivoiman resultanttia ja vetovoima uuman puoleisen kannan kontaktivoiman resultanttia. Eri verkotustiheyden tai materiaalin omaavien palkin osien välillä käytettiin bonded-tyyppisiä MPC-kontakteja (multipoint constraint equation).

## FEM: IPE400 4M24 -liitos

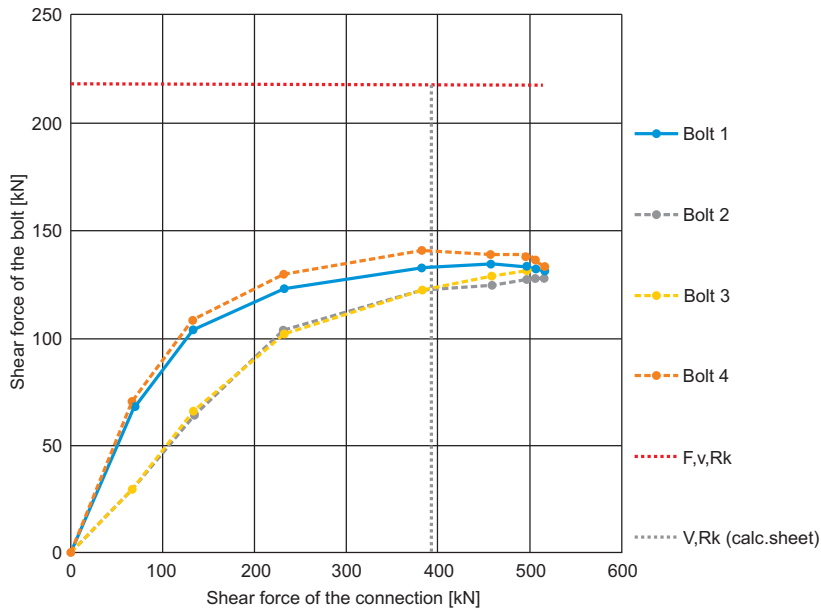
Ensimmäinen malli, joka on esitetty kuvissa 9 ja 10, oli IPE400 liitos 4M24 8.8 ruuveilla. Ripalevyn paksuus 15 mm valittiin siten, että levyn nurjahdus tai kiepahdus ei ole mahdollinen. Ruuvien reunaehtäisyys pystyreunasta oli 1,98d<sub>0</sub>, joka oli suurin mahdollinen reunapuristuksen sitkeyhdon täyttävä arvo. Laskentapohjan mukainen liitoksen leikkausvoimakestävyyden ominaisarvo oli 393 kN.

Ruuvien leikkaus- ja vetovoimat on esitetty kuvissa 11 ja 12, joissa ruuvien numerointi on ylhäältä alaspäin. Leikkauksen ja vetovoiman yhdistetty käyttöaste on esitetty kuvassa 13. Jos vain leikkausvoimat otetaan huomioon, liitos käyttäytyy hyvin sitkeästi eikä yhdenkään ruuvien mukainen ominaisleikkauskestävyys ylitä. Yksileikkisyydestä johtuen ruuvien pituus akseli kuitenkin kääntyy pois vaakatasosta aiheuttaen sen, että ruuvi kantaa kuormaa osittain vedolla. Pituus akselin kääntymisen yhdistettynä ruuvien estettyihin muodonmuutoksiin aiheuttavat ruuvien kannalle merkittävän kontaktivoiman.

