

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2019

Mikael Puotunen

# TERÄSTYYPPIIITOSTEN SUUNNITTELU



OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2019 | 51 sivua, 40 liitesivua

Mikael Puotunen

## TERÄSTYYPPIILIITOSTEN SUUNNITTELU

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa teräsrakenteisten ruuvi- ja hitsiliitosten käyttäytymistä ja kestävyyttä erisuuntaisilla rasituksilla. Mitoituksen tavoitteena on saavuttaa liitokselle sitkeä murtotapa, jolla vältetään äkillinen kantokyvyn menetys.

Työssä käsitellään seuraavien liitoksien mitoitustarkastelut. Rakenneputken jatkosliitoksessa liitoslevy hitsataan suoraan rakenneputken sisäpintaan rakenneputkea loveamatta. Liitoslevyn toinen pää kiinnittyy ruuviliitoksen välityksellä tuettavaan/tukevaan rakenteeseen. Mitoitusta tarkastellaan normaalivoiman suuntaisilla rasituksilla.

Avoprofiilipalkin ripalevyliitos kiinnitetään hitsiliitoksen välityksellä pilariin, jossa profiilina on joko rakenneputki tai avoprofiili. Tämän liitoksen suunnittelun tavoite on että ruuvit pääsevät kiertymän yhteydessä siirtymään liitoslevyn ruuvirei'issä ilman ylimääräisiä leikkausvoimia. Liitoksen kiertymiskyky varmennetaan laskemalla ruuvivälysten perusteella mahdollinen maksimikiertymä, ja tarvittaessa käytetään pidennettyjä reikiä työssä esitetyllä tavalla. Liitosta kuormitetaan sekä palkin leikkausvoiman että palkin normaalivoiman suuntaisesti. Pidennettyjen reikien lisääminen samanaikaisen leikkausvoiman ja normaalivoiman tapaukseen aiheuttaa soveltamista vaativan tilanteen eurokoodipohjaiselle mitoitukselle.

Liitosten mitoitustarkastelut tehdään eurokoodien määrittämien laskentakaavojen ja reunaehtojen mukaisesti. Työn lopputuotteina ovat Introgroupp Oy:lle tehtävät liitoskohtaiset Mathcad 15 - laskentapohjat. Työssä tehdään myös laskentapohjille vertailulaskelmat Idea Statica 9 -liitosten FEM-laskentaohjelmalla.

ASIASANAT:

Teräслиitos, sideliitos, jatkosliitos, pilari-palkkiliitos, ripalevyliitos

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil engineering

2019 | number of pages 51, number of pages in appendices 40

Mikael Puotunen

## THE DESIGN OF IN-HOUSE STANDARDIZED STEEL CONNECTIONS

The goal of this thesis was to gain information about bolted and welded connections and to become competent in designing them.

The connection types that discussed in this thesis are a splice connection for a structural pipe and a fin-plate connection.

In the splice connection of a structural pipe the tongue plate is welded directly inside the structural pipe without cutting the pipe. The other side of the tongue plate connects to supported/supportive structure via a bolted connection.

In the simple beam to column connection in which the beam profile is an open section and the columns profile is either an open section or a structural pipe. The goal of this connection design is that the connection is truly hinged and the bolts will not receive any additional shear stresses from the rotation of the bolt line. The rotational ability of the connection is ensured by calculating the maximum rotation based on bolt clearances. Slotted holes are used to ensure rotational ability if needed. The connection is loaded with shear force from the beam and axial force from the beam. Adding slotted holes to this gives a unique situation to be calculated by the rules of eurocode.

The design of these connections were based in eurocodes. The end product of this thesis was to produce Mathcad 15 based design sheets and the written part of the thesis. The calculating accuracy was compared to Idea Statica 9 -FEM-design software results.

### KEYWORDS:

Steel connection, gusset connection, beam to column connection, fin-plate connection

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 NORMAALIVOIMAN RASITTAMAT SIDELIITOKSET</b>	<b>9</b>
2.1 Liitoksen käyttäytyminen	9
2.2 Liitosgeometria	10
2.3 Vetokestävyydet	11
2.4 Ruuvien leikkauskestävyydet	13
2.5 Reunapuristuskestävyydet	15
2.6 Palamurtokestävyys	19
2.7 Pienahitsiliitoksen kestävyys	21
2.7.1 Huomioitavaa hitsiliitoksista	21
2.7.2 Komponenttimenetelmä	22
2.7.3 Yksinkertaistettu menetelmä	24
2.8 Putkiprofiilin palamurtuminen hitsiliitoksen kohdalta	25
2.9 Liitoksen kestävyys	27
<b>3 NIVELELLINEN PILARI-PALKKI RIPALEVYLIITOS</b>	<b>28</b>
3.1 Liitoksen käyttäytyminen	28
3.2 Liitosgeometria	29
3.2.1 Reuna- ja keskiöetäisyydet	29
3.2.2 Kiertymiskyvyn tarkastelu	29
3.3 Ruuvien leikkauskestävyys	34
3.4 Reunapuristuskestävyys	35
3.5 Palamurtumiskestävyys	38
3.6 Putkiprofiilisen pilarin pinnan kestävyys	40
3.7 Hitsiliitoksen kestävyys	41
3.8 Liitoksen kestävyys	42
<b>4 MITOITUSPOHJIEN JA FEM-LASKENTAOHJELMAN VERTAILU</b>	<b>43</b>
4.1 Vertailuesimerkki 1	44
4.2 Vertailuesimerkki 2	49
<b>5 PÄÄTELMÄT</b>	<b>50</b>

## LÄHTEET

51

## LIITTEET

- Liite 1. Mitoituspohjan 1 laskentatuloste
- Liite 2. Mitoituspohjan 2 laskentatuloste
- Liite 3. Idea-Statica -tuloste 1.
- Liite 4. Idea-Statica -tuloste 2.

## KAAVAT

Kaava 1. Rakenneputken poikkileikkauksen vetokestävyys.	11
Kaava 2. Brutto-poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyys.	12
Kaava 3. Netto-poikkileikkauksen kestävyys kiinnittimien reikien kohdalla.	12
Kaava 4. Vedon rasittama nettopinta-ala levyn poikkileikkauksessa reikien kohdalla.	12
Kaava 5. Levyn brutto-poikkileikkauksen pinta-ala.	12
Kaava 6. Ruuvien leikkauskestävyys lujuusluokilla 4.6, 5.6 ja 8.8.	13
Kaava 7. Ruuvien leikkauskestävyys lujuusluokilla 4.8, 5.8, 6.8 ja 10.9.	14
Kaava 8. Ruuvien leikkauskestävyys kaikilla lujuusluokilla.	14
Kaava 9. Yksittäisen ruuvien reunapuristuskestävyys.	16
Kaava 10. Reunaruuvien ruuveille.	16
Kaava 11. Muulle kuin pään ruuveille.	16
Kaava 12. Levyn pään ruuveille.	16
Kaava 13. Muille kuin levyn pään ruuveille.	17
Kaava 14. Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo keskeisellä kuormalla.	20
Kaava 15. Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo epäkeskeisellä kuormalla.	20
Kaava 16. Pienahitsin suositeltu a-mitta jäähtymisnopeuden kannalta.	22
Kaava 17. Hitsin pinta-alan mitoitusarvo.	22
Kaava 18. Ehto 1. Akselin ja sitä vastaan kohtisuoran jännityksen yhteisvaikutus.	23
Kaava 19. Ehto 2. Akselia vastaan kohtisuoran jännityksen vaikutus.	23
Kaava 20. Ehto pienahitsin kestävyydelle.	24
Kaava 21. Hitsin kestävyden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti.	25
Kaava 22. Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo.	25
Kaava 23. Putkiprofiilin palamurtokestävyys.	26
Kaava 24. Palkin taipuma kohdassa x.	30
Kaava 25. Palkin maksimiviivakuorma suurimman sallitun taipuman suhteen.	31
Kaava 26. Palkin kiertymä kohdassa x.	31
Kaava 27. Palkin kiertymä tuella, kun palkin kuormitus maksimitaipumarajaa vasten.	32
Kaava 28. Ylimmän ja alimman ruuvien maksimi keskiöetäisyys.	32
Kaava 29. Saranaruuvien leikkauskestävyyden käyttöaste.	34
Kaava 30. Muiden ruuvien leikkauskestävyyden käyttöaste.	35
Kaava 31. Reunapuristuksen käyttöaste saranaruuille.	37
Kaava 32. Reunapuristuksen käyttöaste levynpään ruuville, kun pidennetty reikä.	37
Kaava 33. Reunapuristuksen käyttöaste levynpään ruuville, kun normaali reikä.	37
Kaava 34. Reunapuristuksen käyttöaste muulle, kuin levynpään ruuville, kun normaali reikä.	38

Kaava 35. Leikkausvoiman suuntaisen palamurtokestävyyden Veff. Rd käyttöaste.	39
Kaava 36. Normaalivoiman suuntaisen palamurtokestävyyden Veff. Rd. H käyttöaste.	39
Kaava 37. Liitoslevyn nettopoikkileikkauksen kestävyuden yhdistetty käyttöaste.	40
Kaava 38. Palkin uuman palamurtokestävyyden Veff. uuma. Rd käyttöaste.	40
Kaava 39. Putkiprofiilin pinnan kestävyys myötäämiselle.	40
Kaava 40. Neliön ja suorakaiteen muotoisten paarteiden N0Ed:n ja M0.Ed:n aiheuttaman puristusjännityksen suhde myötölujuuden mitoitusarvoon.	41
Kaava 41. Putkiprofiilin pinnan momenttikestävyys liitoslevyn momentille.	41
Kaava 42. Hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys.	42
Kaava 43. Hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys.	42

## KUVAT

Kuva 1. Rakenneputken jatkosliitos.	9
Kuva 2. Ruuvien nimeäminen reunapuristuskestävyyksien laskentaa varten.	17
Kuva 3. Yksinkertaistus ruuvien nimeämiseen.	18
Kuva 4. Erään testikappaleen reunapuristusmurto.	19
Kuva 5. Työn laskentapohjan huomioimat palamurtoviivat.	20
Kuva 6. Pienahitsi ja efektiivinen a-mitta.	21
Kuva 7. Pienahitsin laskentapinnan jännitykset.	23
Kuva 8. Putkiprofiilin palamurto hitsiliitoksen kohdalta.	26
Kuva 9. Niveellinen ripalevyliitos.	28
Kuva 10. Reunaetäisyyksien määrittäminen pidennetyssä reiässä.	29
Kuva 11. Pidennettyjen reikien vaikutus maksimikiertymään ja reunimmaisten ruuvien keskiöetäisyys eräissä liitoksissa.	30
Kuva 12. Ruuvilinjan suurin sallittu kiertymä.	32
Kuva 13. Liitoslevyjen reiätysperiaate ja murtoviivat normaalivoimalle, kun käytetään pidennettyjä reikiä.	33
Kuva 14. Ruuvityyppien nimeäminen reunapuristuslaskentaa varten.	36
Kuva 15. Huomioitavat palamurtoviivat työn ripalevyliitokselle.	39
Kuva 16. 3D-malli eräästä ripalevyliitoksesta Idea Statica 9 ohjelmassa.	43
Kuva 17. Liitoslevyn geometria Idea Statican tulosteessa.	44
Kuva 18. Plastiset muodonmuutokset liitoslevyssä ja ruuvivoimien resultantit liitoksen FEM-laskennan mukaisella maksimikuormituksella.	46
Kuva 19. Idea Statican menetelmä määrittää kertoimet $k_1$ ja $\alpha_d$ .	47

## TAULUKOT

Taulukko 1. Pienimmät reunaetäisyydet ja keskiöväliä.	10
Taulukko 2. Yksinkertaistus taulukkoon 1.	11
Taulukko 3. Ruuvien myötörajan $f_{yb}$ ja vetomurtolujuuden $f_{ub}$ nimellisarvot.	13
Taulukko 4. Nimellisivälykset ruuveille ja niveltapeille (mm).	15
Taulukko 5. Hitsin lujuuskertoimet terästen eri lujuusluokille.	24
Taulukko 6. Pienimmät reunaetäisyydet ja keskiöväliä.	29

## SANASTO

$A_k$	ruuvin bruttopinta-ala
$A_{nt}$	vedon rasittama nettopinta-ala
$A_{nv}$	leikkauksen rasittama nettopinta-ala
$A_s$	ruuvin jännityspoikkipinta-ala
$d$	ruuvin nimellishalkaisija, niveltapin halkaisija tai kiinnittimen halkaisija
$d_0$	ruuvin, niveltapin tai niitin reiän halkaisija
$E$	kimmokerroin
$e_1$	kiinnittimen reiän keskiön ja viereisen rakenneosan päädyn välinen päätyetäisyysmitattuna siirrettävän voiman suunnassa
$e_2$	kiinnittimen reiän keskiön ja viereisen rakenneosan reunan välinen reunaetäisyys mitattuna kohtisuorassa suunnassa siirrettävään voimaan nähden
$f_u$	teräksen murtolujuus
$f_y$	teräksen myötölujuus
$h_p$	ruuvin tai mutterin alla olevan liitoslevyn leveys
$k$	tekijä, joka määrittää sen esiintyessä
$l_{eff}$	pienahitsin tehollinen pituus
$p_1$	kiinnittimien keskiöiden välinen etäisyys siirrettävän voiman suunnassa
$p_2$	viereisten kiinnitinrivien välinen keskiöetäisyys mitattuna siirrettävää voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa
$t_p$	ruuvin tai mutterin alla olevan liitoslevyn paksuus
$W_{el.p}$	liitoslevyn kimmoteorian mukainen taivutusvastus
$\alpha$	tekijä, joka määritetään kyseeseen tulevan taulukon yhteydessä
$\beta_w$	hitsin lujuuskerroin
$\gamma_M$	teräksen osavarmuuskerroin
$\varphi$	liitoksen kiertyminen.

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on ollut tarkastella kahden tietyn teräsliitoksen eurokoodipohjaista mitoittamista. Tavoitteena on ollut tarkastella teräsliitosten käyttäytymistä ja mitoittamista kullekin liitokselle suunnitelluilla rasituksilla. Liitosten mitoituksessa on esitetty kullekin liitokselle olennaisia tarkasteluja, reunaehtoja ja keinoja, joilla voidaan pyrkiä sitkeään liitoskäyttäytymiseen. Työn mitoitusohjeistus perustuu eurokoodeissa määritettyihin menetelmiin ja kaavoihin. Sideliitoksen osalta tarkasteltavaksi murtumistavaksi on lisätty myös eurokoodin ulkopuolinen tarkastelu liitoksen luonteen johdosta.

Työn toimeksiantajana toimi suunnittelutoimisto Introgroup Oy. Yritykselle on tehty työn liitoksiin omat Mathcad 15 -laskentapohjat, joista tulostuu kestävyyskomponenttien arvot liitokselle. Kuhunkin laskentapohjaan liittyy ohjeistus, jonka laskentapohjaan perehtymätön hahmottaa, mitä lähtötietoja laskentaan tulee valita. Laskentapohjilla on myös taulukoitu optimaaliset liitosgeometriat valittuihin tyypillisiin tilanteisiin. Kyseistä taulukointia ei esitetä tässä työssä.

Työn lopputuotteiden tavoitteena on tehostaa yrityksen suunnittelutoimintaa supistamalla teräsliitosmitoitukseen menevää aikaa tavanomaisissa tilanteissa.