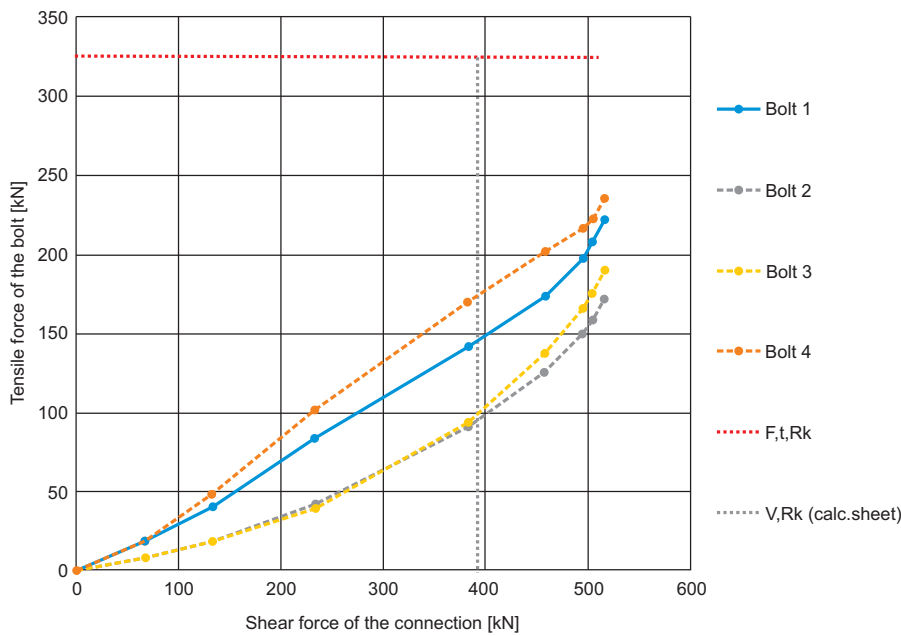


**Kuva 11**

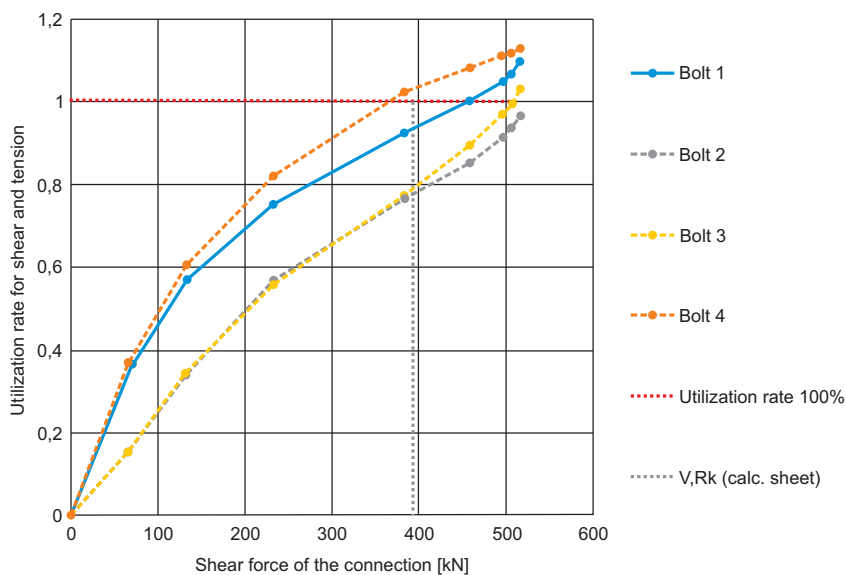
IPe400 4M24 -liitoksen ruuvien leikkausvoimat.

**Kuva 12**

IPe400 4M24 -liitoksen ruuvien vetovoimat.

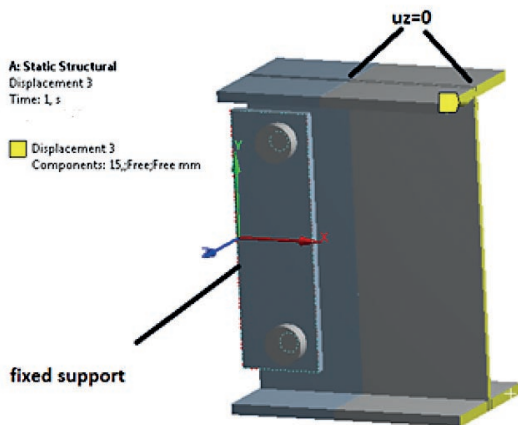
**Kuva 13**

Ruuvien käyttöasteet yhdistetylle vedolle ja leikkaukselle (EN 1993-1-8).



Leikkaus- ja vetovoimat ovat suurimmillaan alimmassa ruuvissa, missä ruvin käyttöaste ylitti 100 % liitoksen leikkausvoiman ollessa 375 kN. Siitä huolimatta, että liitos suunniteltiin reunapuristuksen suhteen sitkeäksi, liitoksen murtotapana näyttäisi olevan alimman ruvin murtuminen 5 % laskentapohjan arvoa pienemmällä liitoksen leikkausvoimalla. Uuman ylimmässä reiässä ovat suurimmat muodonmuutokset. Liitoksen leikkausvoiman arvolla 375 kN reiän muodonmuutos oli  $0,06d_0$ , josta vaakasuuntainen komponentti oli  $0,04d_0$ . Uuman reikien osuus liitoksen kokonaiskiertymästä oli 74 %.