## 2 NORMAALIVOIMAN RASITTAMAT SIDELIITOKSET

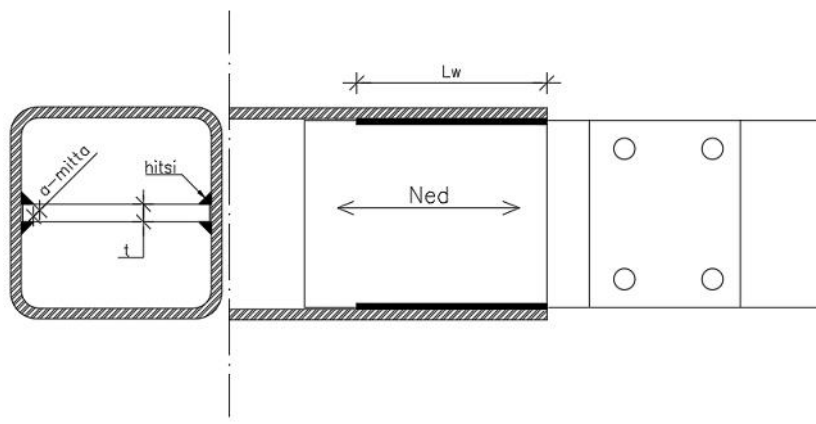
### 2.1 Liitoksen käyttäytyminen

Teräsrunkoisten rakennusten jäykistyssauvojen sitomiseen kantaviin rakenneseisiin käytetään usein yksileikkeisiä normaalivoimarasitettuja ruuviliitoksia. Tämä työn tekstiosa käsittelee kyseisestä liitoksesta tapausta, jossa liitoslevy hitsataan putkiprofiilin sisäpintaan. Hitsaamalla liitoslevy suoraan sisäpintaan säästytään työvaiheelta, jossa rakenneputkeen lovettaisiin pituusakselin suuntaisesti liitoslevyn mentävä kolo. Tämä liitostyyppi asettaa rajoituksia hitsiliitoksen kestävyydelle, kun putken sisäpintaan päästään hitsaamaan vain tietyn mittaista saumaa.

Tässä työssä tarkastellaan liitosta seuraavilta osin:

- rakenneputken poikkileikkauksen vetokestävyys
- liitoslevyn nettopoikkileikkauksen vetokestävyys
- ruuvien leikkauskestävyys
- liitoslevyn reunapuristuskestävyys
- liitoslevyn palamurtumiskestävyys
- hitsisaumojen kestävyys sekä putken palamurtokestävyys hitsille.

Jatkosliitos on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Rakenneputken jatkosliitos

## 2.2 Liitosgeometria

Jotta standardijulkaisussa SFS-EN 1993-1-8 esitetyt laskentakaavat kestävyyksille olisivat voimassa, on ruuvien pienimpien reuna- ja päätyetäisyyksien sekä pienimpien ja suurimpien keskiötäisyyksien oltava taulukon 1 mukaisia. Taulukon esittämät ehdot ovat voimassa staattisesti kuormitetuissa rakenteissa. (Kouhi 2015, 34.)

Taulukko 1. Pienimmät reunaetäisyydet ja keskiövälit (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.3).

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli	Minimiarvo	Maksimiarvo <sup>1)2)3)</sup>		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys $e_1$	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys $e_2$	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ or 125 mm
Etäisyys $e_3$ Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ <sup>4)</sup>			
Etäisyys $e_4$ Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ <sup>4)</sup>			
Keskiöväli $p_1$	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm

Työssä käsiteltävän liitoksen osalta merkittäviksi ehdoiksi muodostuvat vain rajattu osa edellä mainituista. Tämän työn sideliitosta varten on tehty taulukon 2 mukainen yksinkertaistus

Taulukko 2. Yksinkertaistus taulukkoon 1 (Ongelin & Valkonen 2016, taulukko 3.15 & kuva 3.17).

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli	Minimiarvo
Päätyetäisyys $e_1$	$1,2d_0$
Reunaetäisyys $e_2$	$1,2d_0$
Keskiöväli $p_1$	$2,2d_0$
Keskiöväli $p_2$	$2,4d_0$

jossa

$h_p$  = liitoslevyn leveys

$d_0$  = kiinnitinreiän halkaisija.

Putken sisäpintaan hitsattaessa liitoslevyn leveys tulisi olla korkeintaan putkiprofiilin sisämitta, josta vähennetään 2 mm:n asennusvälys, jotta varmistetaan levyn suora asennus.

### 2.3 Vetokestävyydet

Putkiprofiilin poikkileikkauksen pituusakselin suuntaisen normaalivoiman kestävyys voidaan laskea kaavasta 1:

$$N_{t.putki.Rd} = \frac{f_y \cdot A}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 1. Rakenneputken poikkileikkauksen vetokestävyys.

Liitoslevyn nettopoikkileikkauksen vetokestävyys  $N_{t.Rd}$  on pienempi seuraavista arvoista:

$$N_{pl.Rd} = \frac{A_{nt} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 2. Bruttooikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyys.

$$N_{u.Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{up}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 3. Nettopoikkileikkauksen kestävyys kiinnittimien reikien kohdalla.

Kiinnittimien reikien kohdalta laskettavan kestävyden määrittämiseen tarvittava liittolevyn nettopoikkileikkaus reikien vähentämisen jälkeen on

$$A_{net} = t \cdot (h_p - d_0)$$

Kaava 4. Vedon rasittama nettopinta-ala levyn poikkileikkauksessa reikien kohdalla.

Liittolevyn bruttopoikkileikkauksen pinta-ala ilman reikien vähennyksiä on

$$A_{nt} = t \cdot h_p$$

Kaava 5. Levyn bruttopoikkileikkauksen pinta-ala.

## 2.4 Ruuvien leikkauskestävyydet

Teräsputkirakenteet on edullista koota konepajalla tuotetuista osista, jolloin saavutetaan korkea mittatarkkuus ja helppo asennettavuus. Putkiprofiilisauvoihin hitsatut liitoslevyt kiinnitetään runkoon joko ruuvikiinnittimillä tai hitsausliitoksien. Näistä työmaaolosuhteissa edullisempi kiinnitystapa on ruuvikiinnitys. (Ongelin & Valkonen 2016, 465.)

Rakentamisen ruuvikokoina on tavallisesti toiminut kuusioruuvien koot M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30 ja M36. Ruuvit ovat myös jaoteltu erilaisiin lujuusluokkatunnuksiin, joista ensimmäinen luku määrittää ruuvien vetomurtolujuuden ja jälkimmäinen, kuinka monta prosenttia myötöraja on vetomurtolujuudesta. (Kaitila ym. 2010, 89.)

Suomen kansallisen liitteen osalta suositeltavia ruuvilujuusluokkia ovat vain 8.8 ja 10.9. (SFS-EN 1993-Kansallinen liite 28.3.2017, 42).

Taulukossa 3 on esitetty kunkin lujuusluokkakoodauksen mukaiset myötö- ja murtolujuudet ruuvien materiaalille.

Taulukko 3. Ruuvien myötörajan  $f_{yb}$  ja vetomurtolujuuden  $f_{ub}$  nimellisarvot (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.1).

Ruuvien lujuusluokka	4.9	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb} (N/mm^2)$	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub} (N/mm^2)$	400	400	500	500	600	800	1000

Kuormitusuunta tämän työn liitoksessa on sauvan ja liitoslevyn suuntainen, jolloin ruuvien voimavälitys tapahtuu leikkauskestävyyden avulla. (Ongelin & Valkonen 2016).

Ruuvien leikkauskestävyys yhtä leikettä kohti, kun ruuvien kierteet ovat leikkaustasossa:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 6. Ruuvien leikkauskestävyys lujuusluokilla 4.6, 5.6, 8.8.

$$F_{v.Rd} = 0,5 \cdot f_{ub} \frac{A_s}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 7. Ruuvien leikkauskestävyys lujuusluokilla 4.8, 5.8, 6.8, 10.9.

jossa

$A_s$  = ruuvien jännityspinta-ala.

$f_{ub}$  = ruuvien vetomurtolujuus.

Yksittäisen ruuvien leikkauskestävyys yhtä leikettä kohti, kun ruuvien kierteetön osa leikkaustasossa:

$$F_{v.Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \frac{A_k}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 8. Ruuvien leikkauskestävyys kaikilla lujuusluokilla.

jossa

$A_k$  = ruuvien bruttopoikkileikkauksen pinta-ala.

Ruuviryhmän leikkauskestävyys liitokselle saadaan kertomalla saatu  $F_{v.Rd}$  liitoksen ruuvien kokonaismäärällä  $n$  olettaen, että kaikkien ruuvien reiät ovat normaaleita pyöreitä reikiä. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)

Ruuviryhmän leikkauskestävyydelle tulisi pyrkiä saamaan niin vahva arvo, ettei se muodostu mitoittavaksi tekijäksi, eli se ole kestävyytensä ensimmäisenä menettävä komponentti. Tällöin vältetään hauraalta murtomekanismilta ruuvien osalta. Ruuvien riittävän kestävyys luo pohjan reunapuristusmitoituksen toimivuudelle.

## 2.5 Reunapuristuskestävyydet

Mekaaniset kiinnittimet vaativat asennettavuuden takia välyksen kiinnitinruuvien ja reiän välille. Nimellistä välystä normaaleille pyöreille rei'ille on reiän nimellishalkaisija vähennettynä ruuvien nimellishalkaisijalla. Pidennetyille rei'ille nimellistä välystä on reiän pitkän mitta vähennettynä ruuvien nimellishalkaisijalla. Reikä voidaan käsittää myös ylisuurena, jolloin vaadittaviin nimellistä välyksiin sallitaan isompia arvoja reunapuristuskestävyyden kustannuksella. (SFS-EN 1090-2, 6.6.1).

Pidennettyjen reikien käyttäminen tämän liitoksen tapauksessa ei tule ainakaan sen pääasiallisessa tarkoituksessa kyseeseen, mutta ominaisuuden käyttö on kuitenkin lisätty valittavaksi laskentapohjaan, mikäli tämänkaltaiselle sovellutukselle on tarvetta. Pidennettyjä reikiä käsitellään tarkemmin luvussa 3.

Sallitut nimellishalkaisijat on esitetty taulukossa 4:

Taulukko 4. Nimellistä välykset ruuveille ja niveltapeille (mm) (SFS-EN 1090-2, taulukko 11.)

Ruuvien tai niveltapin nimellishalkaisija (mm)	12 <sup>a</sup>	14	16	18	20	22	24	27 to 36 <sup>b</sup>
Normaalit pyöreät reiät <sup>c</sup>	1 <sup>d e</sup>		2				3	
Ylisuuret pyöreät reiät	3		4				6	
Lyhyet pidennetyt reiät (koko pituudelle) <sup>f</sup>	4		6				8	
Pitkät pidennetyt reiät (koko pituudelle) <sup>f</sup>	1,5 <sup>d</sup>							
<sup>a</sup> Koskee myös alle 12 mm:n läpimittoja, ellei toisin esitetä. <sup>b</sup> Koskee myös yli 36 mm:n läpimittoja, ellei toisin esitetä. <sup>c</sup> Torneille, mastoille ja vastaaville sovellutuksille normaalien pyöreiden reikien nimellistä välystä pienennetään 0,5 mm, ellei erikseen toisin esitetä. <sup>d</sup> Pinnoitetuille kiinnittimille 1 mm:n nimellistä välystä voidaan suurentaa kiinnittimen pinnoitteen paksuuden verran. <sup>e</sup> Ruuveja, joiden nimellishalkaisija on 12 mm tai 14 mm, ja uppokantaisia ruuveja voidaan myös käyttää 2 mm:n välyksen rei'issä, jos niin esitetään. <sup>f</sup> Pidennetyissä rei'issä ruuvien nimellistä välyksen tulee leveysuunnassa olla sama kuin normaaleilla pyöreillä rei'illä.								

Taulukon 4 kohdassa e mainittu nimellistä välyksen kasvattaminen sallitaan, mikäli ruuviryhmän reunapuristuskestävyys on suurempi tai yhtä suuri kuin ruuviryhmän ruuvien leikkauksenkestävyys. Lisäksi saadun  $F_{v,Rd}$ :n arvo kerrotaan kertoimella 0.85, kun käytetään ruuvien lujuusluokkia 4.8, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.6.1.)

Yksittäisen ruuvin reunapuristuskestävyys on

$$F_{b.Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 9. Yksittäisen ruuvin reunapuristuskestävyys.

Kaavassa 9 voimaa vasten kohtisuorassa suunnassa määritettävän kertoimen  $k_1$  arvo on kaavan 10 mukainen arvo reunarivin ruuveille ja kaavan 11 mukainen arvo muille kuin reunarivien ruuveille.

$$k_1 = \min(2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7)$$

Kaava 10. Reunarivin ruuveille.

$$k_1 = \min(2,5; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7)$$

Kaava 11. Muulle kuin pään ruuveille.

Kaavassa 9 voiman suunnassa määritettävän kertoimen  $\alpha_b$  arvo on kaavan 12 mukainen arvo levyn pään ruuveille ja kaavan 13 mukainen arvo muille levyn pään ruuveille

$$\alpha_b = \min(1,0; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; \frac{e_1}{3 \cdot d_0})$$

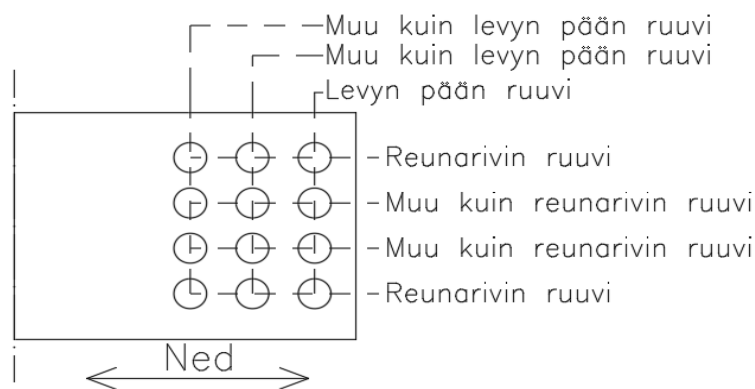
Kaava 12. Levyn pään ruuveille.



$$\alpha_b = \min\left(1,0; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right)$$

Kaava 13. Muille kuin levyn pään ruuveille.

Kuvassa 2 on esitetty graafisesti kaavoissa 10-13 esiintyneet ruuvien nimeämiset.



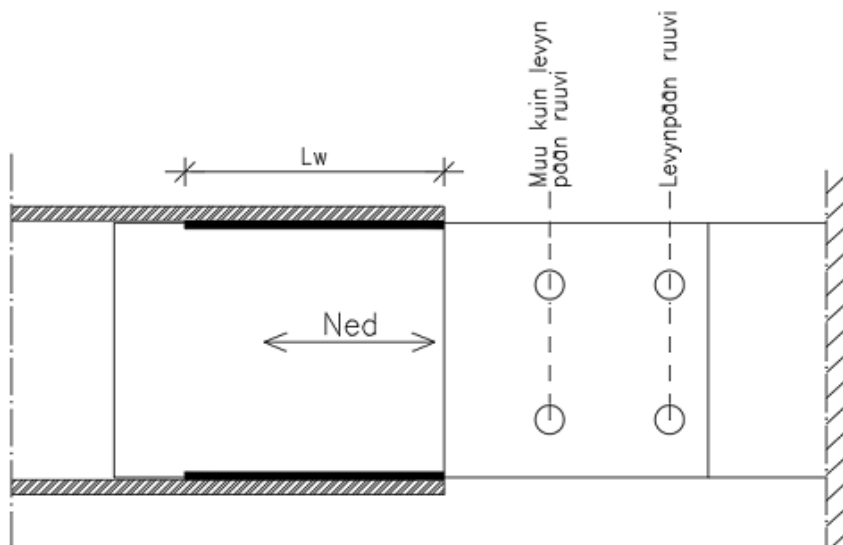
Kuva 2. Ruuvien nimeäminen reunapuristuskestävyyksien laskentaa varten.

Ruuviryhmän reunapuristuskestävyys  $F_{b,Rd}$  on yksittäisten ruuvien reunapuristuskestävyyksien summa, mikäli jokaisen yksittäisen ruuvin leikkauskestävyys on suurempi kuin reunapuristuskestävyys. (SFS-EN 1993-1-8, 3.7.)

Mikäli käytetään pidennettyä reikää normaalin pyöreän reiän sijasta ja vaikuttava voima on reiän pitkää sivua vasten, kerrotaan pyöreää reikää vastaava reunapuristuskestävyys  $F_{b,Rd}$  kertoimella 0,6. Mikäli käytetään ylisuurta reikää, kerrotaan normaalia pyöreää reikää vastaava  $F_{b,Rd}$  kertoimella 0,8 (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4).

Yksileikkeisissä liitoksissa, joissa on vain yksi ruuvirivi voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa, asetetaan aluslaatat ruuvien kannan ja ruuvien mutterin alle. Reunapuristuskestävyys  $F_{b,Rd}$  rajoittuu arvoon  $F_{b,Rd} \leq 1,5 \cdot \frac{f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$  (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)

Tämän liitoksen osalta erilaisten mahdollisten reunapuristuskestävyyksien arvo rajoittuu kahteen eri arvoon, sillä ruuvilukumäärä ei tämän työn laskentapohjassa tule olemaan kuvan 3 tilannetta suurempi rakenneputken koosta johtuvien geometriarajoitteiden johdosta. Voimaa vasten kohtisuorassa suunnassa ei ole kuin reunarivin ruuveja ja voiman suunnassa on joko levyn pään ruuvi tai muu kuin levyn pään ruuvi, joten nimeämisen suhteen on helppo kuvan 3 kaltainen yksinkertaistus:

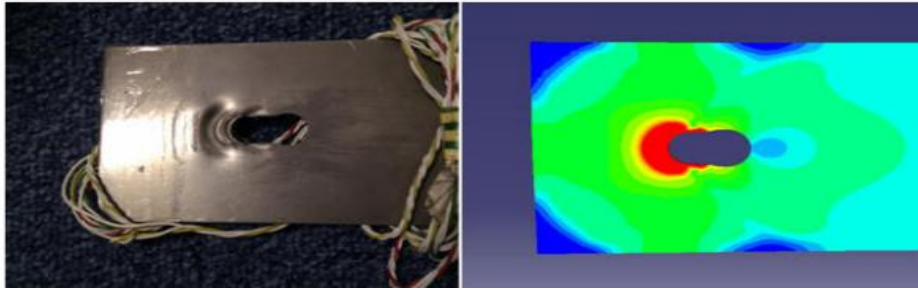


Kuva 3. Yksinkertaistus ruuvien nimeämiseen.

Perustilanne olisi esimerkiksi kahden ruuvin jono sauvan suuntaisesti. Tällöin voidaan määrittää ruuviryhmän reunapuristuskestävyys summaamalla reunapuristuskestävyyksien yksittäisten ruuvien arvot  $F_{b.Rd1}$  (levyn pään ruuvi) ja  $F_{b.Rd2}$  (muu kuin levynpään ruuvi) yhteen. Kun on kyseessä kuvan 3 kaltainen tilanne, ruuviryhmän reunapuristuskestävyys saadaan kertomalla yksittäisten ruuvien kestävyudet niiden määrällä voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa ja summaamalla sitten yhteen.

Tavoiteltavaa olisi valita liitosgeometria siten, että reunapuristuskestävyyden arvo olisi mitoittavana tekijänä, jolloin ylikuormitustilanteissa liitoksessa on nähtävissä muodonmuutoksia plastisoitumisen johdosta, ennen kuin kantokyky menetetään.

Kuvasta 4 nähdään, kuinka liitoslevyn myötöjännite on paikallisesti ylitetty ja levyyn on muodostunut silmin havaittavia muodonmuutoksia välitöntä kantokykyä menettämättä. Tällöin liitoksen voidaan puhua käyttäytyvän sitkeästi.

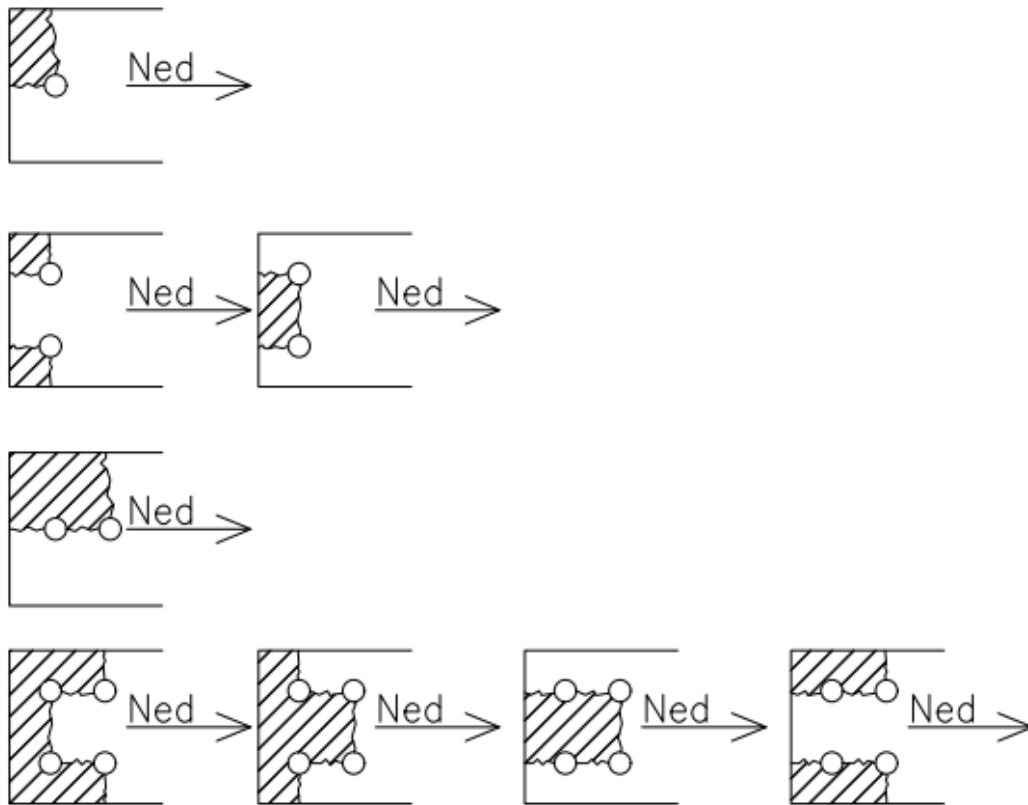


Kuva 4. Erään testikappaleen reunapuristusmurto. (He 2011, 59).

## 2.6 Palamurtokestävyys

Sopivien olosuhteiden vallitessa ruuviryhmä voi murtaa liitoslevyn palamurtona. Palamurtuminen on vältettävissä sijoittamalla ruuvikiinnittimet symmetrisesti ja siten, että ruuvien etäisyys toiseen ruuviin tai levyn reunaan on mahdollisimman suuri. (Kaitila ym. 2010, 4.2.2.)

Palamurtokestävyuden varaan mitoittamista tulisi ehdottomasti välttää sen hauraan luonteen johdosta. Palamurtoviivat kulkevat ruuvien keskilinjojen kautta ja niitä voi olla useita riippuen ruuvilukumäärästä ja reuna- ja keskiöetäisyyksistä. Liitosmitoituksessa tulisi pyrkiä tarkistamaan todennäköisimmät palamurtoviivat. Kuvassa 5 on käsitelty laskentapohjan geometriamahdollisuuksien monimuotoisuuden johdosta kullekin ruuvimäärälle/asetelmalle todennäköisimmät palamurtoviivat.



Kuva 5. Työn laskentapohjan huomioimat palamurtoviivat.

Palamurtumiskestävyden mitoitusarvot ovat:

$$V_{eff.Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 14. Palamurtumiskestävyden mitoitusarvo, kun liitokseen kohdistuu keskeinen kuorma.

$$V_{eff.Rd} = 0,5 \cdot \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 15. Palamurtumiskestävyden mitoitusarvo, kun liitokseen kohdistuu epäkeskeinen kuorma.

joissa

$A_{nt}$  = Vedon rasittama nettopinta-ala

$A_{nv}$  = Leikkauksen rasittama nettopinta-ala. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)

Sauvajatkosliitoksen tapauksessa ruuviryhmän reunaetäisyydet ovat symmetrisiä liitoslevyn leveyteen nähden, joten palamurtokestävyys voidaan laskea keskeisen kuormituksen kaavalla. Valitun ruuviasetelman perusteella palamurtoviivoista kannattaa tarkastaa ainakin kuvan 5 esittämät murtoviivat. Pienimmän kestävyuden antava murtoviiva määrittää liitoslevyn palamurtokestävyuden.

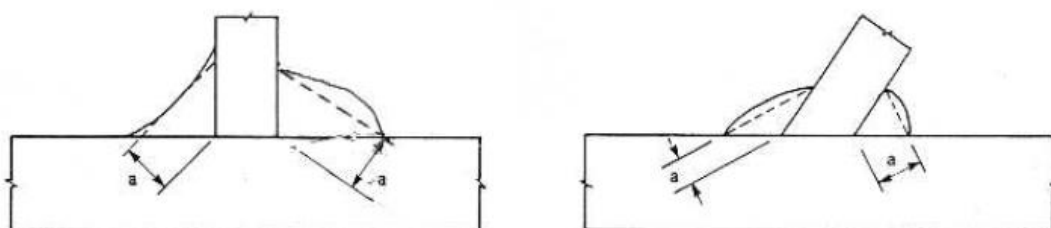
## 2.7 Pienahitsiliitoksen kestävyys

### 2.7.1 Huomioitavaa hitsiliitoksista

Teräsrakenneratkaisut tulisi pyrkiä suunnittelemaan siten, että työmaalla tehtäviä hitsejä kyettäisiin välttämään. Hitsaaminen ja sen laadunvalvonta työmaolosuhteissa on aina hankalampaa kuin konepajalla. (Ongelin & Valkonen 2016, 3.3.1)

Liitoksen sitkeyden kannalta liitos tulisi mitoittaa siten, että hitsisauman kestävyys ei ole mitoittava tekijä. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 2.5).

Pienahitsejä voidaan käyttää, kun liitospinnat muodostavat  $120^\circ$  tai pienemmän kulman. Kuitenkin, jos liitospintojen kulma alittaa  $60^\circ$ , hitsiä tarkastellaan osittain läpihitsattuna päittäishitsinä. (SFS-EN 1993-1-8, 4.3.2.1.)



Kuva 6. Pienahitsi ja efektiivinen a-mitta. (SFS-EN 1993-1-8, kuva 4.3).

Voimia välittävän pienahitsin a-mitta on oltava vähintään 3 mm, jottei huonot railonsovitukset tai liitosvirheet aiheuttaisi liian suuria suhteellisia virheitä. Hitsin kokoon lujuusteknisten ominaisuuksien rinnalla vaikuttavia tekijöitä ovat myös hitsaustekniset seikat.

Muun muassa jäähtymisnopeuden kannalta suositeltava a-mitta voidaan laskea kaavasta:

$$a = \sqrt{t}(mm) - 0,5mm$$

Kaava 16. Pienahitsin suositeltu a-mitta jäähtymisnopeuden kannalta. (SFS 2373, 20).

Tehollinen pituus  $l_{eff}$  pienahitseille on täysikokoisen pienahitsin kokonaispituus. Täysikokoisen pienahitsin arvoksi voidaan valita hitsin kokonaispituus vähennettynä arvolla  $2 \times a$ . Tehollista pituutta ei tarvitse vähentää aloitus ja lopetuskohtien takia, mikäli hitsi on täysikokoinen koko pituudeltaan. (SFS-EN 1993-1-8, 44.)

### 2.7.2 Komponenttimenetelmä

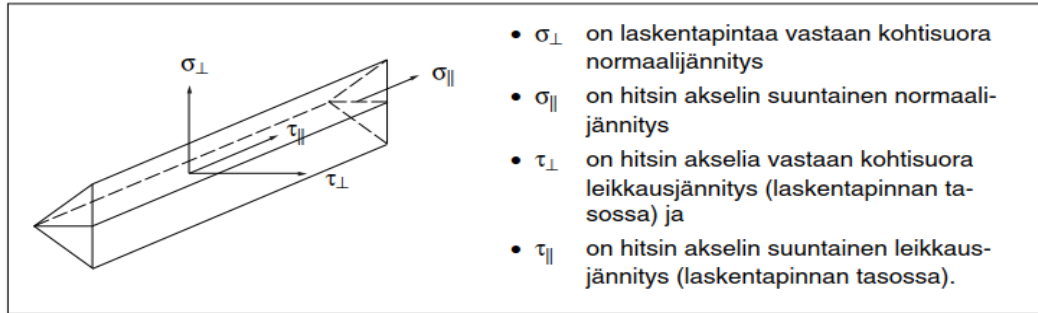
Menetelmässä hitsin yksikköpituuden siirtämät voimat jaetaan hitsin pituusakselin suhteen yhdensuuntaisiin ja sitä vasten kohtisuoriin komponentteihin sekä hitsin laskentapinnan suuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuorassa oleviin komponentteihin. (SFS-EN 1993-1-8, 45).

Hitsin pinta-alan mitoitusarvon oletetaan sijaitsevan hitsin juuressa. Pinta-alan mitoitusarvo on:

$$A_w = \sum a \times l_{eff}$$

Kaava 17. Hitsin pinta-alan mitoitusarvo. (SFS-EN 1993-1-8, 46.)

Hitsin jännitysten oletetaan jakautuvan tasan sen laskentapoikkipinnalla, mistä seuraa seuraavanlaisia jännityksiä (SFS-EN 1993-1-8, 46.):



Kuva 7. Pienahitsin laskentapinnan jännitykset. (Ongelin & Valkonen 2016, 203).

Hitsin akselin suuntaista normaalijännitystä  $\sigma_{\parallel}$  ei käsitellä hitsin kestävyuden laskennassa. (SFS-EN 1993-1-8, 46).

Pienahitsin kestävyys on riittävä, kun seuraavat ehdot ovat voimassa:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Kaava 18. Ensimmäinen ehto. Akselin ja sitä vastaan kohtisuoran jännityksen yhteisvaikutus.

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Kaava 19. Toinen ehto. Akselia vastaan kohtisuoran jännityksen vaikutus (SFS-EN 1993-1-8, 46.)

Hitsin lujuuskerroin  $\beta_w$  voidaan lukea seuraavasta taulukosta:

Taulukko 5. Hitsin lujuuskertoimet terästen eri lujuusluokille. (SFS-EN 1993-1-8, 47).

Teräslaatu	Hitsin lujuuskerroin $\beta_w$
S235	0,8
S275	0,85
<b>S355</b>	<b>0,9</b>
<b>S420</b>	<b>1,0</b>
S460	1,0

### 2.7.3 Yksinkertaistettu menetelmä

Komponenttimenetelmän vaihtoehtona voidaan käyttää ehtoa, jossa komponentteihin jakamisen sijasta käytetään suoraan rasiitusten resultanttia. Työn sauvajatkosliitoksessa tämä menetelmä on mielekkäämpi, sillä rasiituksia on vain pienahitsin pituusakselin suuntaan. Luvussa 3. käsiteltävän ripalevyliitoksen osalta komponenttimenetelmällä saavutetaan tarkempia arvoja, sillä liitoslevyn ja pilarin väliseen hitsisaumaan kohdistuu sekä hitsin akselin suuntaista rasiitusta, että sitä vastaan kohtisuoraa rasiitusta.