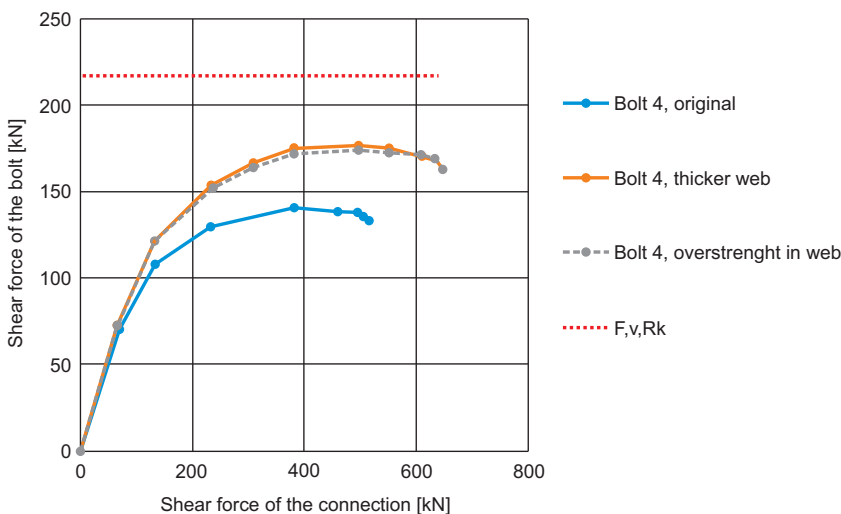
Jotta voitiin määrittellä uuman reikien suurin mahdollinen muodonmuutos ilman pystysuuntaisia ruuvivoimia, alkuperäinen malli muokattiin kuvan 14 mukaiseksi. Palkin pituutena käytettiin 300 mm, ja keskimmäiset ruuvit poistettiin. Laskenta suoritettiin siirtymäohjattuna. Lyhennetyn palkin pään koko poikkileikkauspintaan annettiin x-akselin suuntainen (palkin aksiaalisuunta) askeleittain kasvava pakkosiirtymä 1...15 mm siten, että se aiheuttaa liitokselle vetoa. Puristettu tapaus tutkittiin kääntämällä pakkosiirtymän suunta. Havaittiin, että ruvin saavuttaessa 100 % käyttöasteen, reikien muodonmuutos oli vedetyssä tapauksessa  $0,1d$  ja puristetussa  $0,033d$ . Komponenttimenetelmällä päädyttiin puristetussa tapauksessa arvoon  $0,03d$ .



**Kuva 14**

Muokattu malli, josta mitattiin uuman reikien muodonmuutosta, kun liitosta kuormitettiin pelkällä normaalivoimalla.

Riittämättömän sitkeyssuunnittelun vaikutuksia havainnollistettiin muokkaamalla kuvan 9 mukaisesta alkuperäisestä mallista versiot, joista toisessa uumaa paksunnettiin 25 % ja toisessa uuman myötölujuutta kasvatettiin 25 %. Kummallakaan muokkauksella ei juuri ollut vaikutusta ruuvien vetovoimiin, mutta ruvin leikkausvoiman huippuarvo kasvoi molemmissa tapauksissa 25 % (kuva 15). Seurauksena oli, että ruuvi saavutti 100 % käyttöasteen 25 % pienemmällä liitoksen leikkausvoimalla alkuperäiseen verrattuna. Tulos osoittaa, että materiaalin ylilujuus on todellinen ja merkittävä ongelma sitkeyssuunnittelussa.