Pienahitsin kestävyys oletetaan riittäväksi, kun seuraava ehto täyttyy:

$$F_{w.Ed} \leq F_{w.Rd}$$

Kaava 20. Ehto pienahitsin kestävyydelle.

missä

$F_{w.Ed}$  = hitsin pituusyksikköä kohti vaikuttavan voiman mitoitusarvo

$F_{w.Rd}$  = hitsin kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti.

Hitsin laskentapoikkipinnan suunnasta riippumatta hitsin kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohden lasketaan seuraavasti:



$$F_{w.Rd} \leq f_{vw.d} \cdot a$$

Kaava 21. Hitsin kestävyden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti.

missä:

$f_{vw.d}$  = hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo, joka lasketaan seuraavasti:

$$f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Kaava 22. Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo.

missä:

$f_u$  = heikomman liitettävän osan vetomurtolujuuden mitoitusarvo  
(SFS-EN 1993-1-8, 47.)

Tässä työssä varsinainen liitoksen hitsisaumaryhmän kestävyys on määritetty kertomalla  $f_{vw.d}$  hitsisaumojen leikkauspinta-alojen summalla.

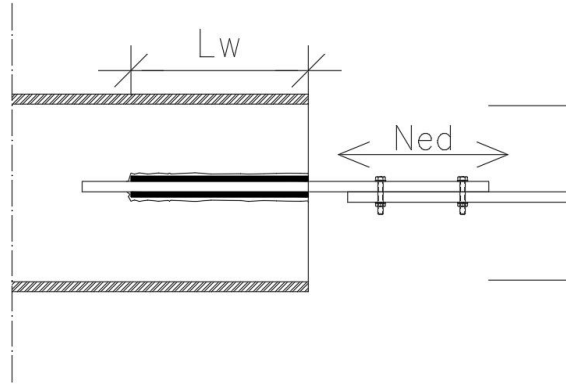
Menetelmien vertailuun yksinkertaisin keino on laskea molemmille tuloksille käyttöasteet. Yksinkertaistetun menetelmän tapauksessa voidaan verrata normaalivoimaa suoraan kestävyden arvoon. Komponenttimenetelmässä tulee vertailla molempien mitoitusehtojen käyttöaste. Näistä käyttöasteista suurempi antaa hitsisaumalle käyttöasteen. Myös komponenttimenetelmien yhtälöistä voidaan ratkaista leikkausvoiman tai normaalivoiman arvo ulos, kun käyttöasteet ovat 100 %. Tuloksena saadaan kaksi kestävyyttä. Jännitysten laskennan tapauskohtaisuuden vuoksi suositeltavampaa on kuitenkin vertailla menetelmien käyttöasteiden arvoja, mikäli vertailua haluaa suorittaa.

Hitsisauman kestävyden käyttöaste tulisi suunnitella siten, että se ei ole mitoittavana tekijänä liitossitkeyden tavoittelun takia.

## 2.8 Putkiprofiilin palamurtuminen hitsiliitoksen kohdalta

Ohuempia rakenneputken ainevahvuuksia käytettäessä putkiprofiili voi palamurtua normaalivoiman suuntaisesti hitsiliitoksen kohdalta. Tämän liitoksen kohdalla murtoviiva on tavanomaista todennäköisempi rakenneputken sisäpintaan toteutuvan hitsipituuden

johdosta. Tavanomaisissa tilanteissa laskentapohjan kestävyyskomponentteja verrattaessa putkiprofiilin palamurtumisen komponentti antaa kuitenkin verrattaen suuria kestävyksiä, jolloin hitsisauman kestävyys usein ylittyy ennen profiilin kestävyyttä. Eurokoodi ei ota kantaa tämän murtotavan kestävyuden määrittämiseen. Kuvassa 8 on esitetty putkiprofiilin palamurtoviiva.



Kuva 8. Putkiprofiilin palamurto hitsiliitoksen kohdalta.

Putkiprofiilin palamurtokestävyys hitsiliitokselle voidaan laskea seuraavasti:

$$V_{eff.w.Rd} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot f_y \cdot A_{nv.w}}{\gamma_{M0}}$$

Kaava 23. Putkiprofiilin palamurtokestävyys.

jossa

$A_{nv.w}$  = Leikkausvoiman rasittama nettopinta-ala. (Packer ym., 79–80.)

Leikkausvoiman rasittama pinta-ala on hitsisaumojen lukumäärästä riippumatta neljä kertaa putken ainevahvuus kerrottuna hitsisauman pituudella. Liitoslevy hitsataan aina putken vastakkaisiin seinämiin kiinni, jolloin palamurtumisen tunnusmerkkien

täyttymiseksi leikkausviivoja tulee olla kaksi per puoli. Vedolle rasiitettua osaa ei huomioida laskennassa sen minimalistisuuden vuoksi.

## 2.9 Liitoksen kestävyys

Liitoksen mitoituskestävyyden määrittää tässä tapauksessa se kestävyys, joka antaa pienimmän arvon. Hyvää suunnittelutapaa noudatettaessa liitosgeometria kannattaa pyrkiä valitsemaan siten, että minimikestävyyden arvon antaa jokin sitkeä kestävyyskomponentti, jolla säilytetään kantokyky, vaikka myötöraja ylitetään. Tämän liitoksen tapauksessa esimerkiksi reunapuristuskestävyys olisi tavoiteltava minimikestävyys, jolloin huomattavat muodonmuutokset ovat plastisoitumisen johdosta mahdollisesti nähtävissä ennen liitoksen murtumista. Muita sitkeitä minimikestävyyksiä ei ole tämän liitoksen tapauksessa kohtuullista tavoitella.

Hauraan murtotavan yhteydessä rakenteen kantokyvyn ylityksestä ei tavallisesti näy varoittavia merkkejä ennen murtoa ja vaurioituminen tapahtuu äkillisesti, kun myötöraja ylitetään. Tämänkaltaisia murtotapoja ovat esimerkiksi ruuvien leikkaus, palamurto ja liittolevyn veto. (VTT 2006, 34-38.)

Putkiprofiileista 120x120 halkaisijalla olevat putket ovat riittävän leveitä, niin että ruuveja mahtuu liitoslevylle voimaa vastaan kohtisuorassa suunnassa kaksi vierekkäin. Sitä pienemmällä sauvoilla tyypillisin tapaus on kaksi ruuvia voiman suunnassa. Näistä jälkimmäisellä tapauksella saavutetaan suurempia kapasiteetteja, mutta liitos vaatii enemmän tilaa sauvan suunnassa. Optimalisempi ratkaisu on kaksi ruuvia vierekkäin, jolloin liittolevyn pituus on lyhyempi sekä sauvan puolella että tukevan rakenteen puolella.

### 3 NIVELELLINEN PILARI-PALKKI-RIPALEVYLIITOS

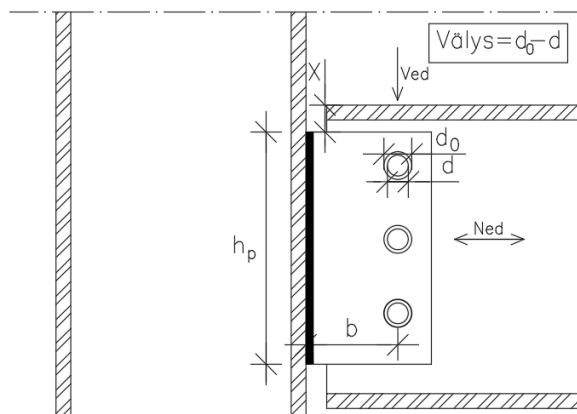
#### 3.1 Liitoksen käyttäytyminen

Edellä läpikäytyjen kestävyyksien tarkasteluja voidaan soveltaa myös seuraavaan liitokseen. Tämä liitostyyppi käsittelee pilari-palkki ripalevyliitosta, jossa avoprofiilinen palkki tukeutuu uumasta pultatun liitoslevyn välityksellä pilariin. Liitos oletetaan nivelelliseksi, ja sen suunnittelussa kiinnitetään huomiota siihen, ettei liitos ala ottamaan momenttia vastaan kiertymien yhteydessä.

Tässä työssä tarkastellaan kyseistä liitosta seuraavilta osin:

- ruuviryhmän kiertymiskyvyn tarkastus
- ruuvien leikkauskestävyys
- liitoslevyn ja palkin uuman reunapuristuskestävyys
- putkiprofiilin tapauksessa profiilin pinnan myötääminen
- liitoslevyn sekä palkin uuman palamurtumiskestävyys
- hitsisaumojen kestävyys

Nivelellinen pilari-palkki-liitos esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Nivelellinen ripalevyliitos.

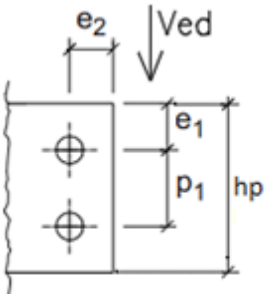
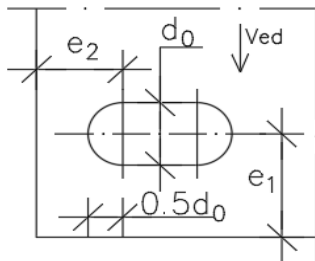
## 3.2 Liitosgeometria

### 3.2.1 Reuna- ja keskiöetäisyydet

Luvun 2.2 taulukossa 1 esitetyt ehdot ruuvien sijoittamiselle pätevät tässäkin tapauksessa. Liitoksen kannalta merkittäviä ehtoja ovat vain muutamat, joten tätä liitosta varten on tehty seuraavanlainen yksinkertaistus.

Taulukko 6. Pienimmät reunaetäisyydet ja keskiövälit (SFS-EN 1993-1-8, 24).

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli	Minimiarvo Pyöreä reikä	Minimiarvo Pidennetty reikä
Päätyetäisyys $e_1$	$1,2d_0$	$1,5d_0$
Reunaetäisyys $e_2$	$1,2d_0$	$1,5d_0$
Keskiöväli $p_1$	$2,2d_0$	$2,2d_0$
Keskiöväli $p_2$	$2,4d_0$	$2,4d_0$

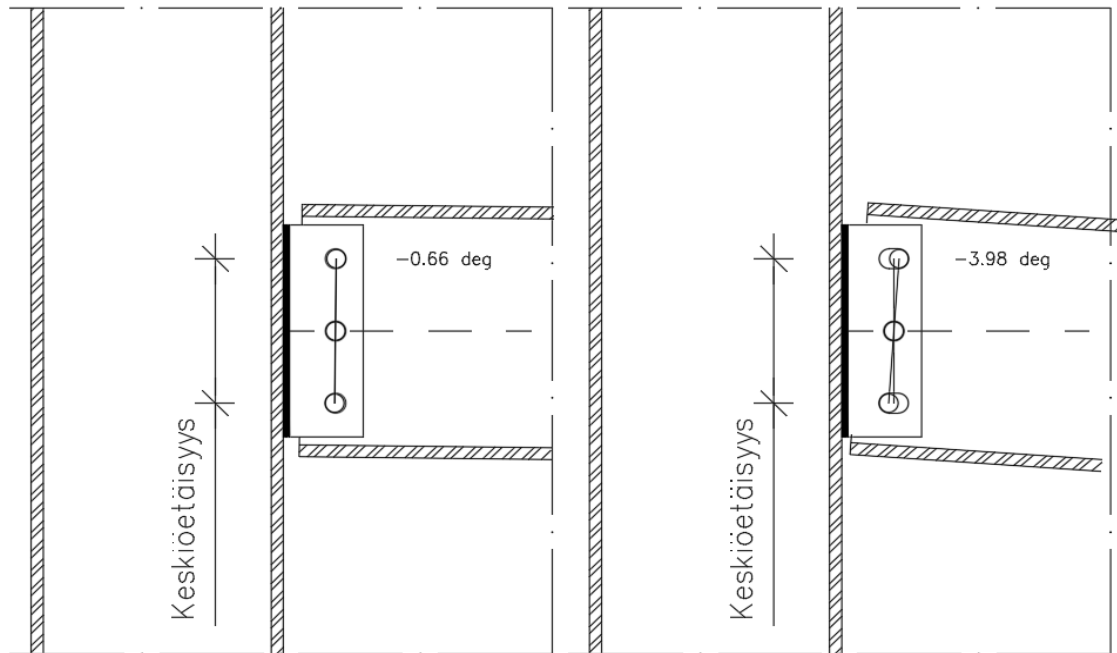



Kuva 10. Reunaetäisyyksien määrittäminen pidennetyssä reiässä (SFS-EN 1993-1-8, 25).

### 3.2.2 Kiertymiskyvyn tarkastelu

Kun liitoslevyn ylimmän ja alimman reiän keskiöetäisyydet kasvavat niin suureksi, ettei palkki pääse kiertymään taipumarajan mukaista kiertymää ilman, että ruuvit leikkautuvat levyä vasten, liitoslevyssä käytetään pidennettyjä reikiä. Pidennetyt reiät sijoitetaan reunimmaisiiin ruuveihin, jossa ruuvien siirtymät ovat suurimmat. Liitoslevyn keskilinjalle sijoittuvien ruuvien reiät jätetään normaaleiksi pyöreiksi reikiiksi. Näin palkki kiertyy tuella

oman levyn keskiakselin ympäri ja ruuvien siirtymät jakautuvat tasan liitoslevyn ylä- ja alareunassa. Riippuen liitoksen ruuvien lukumäärästä, ”saranaruuveja” voi olla useampi kuin yksi. Ruuvilukumääräkohtaiset reikien sijoittelut pidennettyjen reikien tapauksessa esitetään myöhemmin.



Kuva 11. Pidennettyjen reikien vaikutus maksimikiertymään ja reunimmaisten ruuvien keskiöetäisyys eräässä liitoksessa.

Maksimikiertymä on rajattu tapauksessa palkin suurimman sallitun taipuman määrittämään kiertymään. Yksiaukkoisen nivelellisesti tuetun palkin taipuma  $v$  kohdassa  $x$  voidaan laskea seuraavasti:

$$v(x) = \frac{q \cdot L^4}{24 \cdot E \cdot I} \left[ \frac{x}{L} - 2 \left[ \frac{x}{L} \right]^3 + \left[ \frac{x}{L} \right]^4 \right]$$

Kaava 24. Palkin taipuma kohdassa  $x$ .

missä:  $q$  = viivakuorma palkille ( $kN/m$ )  
 $L$  = palkin jänneväli ( $mm$ )  
 $x$  = tarkasteltava kohta jännevälillä ( $mm$ )  
 $E$  = palkin materiaalin kimmokerroin ( $MPa$ )  
 $I$  = palkin jäyhyysmomentti taivutettavan akselin suhteen ( $mm^4$ )

Kun edellä mainitulla kaavalla lasketaan palkin maksimitaipumaa, tulee muuttujan  $x$  kohdalle sijoittaa  $0,5L$  jolloin saadaan taipuma jännevälin keskellä. (Outinen & Salmi, 205.)

Sijoittamalla muuttujan  $v(x)$  tilalle arvo  $L_{sall}$  ja sijoittamalla muuttujan  $x$  kohdalle  $\frac{L}{2}$  ja ratkaisemalla  $q$  saadaan maksimiviivakuorma suurimman sallitun taipuman suhteen:

$$q_{max} = \frac{24 \cdot E \cdot I \cdot L_{sall}}{L^4 \cdot \left[ \frac{1}{2} - 2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \right]^3 + \left[ \frac{1}{2} \right]^4 \right]}$$

Kaava 25. Palkin maksimiviivakuorma suurimman sallitun taipuman suhteen.