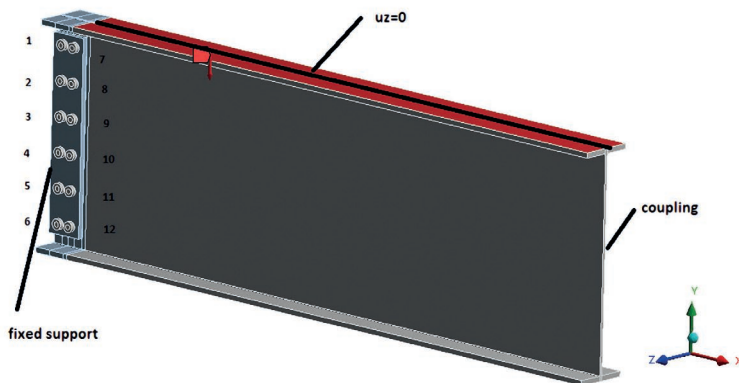
**Kuva 15**

Alimman ruvin leikkausvoima, kun uuman paksuutta tai myötörajaa kasvatettiin 25 %.

# FEM: Hitsattu profiili, ruuvit 12M30

Toisen laskentatapauksen tavoitteena oli määrittää kiertymiskyvyn laskentaparametrit kahden ruuvipystyriivin tapauksessa sekä tutkia liitoksen korkeuden ja ruuvien kaksirivisyyden vaikutusta ruuvivoimien jakautumiseen. Profiilin korkeus oli 1300 mm ja ruuviryhmän korkeus 1000 mm. Ripale-  
vyn stabiilisuusiilmiöt poissuljettiin paksuuden valinnalla. Reunaetäisyydeksi uuman pystyreunaan ja pystyriivien väliseksi etäisyydeksi valittiin suurimmat mahdolliset arvot, joilla sitkeysheito toteutuu.

Rakennemalli on esitetty kuvassa 16. Ylälaippa tuettiin z-suunnassa koko pituudeltaan. Liitoksen leikkausvoimakestävyyden ominaisarvo oli laskentapohjan mukaan 3353 kN.

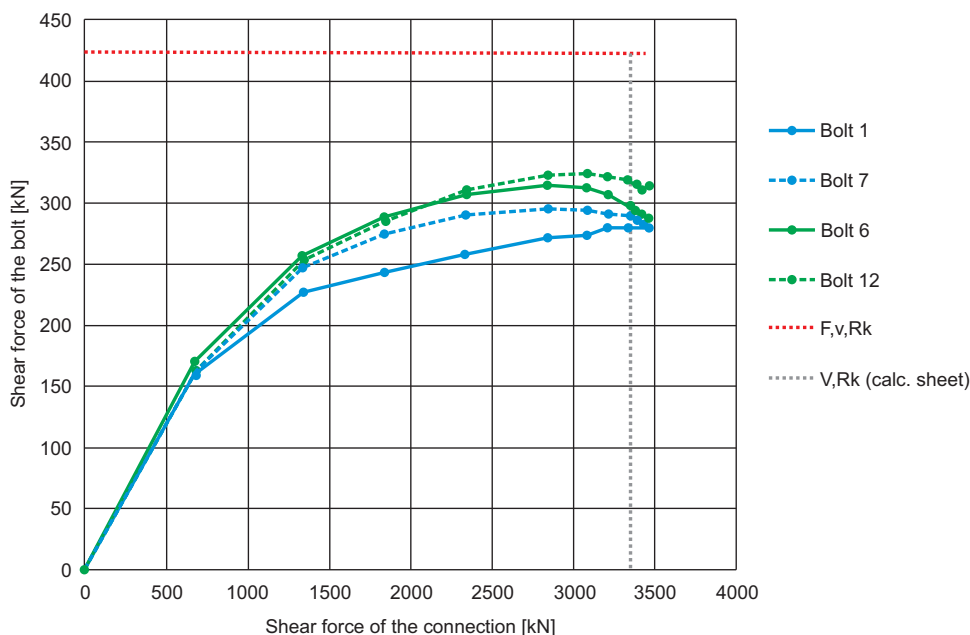


**Kuva 16**

Hitsatun profiilin rakennemalli ja ruuvien numerointi.

Kuvassa 17 on esitetty ruuvien leikkausvoimat ylimmässä ja alimmassa pystyriivissä. Tässäkin tapauksessa alimpaan riviin tuli suurimmat voimat. Oli havaittavissa, että sisemmän pystyriivin voimat olivat hieman suuremmat kuin uloimmassa rivissä, mikä johtuu liitoksen taivutusmomentista. Toisin kuin yhden pystyriivin tapauksessa, taivutusmomentti aiheuttaa ruuveille myös pienen pystysuuntaisen voimakomponentin, joka sisemmässä pystyriivissä vaikuttaa samaan suuntaan liitoksen leikkausvoiman kanssa ja ulommassa pystyriivissä vastakkaiseen suuntaan.

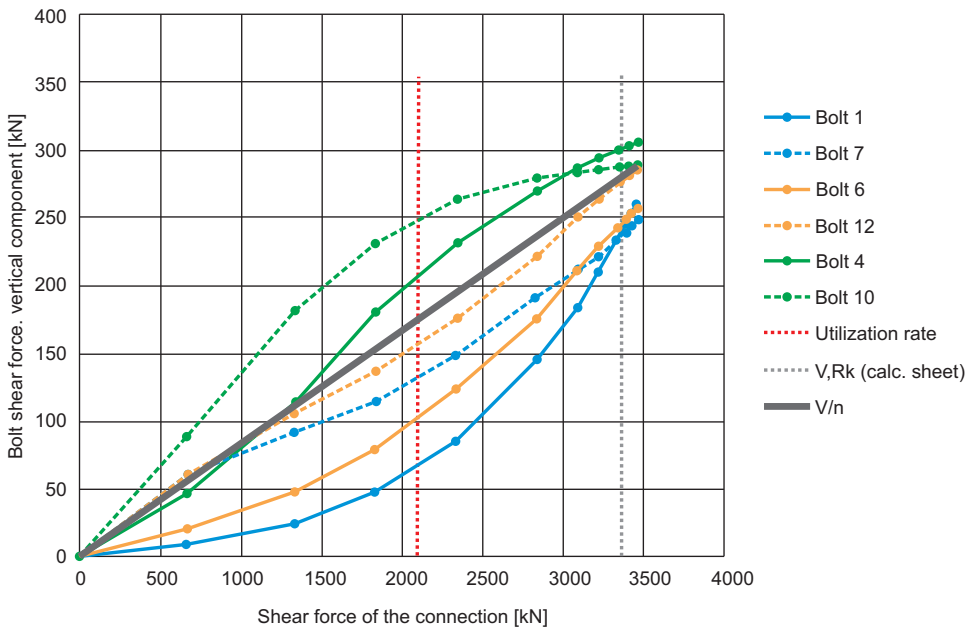
Kun tarkastellaan ruuvien yhdistettyä veto- ja leikkausrasitusta, ruuvien 12 käyttöaste ylitti 100 % liitoksen leikkausvoiman ollessa 2100 kN, mikä oli 37 % laskentapohjan mukaista kestävyyttä pienempi. Tällöin uuman osuus liitoksen kokonaiskiertymästä oli vain 50 %.



**Kuva 17**

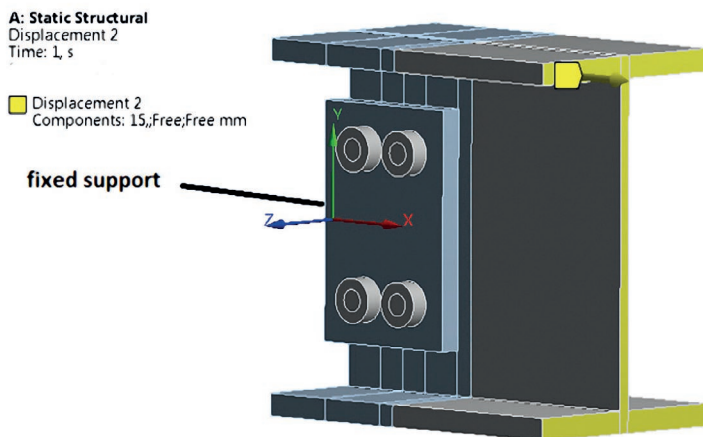
Ruuvien leikkausvoimat ylimmässä ja alimmassa vaakarivissä.