Muuttujaa  $q_{max}$  voidaan käyttää kiertymän laskentaan. Kaava yksiaukkoisen nivelellisesti tuetun palkin kiertymälle kohdassa  $x$  saadaan Derivoimalla  $v(x)$ :

$$v'(x) = \frac{q(4x^3 - 6L \cdot x^2 + L^3)}{24 \cdot E \cdot I}$$

Kaava 26. Palkin kiertymä kohdassa  $x$  (Outinen & Salmi, 205.)

Sijoittamalla kaavan  $v'(x)$  muuttujan  $q$  tilalle  $q_{max}$  ja muuttujan  $x$  tilalle  $0$ , jolloin laskentajainti on tuella, saadaan:

$$v'(0) = \frac{q_{max} \cdot L^3}{24 \cdot E \cdot I} = \varphi$$

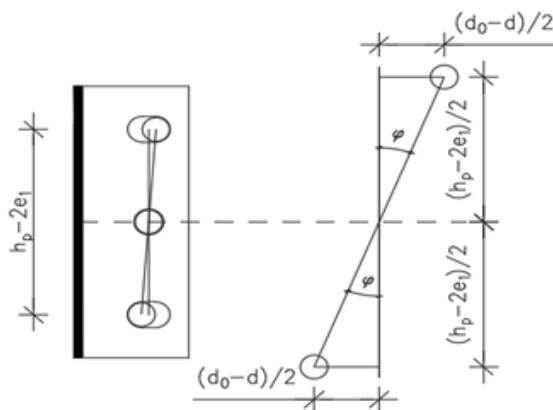
Kaava 27. Palkin kiertymä tuella, kun palkkia kuormitetaan maksimitaipumarajaa vasten.

Liitoksen ylimmän ja alimman ruuvin keskiöetäisyyksien laskentaa varten  $v'(x)$  käytetään ruuvilinjan kiertymänä  $\varphi$ , jolloin ylimmän ja alimman ruuvin suurimmat sallitut keskiöetäisyydet voidaan laskea yksinkertaisesti palkin kiertymän ja kolmion geometrian avulla. Kaikista ulompien ruuvien siirtymää tarkastellessa ruuvien keskiöetäisyyden on täytettävä ehto:

$$(h_p - 2 \times e_1) < 2 \left[ \frac{(d_0 - d)/2}{\tan(\varphi) \text{deg}} \right]$$

Kaava 28. Ylimmän ja alimman ruuvin maksimi keskiöetäisyys.

Kuvassa 13 on esitetty liitoslevyn rei'itysperiaate erilaisilla ruuvilukumäärillä. Kuvasta on nähtävissä, että mitkä keskiöetäisyydet tulisi tarkastaa kaavan 28 epäyhtälön kanssa.

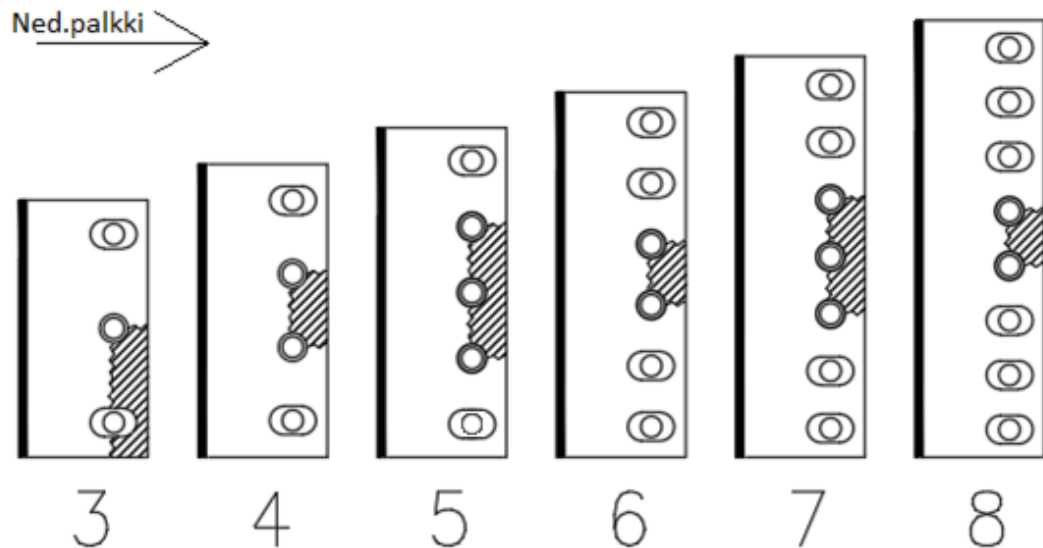


Kuva 12. Ruuvilinjan suurin sallittu kiertymä.

Kuvassa 13 esitetään edellä mainittujen ”saranaruuvien” ja pidennettyjen reikien sijoittelu. Tavoitteena on saada palkin kiertyminen tapahtumaan liitoslevyn suhteen keskeisesti. Kuva havainnollistaa, miten normaalivoimapainotteisessa kuormituksessa



rasituksia vastaan ottavien ruuvien määrä vähenee, kun käytetään pidennettyjä reikiä. Pystysuuntaisessa kuormituksessa kaikki ruuvit ottavat rasituksia vastaan.



Kuva 13. Liitoslevyjen rei'ityisperiaate ja murtoviivat normaalivoimalle, kun käytetään pidennettyjä reikiä

Normaaleita pyöreitä reikiä käytettäessä suurin sallittu keskiöetäisyys kiertymälle voidaan laskea edelleen samalla tavalla kuin aiemmin. Ainoana muuttuvana asiana on ruuvivälys, jolloin suurimmat etäisyydet rajoittuvat huomattavasti. Järkevällä geometrialla liitos voidaan tehdä ilman pidennettyjä reikiä maksimissaan kolmella ruuvilla.

Kiertymistarkastelu tulisi tehdä ainakin ylimmälle ja alimmalle ruuville. Ruuvilukumäärän ollessa neljä tai enemmän myös saranaruuvien kiertymiskyky tulee tarkastaa, sillä korkeissa liitoksissa keskiöetäisyydet voivat kasvaa suuriksi.

Palkin uuman reiät tullaan tekemään aina normaaleina pyöreinä reikinä, jolloin liitoslevyn usein suurempi ainevahvuus kompensoi paremmin pidennettyjen reikien johdosta tulevaa reunapuristuskestävyyden eurokoodin mukaista pienennystä ja reunapuristuskapasiteetit saadaan kohtalaisen lähelle toisiaan. Myös palkin uuman puolella pätevät samat säännöt reunaetäisyyksille. Etenkin palkin uuman  $e_2$  minimiehdon toteutumiseen tulee

kiinnittää huomiota palkin ja pilarin väliin jätettävän välyksen takia, koska ohuen uuman reunapuristuskestävyys osoittautuu usein mitoittavaksi tekijäksi.

### 3.3 Ruuvien leikkauskestävyys

Ruuvien leikkauskestävyyden määrittäminen muuttuu tämän liitoksen tapauksessa, vaikka luvun 2.3.2 laskentamenetelmät yhden ruuvin leikkauskestävyydelle pätevät edelleen myös tähän liitokseen. Kahden eri kuormitussuunnan kuormitusresultantti on usein jotain normaalivoiman ja leikkausvoiman suunnan väliltä, jolloin ruuviryhmän leikkauskestävyys on pidennettyjen reikien tapauksessa erisuuri pysty- ja vaakasuuntaan, sillä normaalikokoisessa pyöreässä reiässä ruuvi alkaa leikkautumaan normaalivoiman suunnassa ennen pidennetyin reiän ruuvia.

Tämän liitoksen osalta jokaisen ruuvin kestävyys tarkastellaan erikseen. Voimien oletetaan jakaantuvan tasan niille ruuveille, jotka ottavat voiman suunnassa rasitusta vastaan. Ruuvityyppejä laskennassa tulee olemaan kahdenlaisia: saranaruuvi sekä muu ruuvi. Saranaruuvit ottavat sekä palkin normaalivoimasuuntaista että leikkausvoiman suuntaista rasitusta vastaan. Muut ruuvit ottavat vain leikkausvoimasuuntaisia rasituksia vastaan. Mikäli kaikki reiät ovat normaaleja pyöreitä reikiä, kaikki ruuvit käyttäytyvät saranaruuvien tavoin.

Kun kuormitussuuntia on kaksi, voidaan horisontaalisesta ja vertikaalisesta komponentista muodostaa resultantti ja verrata sen arvoa ruuvien leikkauskestävyyteen, mikäli ruuvien reiän geometria sallii sen. Näin ollen saranaruuveilla voidaan käyttää resultanttia ja muilla ruuveilla vain leikkausvoiman suuntaista komponenttia, mikäli kyseessä on pidennetyt ruuvireiät.

Yksittäisen ruuvien käyttöasteen laskenta:

$$KA_{saranaruuvi} = \frac{\sqrt{\left[\frac{V_{ed}}{N_{ruuvi}}\right]^2 + \left[\frac{N_{ed}}{N_{saranaruuvi}}\right]^2}}{F_{v,Rd}}$$

Kaava 29. Saranaruuvien leikkauskestävyyden käyttöaste.

$$KA_{\text{muuruuvi}} = \frac{Ved}{\frac{N_{\text{ruuvi}}}{F_{v.Rd}}}$$

Kaava 30. Muiden ruuvien leikkauskestävyyden käyttöaste.

### 3.4 Reunapuristuskestävyys

Myös reunapuristuskestävyyden laskenta muuttuu monimutkaisemmaksi vinon kuormitusresultantin myötä. Kun ruuviin kohdistuva voima ei ole päätyetäisyyksien  $e_1$  ja  $e_2$  suuntainen, reunapuristuskestävyys voidaan laskea tarkistamalla reunapuristuskestävyys päätyetäisyyksien  $e_1$  ja  $e_2$  suuntaisille komponenteille erikseen. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4).

Tässä liitoksessa huomioidaan liitoslevyn ainevahvuuden lisäksi myös palkin uuman ainevahvuus, jolloin reunapuristuskestävyydet lasketaan molemmille erikseen. Tämän liitoksen laskentapohjaa varten on katsottu järkeväksi laskea käyttöaste yksittäiselle ruuville liitoksen ruuviryhmän kestävyuden sijasta, jolloin ruuvien kestävyudet jaotellaan seuraavasti:

#### Liitoslevylle

Pitkien reikien tapaus:

- käyttöaste saranaruuville
- käyttöaste levynpään ruuville
- käyttöaste muulle kuin levynpään ruuville.

Norm. reikien tapaus:

- käyttöaste levynpään ruuville
- käyttöaste muulle kuin levynpään ruuville.

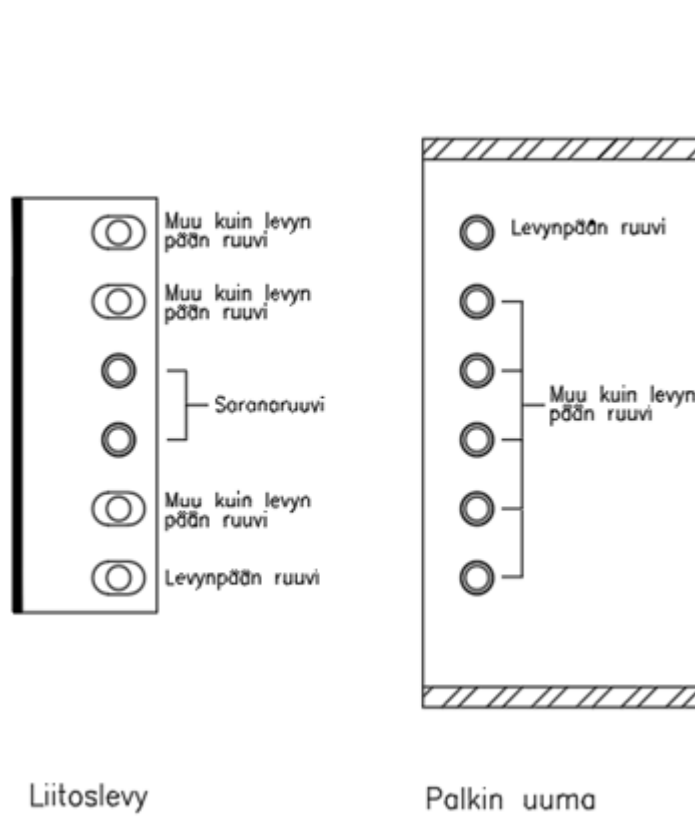
## Palkin uumalle

Norm. reikien tapaus:

-käyttöaste levynpään ruuville

-käyttöaste muulle kuin levynpään ruuville.

Kuvassa 14 on esitetty kunkin ruuvin sijoittuminen liitoksessa.



Kuva 14. Ruuvityyppien nimeäminen reunapuristuslaskentaa varten.

Reunapuristuskestävyydet lasketaan sekä vertikaaliseen että horisontaaliseen suuntaan riippuen onko laskettavan ruuvien reikä pidennetty vai ei. Ruuvikohtaiset reunapuristuksen käyttöasteet voidaan määrittää seuraavasti:

$$KA_{reunapuristus.saranaruuvi} = \sqrt{\left[ \frac{Ved}{F_{b.Rd2.V}} \right]^2 + \left[ \frac{Ned}{F_{b.Rd2.H}} \right]^2}$$

Kaava 31. Reunapuristuksen käyttöaste saranaruuille.

missä:

$F_{b.Rd2.V}$  = Saranaruuvien reunapuristuskestävyys, vertikaalinen suunta.

$F_{b.Rd2.H}$  = Muun kuin reunarivin ruuvien reunapuristuskestävyys, horisontaalinen suunta.

$$KA_{reunapuristus.levynpäänruuvi} = \frac{Ved}{F_{b.Rd1.V}}$$

Kaava 32. Reunapuristuksen käyttöaste levynpään ruuville, kun pidennetty reikä.

missä:  $F_{b.Rd1.V}$  = Levyn pään ruuvien reunapuristuskestävyys, vertikaalinen suunta.

$$KA_{reunapuristus.levynpäänruuvi} = \sqrt{\left[ \frac{Ved}{F_{b.Rd1.V}} \right]^2 + \left[ \frac{Ned}{F_{b.Rd1.H}} \right]^2}$$

Kaava 33. Reunapuristuksen käyttöaste levynpään ruuville, kun normaali pyöreä reikä.

missä:

$F_{b.Rd1.H}$  = Levyn pään ruuvien reunapuristuskestävyys, horisontaalinen suunta.

$$KA_{reunapuristus.muukuinlevynpäänruuvi} = \sqrt{\left[ \frac{Ved}{N_{ruuvi}} \right]^2 + \left[ \frac{Ned}{N_{saranaruuvi}} \right]^2} \cdot \sqrt{\frac{F_{b.Rd3.V}}{F_{b.Rd2.H}}}$$

Kaava 34. Reunapuristuksen käyttöaste muulle, kuin levynpään ruuville, kun normaali pyöreä reikä.

missä:

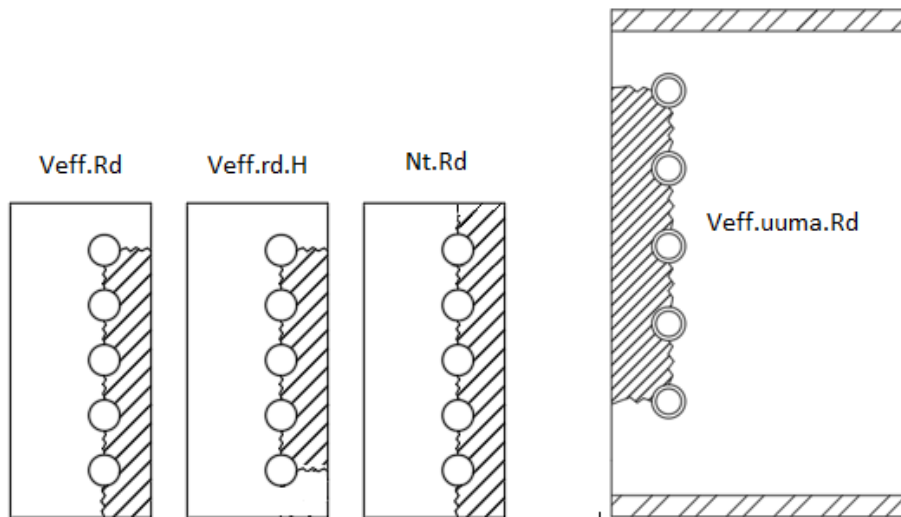
$F_{b.Rd3.V}$  = Muun kuin levyn pään ruuvin reunapuristuskestävyys. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)

Laskentaesimerkkiä seuraa liitteessä 2.