Kuvassa 18 on esitetty ruuvien leikkausvoiman pystykomponentit. Paksu lineaarinen viiva kuvaa keskimääräistä leikkausvoiman pystykomponenttia, joka on liitoksen leikkausvoima jaettuna ruuvien lukumäärällä. Kun ruuvien 12 käyttöaste ylitti 100 %, ruuvissa 10 vaikuttavan leikkausvoiman pystykomponentti oli 43 % keskimääräistä pystykomponenttia suurempi. Ylimmissä ja alimmissa ruuveissa pystykomponentti on selvästi keskimääräistä pienempi. Kuva 18 osoittaa, että liitoksen leikkausvoiman jakaantuminen ruuveille noudattaa profiilin leikkausjännitys jakauman muotoa. Kimmoteorian mukainen uuman leikkausjännitys on paraabeli, jonka huippuarvo (korkeuden puolivälissä) on 1,5-kertainen uuman keskimääräiseen leikkausjännitykseen nähden. Tällä analogialla voidaan päätellä, ruuviryhmän keskialueilla liitoksen leikkausvoiman aiheuttama ruuvivoiman pystykomponentti voi olla korkeintaan 1,5-kertainen keskimääräiseen pystykomponenttiin nähden. Leikkausvoiman jakautuminen ruuveille tasoittuu, kun pystysuuntaista reunapuristumyötäämistä tapahtuu. Alimpien ruuvien käyttöaste kuitenkin ylittyy ennen sitä.



**Kuva 18**  
Ruuvien leikkausvoimien pystykomponentit.

Uuman reikien suurimmat mahdolliset vaakasuuntaiset muodonmuutokset määritettiin samalla periaatteella kuin IPE400 -liitokselle. Muokattu rakennemalli on esitetty kuvassa 19. Keskimmäiset ruuvirivit poistettiin ja rakennetta madallettiin. Sekä vedetyssä että puristetussa tapauksessa sisempi ruuvi oli kriittinen. Käyttöasteen ylittäessä 100 % saavutettiin vedetyssä tapauksessa reiän muodonmuutos  $0,09d$  ja puristetussa  $0,04d$ .



**Kuva 19**  
Muokattu malli, josta mitattiin uuman reikien muodonmuutosta, kun liitosta kuormitettiin pelkällä normaalivoimalla.

# Yhteenveto

Tässä artikkelissa esiteltiin uusi menetelmä ratkaista ripalevyliitoksen kiertymiskyky. Menetelmän parametrit varmennettiin epälineaarisiin FEM-laskelmin. Menetelmällä laskettua kiertymiskykyä verrattiin FEM-tuloksiin diplomityössä [1]. Kun tarkat parametrit ovat saatavilla, menetelmän tarkkuus näyttäisi olevan  $\pm 10\%$ . Menetelmällä saatava tulos riippuu voimakkaasti termistä  $\eta_w$ . Arvo 80 % johtaa useimmissa käytännön tapauksissa varmalla puolella olevaan lopputulokseen, mutta termistä on myös mahdollista päästä eroon laskelmalla komponenttimenetelmällä kaikista mahdollisista muodonmuutoskomponenteista saatava kiertymiskyky.

Menetelmää ei ole varmennettu koekuormituksin, mikä olisi tarpeellinen jatkotutkimuksen aihe. Mahdollisesti käyttökelpoista kuormitusdataa löytyy ainakin R. Richardin kuormituskokeista [8]. Siitä huolimatta, että kiertymiskyvyn laskentamenetelmää ei vielä ole verrattu koekuormituksiin, menetelmä on suositeltavaa ottaa käyttöön heti. Menetelmällä voidaan korvata kirjassa ECCS No 126 [6] esitetty menettely, joka diplomityössä osoitettiin riittämättömäksi.

Artikkelissa esitetyt laskentakaavat ja FEM-vertailulaskelmat ovat yksileikkeiselle liitokselle, mutta menetelmää voidaan soveltaa myös kaksileikkeiseen tapaukseen. Tällöin ylimmän reiän vaakasuuntaisen maksimimuodonmuutoksen arvo  $\Delta d_{0,x,Rd,1} = 0,1d / \gamma_{M2}$  on konservatiivinen. Parametrin  $\Delta d_{0,x,Rd,1}$  johtaminen kaksileikkeiselle liitokselle olisi tarpeellinen jatkotutkimuksen aihe.

# Suosittelava mitoitusprosessi

Kiertymiskyky tulee tarkastaa aina kun palkki liittyy pilarin laippaan, mutta myös primääripalkkiin liityttäessä, jos

- primääripalkin profiili on kotelopoikkileikkaus tai huomattavasti suurempi kuin sekundääripalkin
- primääripalkin molemmilla puolilla on sekundääripalkisto
- primääripalkin jänneväli on lyhyt tai sekundääripalkki sijaitsee lähellä primäärin tuentapistettä
- primääripalkin kiertyminen on estetty

Kiertymiskyvyn tarkistamisen sisältävä liitoksen mitoitusprosessi on:

- 1 Globaalin laskentamallin nivel sijoitetaan ruuviryhmän keskelle. Laskentamallista tarvitaan lähtötiedoiksi murtorajatilan suunnittelukuormilla laskettu leikkausvoiman mitoitusarvo  $V_{Ed}$ , normaalivoima  $N_{Ed}$  ja kiertymä  $\varphi_{Ed}$ .
- 2 Valitaan ruuvien koko, etäisyys uuman pystyreunaan ja pystyrivien välinen etäisyys siten, että reunapuristuksen sitkeyshehto toteutuu uuman suhteen.
- 3 Valitaan ruuvien lukumäärä siten, että ruuvien leikkauskestävyys  $F_{v,Rd}$  on vähintään kaavan (5) mukainen.
- 4 Poissuljetaan liitoslevyn stabiilisuusiilmiöt valitsemalla vähintään muunnettua hoikkuutta 0,2 vastaava ripalevyn paksuus.
- 5 Mitoitetaan hitsi täyslujaksi. Täyslujuuden kriteerinä voidaan pitää levyn myötäämistä tai ruuvien yhteenlaskettua ominaisleikkauskestävyyttä.
- 6 Mitoitetaan liitos eri murtotapoja vastaan esim. kirjan ECCS No 126 periaatteita noudattaen. Ripalevyn stabiilisuutta ei tarvitse erikseen tarkastaa, jos paksuus on valittu kohdan 4 mukaan.
- 7 Tarkastetaan liitoksen kiertymiskyky edellä esitetyllä laskentamenettelyllä.
- 8 Jos liitoksen epäkeskisyys on suuri, kohta 4 voi johtaa kohtuuttoman paksuun liitoslevyyn, jolloin sitkeys ja kiertymiskyky voidaan tarkastaa lisäksi ECCS No 126:n mukaisesti. Tällöin kohtaa 4 ei tarvitse ottaa huomioon.
- 9 Mikäli kiertymiskyky on riittämätön, sitä voidaan parantaa seuraavilla toimenpiteillä:
  - Madalletaan ruuviryhmää ja siirrytään takaisin kohtaan 6.
  - Käytetään ruuviryhmän ylimpien ja alimpien rivien kohdalla pidennettyjä reikiä. Jos liitokseen jää tavallisia reikiä vähintään kahteen vaakariviin, siirrytään kohtaan 6. Muutoin siirrytään kohtaan 6, mutta liitos mitoitetaan ilman kohdan 6 taivutusmomenttia ja normaalivoimaa.

Liitos varustetaan aluslevyillä molemmin puolin.

# Lähteet

- [1] I. Pirhonen, Ensuring the ductility and rotational ability of a fin plate connection, Master's thesis, Tampere University of Technology, (2016)
- [2] [http://www.steelconstruction.info/Steel\\_material\\_properties](http://www.steelconstruction.info/Steel_material_properties) (8.3.2016)
- [3] V. Gioncu, Framed structures. Ductility and seismic response. General Report, Journal of Constructional Steel Research 55/2000, p. 125–154
- [4] P. Može, Deformation capacity, stiffness and bearing strength at bolt holes, Eighth International Workshop on Connections in Steel Structures, Boston, (2016), 10 p.
- [5] K. Bzdawka, M. Heinisuo, Finplate joint using component method of EN 1993-1-8, Rakenteden mekaniikka 43/2010, p. 25-43
- [6] ECCS, N° 126: European recommendations for simple joints in steel structures, European Convention for Constructional Steelwork, (2009), 89 s.
- [7] N. Hoffmann, L. Rölle, U. Kuhlman, Robustness for Large Steel-Concrete Composite Structures, IABSE Workshop Helsinki, (2013), Safety, Failures and Robustness of Large Structures report, s. 112-119
- [8] R. Richard, P. Gillet, J. Kriegh, B. Lewis, The analysis and design of single plate connections, Engineering Journal, AISC, (1980)

# Fin plate -liitosten kiertymiskyvyn ja sitkeyden varmentaminen