### 3.5 Palamurtumiskestävyys

Aikaisempaan normaalivoimarasitettuun sideliitokseen verrattuna tämän liitoksen palamurtumisviivoja on huomattavasti vähemmän. Pelkästään leikkausvoimarasitetulle liitokselle tarkasteltavia murtoviivoja olisi vain yksi. Ripalevylitosta voidaan kuitenkin myös käyttää tilanteissa, joissa palkki voi toimia myös sitovana rakennneosana ja ottaa normaaliivoimaa vastaan.

Tämän liitoksen tapauksessa tässä työssä on käsitelty kuvassa 15 esitetyt murtoviivat liitoslevylle ja palkin uumalle.



Kuva 15. Huomioitavat palamurtoviivat työn ripalevyliitokselle.

Liitoslevylle näistä murtoviivoista tavanomaisin on ensimmäinen vasemmalta. Seuraavan tapauksessa normaalivoiman tulee olla todella huomattava verrattuna leikkausvoimaan ja reunaetäisyyksien pieniä. Viimeinen murtoviiva lasketaan liitoslevyn nettopoikileikkauksen vetokestävyytenä, joka on käsitelty luvussa 2.3.

Käyttöasteet palamurtokestävyyksille lasketaan seuraavanlaisesti:

$$KA_{V_{eff.Rd}} = \frac{V_{ed}}{V_{eff.Rd.V}} + \frac{N_{ed}}{V_{eff.Rd.H}}$$

Kaava 35. Palamurtokestävyyden  $V_{eff.Rd}$  käyttöaste.

$$KA_{V_{eff.Rd.H}} = \frac{N_{ed}}{V_{eff.Rd.H}}$$

Kaava 36. Palamurtokestävyyden  $V_{eff.Rd.H}$  käyttöaste.

$$KA_{N_{t.Rd}} = \frac{V_{ed}}{N_{u.Rd.V}} + \frac{N_{ed}}{N_{u.Rd.H}}$$

Kaava 37. Liitoslevyn nettopoikkileikkauksen kestävyys  $N_{t.Rd}$  yhdistetty käyttöaste.

$$KA_{V_{eff.uuma.Rd}} = \frac{N_{ed}}{V_{eff.uuma.Rd}}$$

Kaava 38. Palkin uuman palamurtokestävyys  $V_{eff.uuma.Rd}$  käyttöaste. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 3.4.)

### 3.6 Putkiprofiilisen pilarin pinnan kestävyys

Putkiprofiiliseen pilariin liityttäessä pilarin pinta saattaa alkaa myötäämään ruuvilinjan epäkeskisyydestä aiheutuvasta momentista, joka aiheuttaa liitoslevyn välityksellä erimerkkiset kuormitukset pilarin pintaa vasten kohtisuoraan suuntaan.

Pilarin pinnan kestävyys:

$$N_{1.Rd} = \frac{k_m \times f_{y0} \times t_0^2}{1 - \frac{t_1}{b_0}} \times \frac{2 \times \frac{h_p}{b_0} + 4 \times \sqrt{1 - \frac{t_1}{b_0}}}{\gamma_{M5}}$$

Kaava 39. Putkiprofiilin pinnan kestävyys myötäämiselle.

missä:

$t_1$  = liitoslevyn ainevahvuus

$t_0$  = putkiprofiilin ainevahvuus



$k_m = \min(1,3 - 1,3 \times |n|; 1,0)$  puristetulle pilarille

missä:

$$n = \frac{N_{0.Ed}}{A_0 \times \frac{f_{y0}}{\gamma_{M5}}} + \frac{M_{0.Ed}}{W_{el.0} \times \frac{f_{y0}}{\gamma_{M5}}}$$

Kaava 40. Neliön ja suorakaiteen muotoisten paarteiden  $N_{0.Ed}$ :n ja  $M_{0.Ed}$ :n aiheuttaman puristusjännityksen suhde myötölujuuden mitoitusarvoon.

missä:

$N_{0.Ed}$  = Pilarissa vaikuttava normaalivoima. (SFS-EN 1993-1-8, taulukko 7.13.)

Momenttikestävyys putkiprofiilisen pilarin pinnalle on määritetty seuraavasti:

$$M_{i.P.1Rd} = \frac{N_{1.Rd} \times h_p}{2}$$

Kaava 41. Putkiprofiilin pinnan momenttikestävyys liitoslevyn momentille.

(Ongelin & Valkonen 2016, taulukko 11.3.15.)

### 3.7 Hitsiliitoksen kestävyys

Tämän liitoksen pienahitsien kestävyys voidaan määrittää luvun 2.7 mukaisen komponenttimenetelmän avulla. Menetelmän jännitteiden laskennassa tulee kuitenkin huomioida normaalivoiman vaikutus. Normaalivoiman vaikutus lisätään hitsin akselia vastaan kohtisuoraan leikkausjännitykseen. Liitoksen hitsisauman jännitteet on laskettu seuraavasti:

$$\tau_{\parallel} = \frac{Ved}{2 \cdot a \cdot (h_p + t)}$$

Kaava 42. Hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys.

$$\tau_{\perp} = \frac{Ved \cdot b}{W_{el,p}} \cdot \frac{t}{2\sqrt{2} \cdot a} + \frac{Ned}{h_p \cdot t} \cdot \frac{t}{2\sqrt{2} \cdot a}$$

Kaava 43. Hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys.

missä:

$W_{el,p}$  = Liitoslevyn plastinen taivutusvastus. (SFS 2373, 31.)

### 3.8 Liitoksen kestävyys

Liitoksen kestävyden varmentaminen on mitoitus pohjassa koettu järkevämmäksi määrittää käyttöasteilla, sillä liitoksen tilanteen kannalta oikeiden kestävyysien huomiointi osoittautui monimutkaiseksi tapauskohtaisten tilanteiden takia. Käyttöasteiden laskentaan oli melko yksinkertaisesti toteutettavissa laskentaa automatisoivia ehtoja, joilla tulokset ovat realistisia kullakin ruuvilukumäärällä ja pidennettyjen reikien asetuksella.

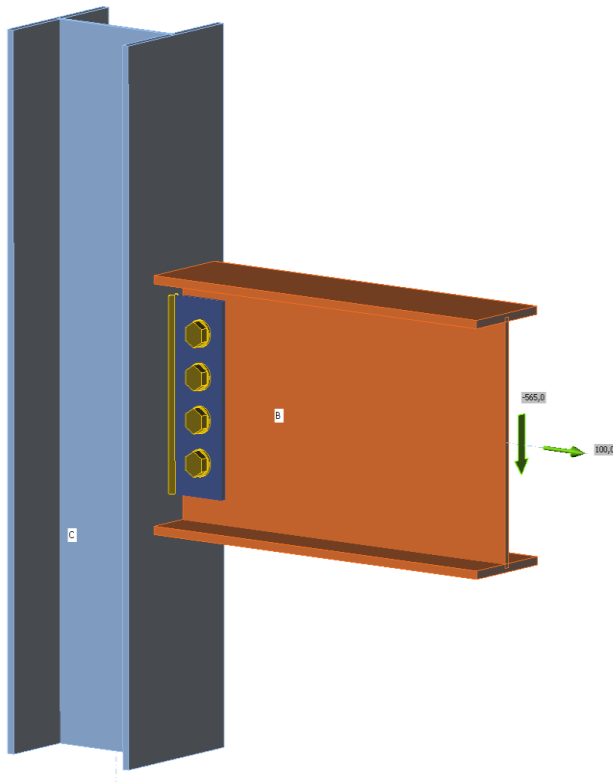
Mitoittajan tulisi tämänkin liitoksen tapauksessa pyrkimään valitsemaan liitosgeometria siten, että mitoittavana tekijänä olisi joko liitoslevyn tai palkin uuman reunapuristuskestävyys, jolloin saavutetaan sitkeästi käyttäytymistä rajatilakuormien ylityksien yhteydessä.

Palkkikokojen pienentyessä merkittävästi alle palkkikokojen IPE200/HEA200 ripalevyliitoksen hitsisauman pituus alkaa olla niin lyhyt, että on vaikea välttää siltä, että siitä muodostuu mitoittava tekijä. Liitoksen käyttäytyminen muuttuu tällöin hauraaksi, joten matalien avoprofiilipalkkien käyttö sellaisenaan tällä liitoksella ei ole suositeltavaa.

## 4 MITOITUSPOHJIEN JA FEM-LASKENTA-OHJELMAN VERTAILU

Työn laskentapohjien tuloksia on vertailtu FEM-laskentaohjelman antamiin arvoihin, kun käytetään vastaava geometriaa. FEM-laskentaohjelman tarjoamat maksimikestävyydet olivat järjestään suurempia sen laskennan luonteen johdosta. Idea Statican kestävyysarvot määritetään sallittujen muodonmuutosten perusteella, kun taas työssä tehtyjen laskentapohjien tulokset perustuvat täysin eurokoodimitoitukseen.

Idea Statica kuitenkin tarjoaa joitakin eurokoodikaavoin laskettuja arvoja laskentareportissa. Näitä ovat lähinnä ruuvikohtaiset leikkauskestävyydet, reunapuristuskestävyydet ja rasitukset sekä hitsiliitosten käyttöaste komponenttimenetelmällä. Hitsisaumojen jännitysten laskentaa ei ole ohjelmassa nähtävillä.



Kuva 16. 3D-malli eräästä ripalevyliitoksesta Idea Statica 9 -ohjelmassa.

Kuvassa 16 on esitetty 3D-malli yksiaukkoisen välipohjapalkin liitoksesta, josta tehdään FEM-ohjelman sekä laskentapohjien väliset vertailulaskelmat.

#### 4.1 Vertailuesimerkki 1

Valitaan laskentavertailuun kuvan 17 ripalevyliitos:

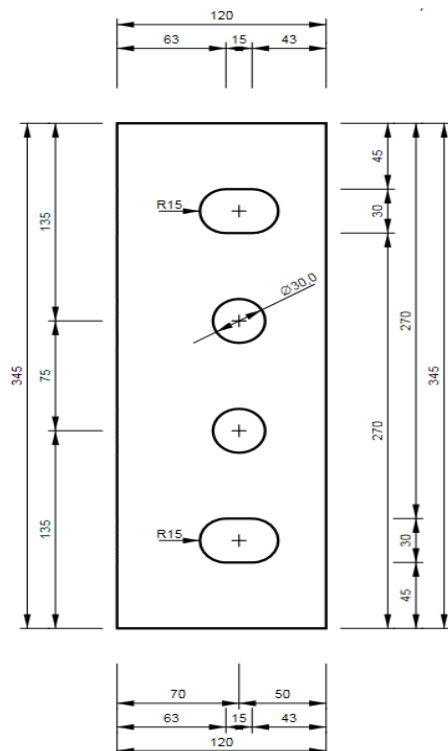
Palkki: IPE 450

Pilari: HEA 300

Hitsisauman a-mitta: 6mm

Ruuvikoko: M27

Liitoslevyn geometria:



Kuva 17. Liitoslevyn geometria Idea Statican tulosteessa.

Liitteessä 2. on tarkasteltavissa tämän liitoksen laskenta kokonaisuudessaan. Siitä käy ilmi, miten vastaavan geometrian syöttäminen toteutetaan laskentapohjaan. Geometrioiden syöttämisen jälkeen laskentapohjalla voidaan lähteä kokeilemaan eri kuormitusten käyttöasteita. Molemmissa ohjelmissa valitaan palkille kiinteäksi normaalivoimaksi 100 kN.

Idea Staticalla voidaan syöttää liitokselle jokin alustava kuormitus, jonka jälkeen design resistance -toiminnolla voidaan laskea, kuinka pitkälle kyseisten kuormitusten resultanttivektori on vielä skaalattavissa ylöspäin. Näin ollen normaalivoiman pitäminen samassa arvossa ei suoraan tällä menetelmällä onnistu. Siispä aluksi on lähdetty kokeilemaan liitoksen kestävyyttä pelkällä leikkausvoimalla. Määritellylle leikkausvoimalle on saatu suurin sallittu skaalauskerroimen. Tämän jälkeen leikkausvoiman arvoksi on asetettu skaalatun leikkausvoiman arvo ja palkkiin on lisätty 100 kN normaalivoimaa(veto), jonka jälkeen skaalauskerroin muuttui pienemmäksi kuin 100 %. Tämän jälkeen leikkausvoiman arvoa laskettiin, kunnes design resistancen skaalauskerroin asettui suoraan arvoon 100%, eli kuormitus vastasi ohjelman laskemaa maksimikuormitusta.

Idea Staticalla liitoksen maksimirasitusten arvoiksi saatiin

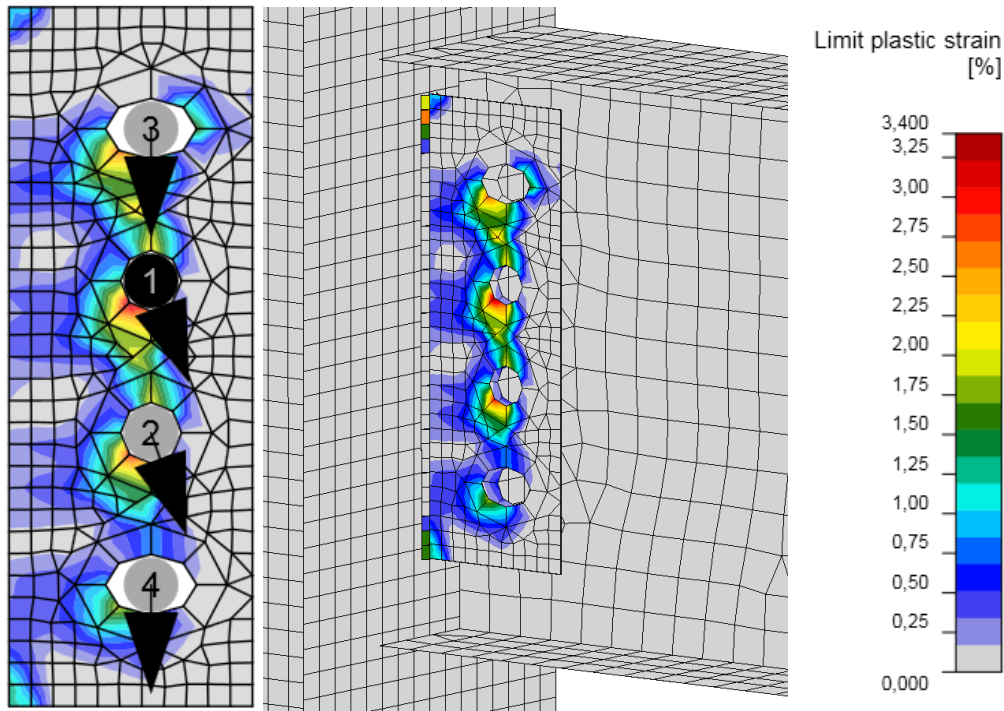
$$V_{ed} = 565 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 100 \text{ kN}$$

Mitoittavana tekijänä laskentareportin perusteella ruuvien käyttöaste: 148 %

Tarkemmin raporttiin perehdyttäessä huomataan, että kyse ei ole ruuvien leikkauskestävyyden käyttöasteesta, vaan reunapuristuskestävyyden käyttöasteesta. Reunapuristuskestävyyden käyttöasteen arvon ollessa yli 100% liitoslevyssä on tapahtunut plastisoitumista. Käyttöasteen ollessa alle 100% liitoslevy on vielä kimmoisella alueella. Eurokoodikaavoilla lähtökohtaisesti käyttöasteiden tulee olla alle 100%, jolloin plastisuusteorian mukainen kestävyys jää hyödyntämättä.

Tulosraportin lisäksi kannattaa perehtyä tarkemmin ohjelman tarjoamiin graafisiin tuloksiin koskien jännityksiä ja muodonmuutoksia. Kuvassa 18 näkyvät harmaasta poikkeavat väritykset kuvaavat, kuinka monta prosenttia sallitusta muodonmuutoksesta ollaan saavutettu. Suurin sallittu prosentuaalinen muodonmuutos on standardina asetettu arvoon 5%.



Kuva 18. Plastiset muodonmuutokset liitoslevyssä ja ruuvivoimien resultantit liitoksen FEM-laskennan mukaisella maksimikuormituksella.

Kuvan 18 muodonmuutosten graafisesta esityksestä huomataan, että muodonmuutoksia tapahtuu jokseenkin kuvan 19 palamurtoviivan mukaisesti. Esityksestä on kuitenkin vaikea tulkitä, onko levy lähdössä tällä kuormituksella palamurtoon tai kuinka kaukana palamurron aiheuttamasta kuormituksesta oltaisiin.

Kuormitusta lisättäessä värikoodaus pysyy samanlaisena mutta prosentuaalinen skaalaus muuttuu.

Eurokoodipohjaisella laskentapohjalla maksimirasitusten arvoiksi saatiin huomattavasti matalampia arvoja:

$$V_{ed} = 332 \text{ kN}$$

$$N_{ed.palkki} = 100 \text{ kN}$$

Palamurtokestävyydelle saadaan eurokoodin avulla laskettua arvot yksinkertaisesti. Tilanteessa, jossa normaalivoima vaikuttaa leikkausvoiman kanssa samanaikaisesti ei ole olemassa tarkkoja ohjeistuksia. Yleinen käsitys on, että yhteisvaikutus voidaan tarkastaa kuvassa 19 esitetyn lineaarisen yhteisvaikutuksen avulla. (Kouhi 2015, 50.)

Mitoittavana tekijänä laskentapohjassa oli tässä laskennassa palamurtokestävyyden käyttöaste. Liitteen 2 sivuilla 6 ja 7 on tarkasteltavissa palamurtokestävyyttä käsittelevät kohdat laskentatulosteessa.

Vertaillaan seuraavaksi reunapuristuskestävyyksien arvoja, kun laskentapohjassa kuormat asetetaan FEM-laskentamallin maksimia vastaavaksi. Idea-Statican tulosten reunapuristuskestävyyksien arvoista mainittakoon tässä, että ruuveille 1 ja 2 kestävyys on määritetty palkin uuman reunapuristuskestävyydelle ja ruuveille 3 ja 4 kestävyys on määritetty liitoslevyn reunapuristuskestävyydelle.

Reunapuristuskestävyyksien vertailu muodostuu heti ongelmalliseksi, kun huomataan etteivät Idea Statican määrittämät reunapuristuskestävyydet vastaa laskentapohjan tuottamia arvoja. Ongelmalliseksi reunapuristuskestävyyden laskeminen reunaetäisyyksien  $e_1$  ja  $e_2$  suunnista poikkeavaan suuntaan tekee se, että eurokoodistosta ei löydy ohjeistusta tämänkaltaisen tilanteen laskemiselle.

Idea Statica vertaa ruuvikohtaista voimaresultanttia ohjelman määrittämään reunapuristuskestävyyteen. Reunapuristuskestävyyden kertoimet  $k_1$  ja  $\alpha_d$  määritetään ohjelmassa kuvan 23 osoittamalla tavalla. Menetelmä toimii hyvin, kun ruuveja rasittaman voiman resultantti on joko reunaetäisyyden  $e_1$  tai  $e_2$  suuntainen. Ohjelma käyttää kuitenkin vinolle kuormitusresultantille samaa menetelmää, mikä johtaa tilanteen kannalta kelvottomiin/tutkimattomiin tuloksiin.

$$k_1 = \min \left( 2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \frac{P_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right)$$

$$\alpha_d = \min \left( \frac{e_1}{3d_0}, \frac{P_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_y} \right)$$

Kuva 19. Idea Statican menetelmä määrittää kertoimet  $k_1$  ja  $\alpha_d$ .

(<https://resources.ideastatica.com/Content/Home.htm>).

Opinnäytetyön mitoituspohjassa reunapuristuskestävyydet määritetään reunaetäisyyksien  $e_1$  tai  $e_2$  suuntaisten komponenttien suhteen erikseen, jonka jälkeen niiden käyttöasteet neliösummataaan yhdistetyksi käyttöasteeksi.

Verrataan laskentapohjan saranaruuvien reunapuristuksen kestävyttä Idea Statican vastaaviin ruuveihin 1 ja 2. Liitteen 4 sivulta 4 huomataan, että reunapuristuskestävyyden arvoksi on saatu 248,7 kN uuman puolelle. Laskentapohjan vastaavat kestävydet ovat  $F_{b,Rd2.V.uuma} = 145,1$  kN ja  $F_{b,Rd2.H.uuma} = 99,49$  kN.

Käyttöasteet saranaruuveille:

Idea Statica:  $U_{ts} = 83,1\%$  tai  $84,9\%$

Laskentapohja:  $Käyttöaste_{reunapuristus.uuma.muukuinlevynpäänruuvi} = 109,6\%$

Huomataan, että laskentapohjan tulos on varmallalla puolella verrattuna Idea Statican tulokseen.

Hitsisauman käyttöasteen vertailu on melko suoraviivaista FEM-laskentaohjelman ja laskentapohjan välillä. Idea Statica määrittää liitoslevyn molemmille hitsisaumoille oman käyttöasteen. Laskentapohja laskee hitsisaumojen jännitteet yhtenä isompana saumana.

Käyttöasteet hitseille:

Idea Statica:  $U_t = 99\%$ ,  $U_{tc} = 99\%$  ja  $88,5\%$

Laskentapohja:  $Käyttöaste_{hitsi} = 83\%$

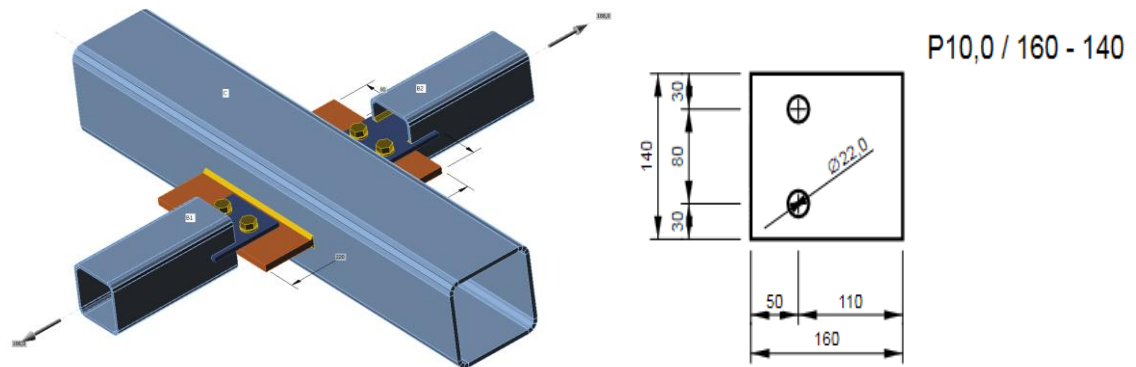
Idea Statican käyttöasteen  $U_t$  arvo vastaa yksittäisen hitsisauman rasitetuimman laskentaelementin käyttöastetta.

$U_{tc}$  vastaa kaikkien laskentaelementtien todellisen jännityksen arvon suhdetta hitsin kestävyuden suunnitteluarvolle koko hitsin pituudella. Näin ollen  $U_{tc}$  on vertailukelpoinen laskentapohjan komponenttimenetelmän perusteella määritetyn hitsin käyttöasteen kanssa. Idea Statica huomioi liitoksen yksileikkeisyydestä aiheutuvan epäkeskisyyden vaikutuksen, mikä aiheuttaa eroavia jännityksiä kahden eri hitsisauman välille. (Idea Statica resource center 2019).

Hitsisaumojen käyttöasteiden ero on huomattava laskentapohjan ja Idea Statican välillä (16% ja 5,5%). Laskentapohjan hitsimitoituksen tuloksia kannattaa vertailla Idea Statican vastaavaan tulosteeseen myös useammassa kuormitustilanteissa, jotta nähdään, onko käyttöasteiden välinen heitto skaalautuvaa.



## 4.2 Vertailuesimerkki 2



Kuva 19. Erään sideliitoksen mallinnus, sekä liitoslevyn geometria Idea Staticalla.

Seuraavaksi vertailuun mallinnettiin kuvan 26 liitos M20 ruuvein ja syötettiin vastaava geometria jatkosliitoksen laskentapohjaan. Idea Staticasta johtuvista syistä liitoslevy on jouduttu loveamaan rakenneputkeen tyypiliitoksesta huolimatta. Hitsisaumat on kuitenkin onnistuttu sijoittamaan putken sisäpintaan ja sauman pituutta on onnistuttu rajoittamaan vastaamaan työn liitoksen tilannetta. Ripalevyliitokseen verrattuna kyseessä on hyvin yksinkertainen tapaus sauvan normaalivoiman suuntaisen rasitusresultantin johdosta.

Jatkosliitoksen kanssa suoritettiin vastaavat kestävyysarvojen ja käyttöasteiden vertailut kuin ripalevyliitoksen tapauksessa. Normaalivoimarasitukseksi syötettiin 188 kN, mikä vastasi laskentapohjassa 99.92 % käyttöastetta liitoksen mitoittavalle ruuvien leikkauskestävyydelle. Tällä kertaa FEM-laskentaohjelman vertailukelpoiset arvot ja laskentapohjan arvot vastasivat lähestulkoon toisiaan. Hitsisauman mitoituksessa laskentapohja käyttää luvun 2.7.3 yksinkertaistettua menetelmää, mikä antaa hieman konservatiivisemmän käyttöasteen (78%), kuin Idea Statica ( $U_{tc} = n. 70\%$ ). Kokonaisuudessaan laskentatulokset ovat vertailtavissa liitteissä 1 ja 3.

## 5 PÄÄTELMÄT

Tässä työssä tarkasteltujen liitosten eurokoodimukainen mitoitus tarjosi haasteita. Ripa-levyliitokseen lisätty normaalivoimarasitus aiheutti eri kestävyyksien laskentaan paljon soveltamista ja kysymyksiä. Mielestäni palamurtokestävyydelle ja reunapuristuskestävyydelle tarvittaisiin laboratoriotestauksia tilanteesta, joissa leikkausvoiman ohella liitosta kuormittaa myös palkin normaalivoima. Tämänkaltaisiin tilanteisiin olisi myös hyvä yhdistellä pidennettyjä reikiä, jotta nähtäisiin, että kuinka konservatiivisia olettamuksia eri komponenttien suuntaisten käyttöasteiden summaamiset ovat.

Opinnäytetyön lopputuotteena on tuotettu Mathcad 15 -pohjaiset laskentapohjat, joilla liitosgeometrian iterointi käy nopeasti. Laskentaohjelmien laskentatuloksia on vertailtu Idea Statica 9:n FEM-laskentaohjelman tuloksiin vastaavalla geometrialla vertailukelpoisten tulosten osalta.

FEM-laskentaohjelman tulosraportti ei ollut tarkkuudeltaan toivottu ja vertailukelpoisia käyttöasteita oli vain osa. Esimerkiksi palamurtuminen pitää todentaa ohjelmassa plastisten muodonmuutosten perusteella, joita ohjelma piirtää levyihin. Tällöin palamurron todentamiseen sisältyy tulkinnanvaraisuus, koska ohjelma keskeyttää laskennan, kun muodonmuutokset ylittävät tietyn rajan. Näin ollen murtoviivat palamurrolle eivät ole aina aivan yksiselitteisiä.

Ongelmana mielestäni FEM-laskentaohjelman tulosraportissa on, että reunapuristuskestävyys ja ruuvin leikkauskestävyys ilmenevät graafisesti samana asiana. Ohjelma valitsee käyttöasteessa kestävyuden arvoksi näistä kahdesta pienemmän arvon. Lisäksi ohjelma vertailee liitoslevyn ja palkin uuman reunapuristuskestävyyksiä samassa taulukossa. Se, kummasta kestävydestä on kyse, on tunnistettavissa vain ohjelman laskentat raportista tarkastelemalla, että mitä ainevahvuutta ohjelma on käyttänyt  $F_{b,Rd}$ :n laskennassa. Mikäli ainevahvuus poikkeaa liitoslevyn ainevahvuudesta. Kyseessä on palkin uuman määrittämä kestävyys.

Tavoitteena oli harjaantua teräslitosten mitoituksessa sekä tuottaa suunnittelutoimistolle eurokoodimitoitukseen perustuvat mitoituspohjat, joita voidaan käyttää toimiston arjessa tehostavina työkaluina. Nämä tavoitteet saavutettiin ja opinnäytetyön työstäminen oli antoisa kokemus.

## LÄHTEET

Idea Statica resource center. Ollut 11.3.2019 saatavilla sähköisesti osoitteesta [https://resources.ideastatica.com/Content/02\\_Steel/Theoretical\\_background/2-EN.htm?Highlight=Eurocode](https://resources.ideastatica.com/Content/02_Steel/Theoretical_background/2-EN.htm?Highlight=Eurocode)

Kaitila, O ym. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 3 oppikirja. Helsinki: Suomen Teräsrakenneyhdistys ry.

Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1993-1-8 Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Asetettu 2017. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kouhi, J. 2015. Eurocode 3 Teräsrakenteiden suunnittelu EN1993-1-8 Liitokset. Helsinki: Suomen teräsrakenneyhdistys ry.

Leino, T. 2006. Staattisesti kuormitettujen hitsausliitosten suunnittelu. Espoo: VTT.

Ongelin, P & Valkonen, I. 2016. SSAB Domex Tube Rakenneputket. EN 1993-käsikirja. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Outinen, H & Salmi, T. 2004. Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy.

Packer, J ym. 1992. Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading. CIDECT Design Guide No 3. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH.

SFS-EN 1090-2. 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1993-Kansallinen liite 28.3.2017, 42

SFS 2373. 1980. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Yuchuan, H. 2011. Bearing behavior of lap joints to thin walled steel plates at ambient and elevated temperatures. Manchester: Manchesterin yliopisto.

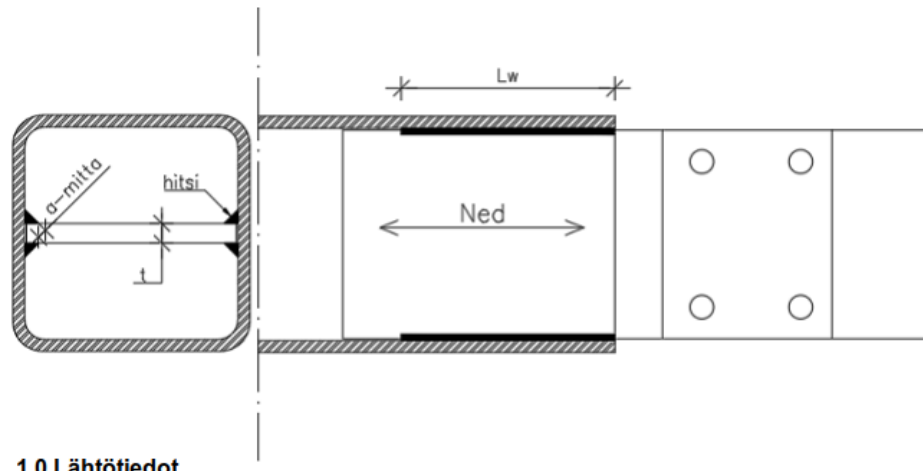
## Mitoituspohjan 1. tuloste

**intro** | GROUP

Projekti:

Tekijä:  
Päiväys: 11.3.2019  
Revisio: 1  
Revision päiväys:  
Revision tekijä:

## Normaalivoiman rasittama sideliitos



## 1.0 Lähtötiedot



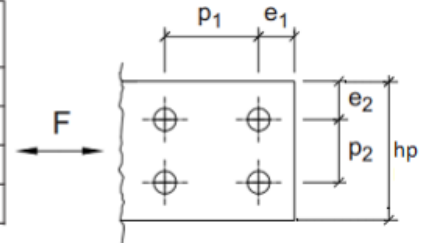
<input type="text" value="120x120x6"/>	Putkiprofiili	<input type="text" value="S355"/>	Teräslaatu, liitoslevy
<input type="text" value="S355"/>	Teräslaatu, putki	<input type="text" value="2"/>	Ruuvien määrä voimaa vastaan kohtisuoraan suuntaan
<input type="text" value="8.8"/>	Ruuvien lujuusluokka	<input type="text" value="1"/>	Ruuvien määrä voiman suuntaan
<input type="text" value="20mm"/>	Ruuvien nimellishalkaisija	<input type="text" value="a := 5mm"/>	Pienahitsin a-mitta
<input type="text" value="ei"/>	Pidennetty reikä	<input type="text" value="4"/>	Hitsien kpl-määrä
<input type="text" value="kyllä"/>	Ruuvien kierteet leikkaustasossa	<input type="text" value="60mm"/>	Yhden hitsisauman pituus, $L_w$
<input type="text" value="N = 2"/>	Ruuvien kokonaismäärä liitoksessa	<input type="text" value="γM0 := 1.0"/>	Osavarmuuskerroin
<input type="text" value="f&lt;sub&gt;ub&lt;/sub&gt; = 800-MPa"/>	Ruuvien murtolujuus	<input type="text" value="γM2 := 1.25"/>	Osavarmuuskerroin
<input type="text" value="f&lt;sub&gt;yb&lt;/sub&gt; = 640-MPa"/>	Ruuvien myötölujuus	<input type="text" value="A&lt;sub&gt;s&lt;/sub&gt; = 245·mm&lt;sup&gt;2&lt;/sup&gt;"/>	Ruuvien poikkipinta-ala kierteiden kohdalla
<input type="text" value="f&lt;sub&gt;y&lt;/sub&gt; = 355-MPa"/>	Putkiprofiilin myötölujuus	<input type="text" value="A&lt;sub&gt;k&lt;/sub&gt; = 314.2·mm&lt;sup&gt;2&lt;/sup&gt;"/>	Ruuvien poikkipinta-ala varren kierteettömällä alueella
<input type="text" value="f&lt;sub&gt;u&lt;/sub&gt; = 470-MPa"/>	Putkiprofiilin murtolujuus		
<input type="text" value="f&lt;sub&gt;yp&lt;/sub&gt; = 355-MPa"/>	Liitoslevyn myötölujuus		
<input type="text" value="f&lt;sub&gt;up&lt;/sub&gt; = 470-MPa"/>	Liitoslevyn murtolujuus		



## 2.0 Geometria



Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli	Minimiarvo
Päätyetäisyys $e_1$	$1,2d_0$
Reunaetäisyys $e_2$	$1,2d_0$
Keskiöväli $p_1$	$2,2d_0$
Keskiöväli $p_2$	$2,4d_0$



SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.3 & kuva 3.1

$e_1 := 50\text{mm}$

$p_1 := 1000\text{mm}$

**HUOM!** Mikäli liitostyyppin johdosta  $p_1$  tai  $p_2$  arvoksi tulee nolla, syötetään kyseisen muuttujan kenttään arvoksi 1 metri.

$e_2 := 30\text{mm}$

$p_2 := 80\text{mm}$

$h_p = 140\text{-mm}$

Liitoslevyn leveys

$h_{p,max} = 106\text{-mm}$

Liitoslevyn maksimileveys. Sisältää 2mm välyksen.

$t := 10\text{mm}$

Liitoslevyn paksuus

$d_0 = 22\text{-mm}$

### Reunaehtojen tarkastus (SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.3)

$e_1\text{check} = \text{"OK!"}$

$e_2\text{check} = \text{"OK!"}$

$p_1\text{check} = \text{"OK!"}$

$p_2\text{check} = \text{"OK!"}$

LevyCheck = "TARKASTA"

**HUOM!** Mikäli LevyCheck antaa arvon "TARKASTA," liitoslevyn leveys ylittää maksimiarvon, joka mahtuu rakenneputken sisälle.



### 3.0 Vetokestävydet



#### 3.1 Rakenneputken poikkileikkauksen vetokestävyys

$$N_{t,\text{putki},Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 938.265 \cdot \text{kN}$$

#### 3.2 Liitoslevyn nettopoikkileikkauksen vetokestävyys

$$A_{nt} := t \cdot h_p = 1.4 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Brutto-poikkileikkauksen pinta-ala

$$A_{\text{net}} := t \cdot (h_p - N_y \cdot \text{Halkaisija}_{\text{reikä}}) = 960 \cdot \text{mm}^2$$

Vedon rasittama nettopinta-ala levyn poikkileikkauksessa reikien kohdalla

Liitoslevyn poikkileikkauksen vetokestävyys on pienempi seuraavista.

$$N_{\text{pl},Rd} := \frac{A_{nt} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = 497 \cdot \text{kN}$$

Brutto-poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyysmitoitussarvo

$$N_{u,Rd} := \frac{0.9 A_{\text{net}} \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 324.864 \cdot \text{kN}$$

Nettopoikkileikkauksen kestävyysmitoitussarvo kiinnittimien reikien kohdalla

$$N_{t,Rd} := \min(N_{\text{pl},Rd}, N_{u,Rd}) = 324.864 \cdot \text{kN}$$



### 4.0 Leikkauskestävyys



#### Ruuvien leikkauskestävyys yhtä leikettä kohti (SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.4)

Kun ruuvien kierteet leikkautumistasossa:

$$F_{v,Rd1} := 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 94.08 \cdot \text{kN}$$

Ruuvien lujuusluokilla 4.6, 5.6, 8.8

$$F_{v,Rd2} := 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 78.4 \cdot \text{kN}$$

Ruuvien lujuusluokilla 4.8, 5.8, 6.8, 10.9

Kun ruuvien kierteetön osa leikkautumistasossa:

$$F_{v,Rd3} := 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_k}{\gamma_{M2}} = 120.637 \cdot \text{kN}$$

Ruuvien kaikilla lujuusluokilla

$$F_{v,Rd,\text{ruuvi}} = 94.08 \cdot \text{kN}$$

Yhden ruuvien leikkauskestävyyden suunnitteluarvo

**Liitoksen leikkauskestävyys kerrottuna ruuvilukumäärällä N**

$$F_{v,Rd} = 188.16 \cdot \text{kN}$$



## 5.0 Reunapuristuskestävyys



### Liitoslevyn reunapuristuskestävyys (SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.4)

-Määritetään tekijät  $k_1$ ,  $\alpha_{b1}$  ja  $\alpha_{b2}$

Voimaa vastaan kohtisuora suunta

$$k_1 := \min\left(2.5, 2.8 \cdot \frac{e_2}{\text{Halkaisija}_{\text{reikä}}} - 1.7\right) = 2.118 \quad \text{Reunarivin ruuveille}$$

Volman suunta

$$\alpha_{b1} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{e_1}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{\text{reikä}}}\right) = 0.758 \quad \text{Levyn pään ruuveille}$$

$$\alpha_{b2} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{P_1}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{\text{reikä}}} - \frac{1}{4}\right) = 1 \quad \text{Muulle kuin levyn pään ruuveille}$$

Reunapuristuskestävyydet

$$F_{b,R,dn} := \frac{k_1 \cdot \alpha_{bn} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

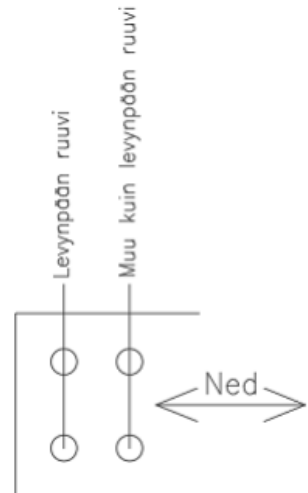
$$F_{b,R,d1} = 241.344 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b,R,d2} = 0 \cdot \text{kN}$$

Reunapuristuskestävyys

Levyn pään ruuveille (voiman suunta) yhteensä

Muulle kuin levyn pään ruuveille (voiman suunta) yhteensä



Liitoksen reunapuristuskestävyys

Liitoksen reunapuristuskestävyys  $F_{b,R,d}$  on:

- liitoksen kiinnittimien reunapuristuskestävyyksien summa

$F_{b,R,d1} + F_{b,R,d2}$ , kun kyseessä normaali pyöreä reikä ja ruuvirivejä enemmän kuin yksi.

-  $F_{b,R,d1}$  mutta korkeintaan  $N \cdot 1.5 \cdot f_u \cdot \text{Halkaisija}_{\text{ruuvi}} \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}}$  kun liitoksessa vain yksi ruuvirivi voimaa

vastan kohtisuoraan suuntaan.

-  $0.6 \cdot (F_{b,R,d1} + F_{b,R,d2})$ , kun kyseessä pidennetty reikä ja ruuvirivejä enemmän kuin yksi.

-  $0.6 \cdot F_{b,R,d1}$ , mutta korkeintaan  $N \cdot 1.5 \cdot f_u \cdot \text{Halkaisija}_{\text{ruuvi}} \cdot \frac{t}{\gamma_{M2}}$ , kun kyseessä pidennetty reikä ja

ruuvirivejä vain yksi voimaa vasten kohtisuorassa suunnassa.

$$F_{b,R,d} = 225.6 \cdot \text{kN}$$

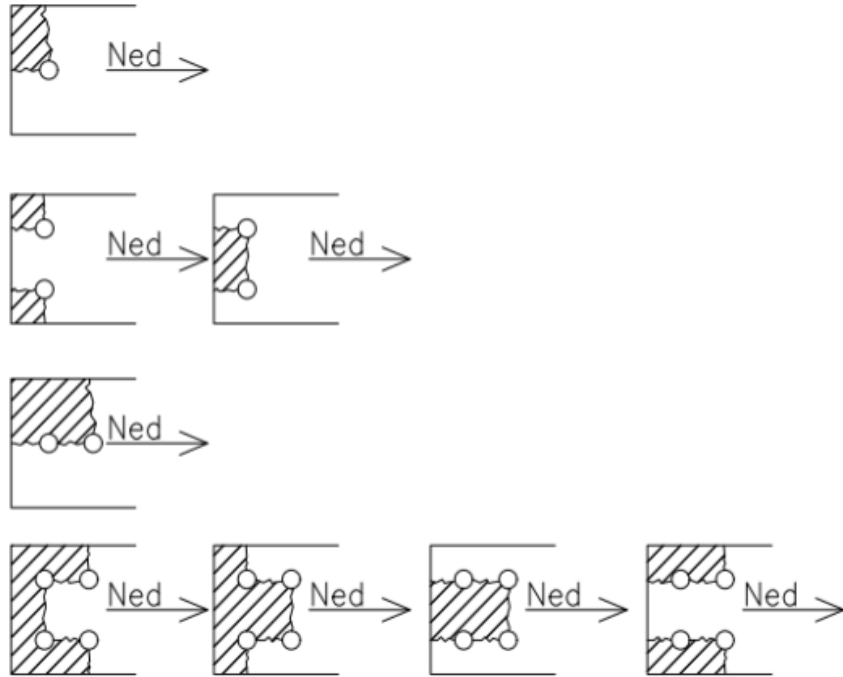


## 6.0 Palamurtumiskestävyys



### Liitoslevyn palamurtumiskestävyys (SFS-EN 1993-1-8 3.10.2)

Laskentaohjelma huomioi seuraavat murtotavat:



$$V_{\text{eff.Rd}} = \frac{f_u \cdot A_{\text{nt},2i}}{\gamma_{M2}} + \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot \frac{f_y \cdot A_{\text{nv}i}}{\gamma_{M0}} \quad (\text{kaava 3.9})$$

Keskeisellä  
kuormalla

jossa:  $A_{\text{nt},2i}$  = Vedon rasittama nettopinta-ala

$A_{\text{nv}i}$  = Leikkauksen rasittama nettopinta-ala

**Liitoksen palamurtokestävyys heikoimmalla murtotavalla**

$$V_{\text{eff.Rd}} = 302.748 \cdot \text{kN}$$





## 7.0 Hitsien kestävyys



### 7.1 Hitsien kestävyys (SFS-EN 1993-1-8 4.5.3.3)

	Hitsin lujuuskerroin $\beta_w$
S235	0,8
S275	0,85
<b>S355</b>	<b>0,9</b>
<b>S420</b>	<b>1,0</b>
S460	1,0

$$\beta_w = 0,9$$

Hitsin lujuuskerroin

$$a = 5 \text{ mm}$$

Pienahitsin a-mitta

$$N_{\text{hitsi}} = 4$$

Hitsien lukumäärä

$$L_w = 60 \text{ mm}$$

Yhden hitsin pituus

$$f_{vw,d} := \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2} \cdot \beta_w} = 241,204 \text{ MPa}$$

Hitsin leikkauslujuuden  
mitoitusarvo

$$l_{\text{eff},w} := N_{\text{hitsi}} \cdot (L_w - 2 \cdot a) = 200 \text{ mm}$$

Pienahitsien tehollisten  
pituuksien summa

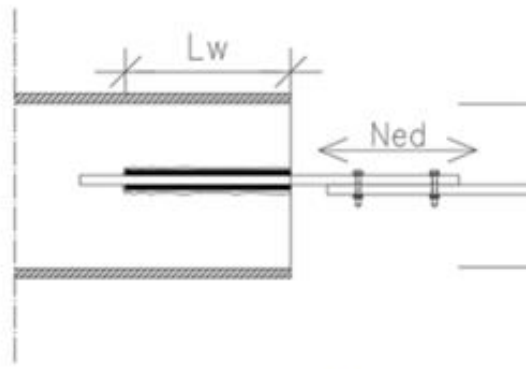
Hitsisauman pituuden  $L_w$  ollessa yli  $150 \cdot a$ , pienennetään  $F_{w,Rd}$ :n arvoa kertoimella:

$$\beta_{Lw,1} := 1,2 - 0,2 \cdot \frac{L_j}{150 \cdot a}, \text{ jossa tämän liitoksen tapauksessa } L_j = L_w$$

#### Liitoksen hitsisaumojen kestävyys

$$F_{w,Rd} = 241,204 \text{ kN}$$

### 7.2 Putkiprofiilin palamurtokestävyys hitsisaumoille



$$A_{nv,w} := 4 \cdot t \cdot L_w = 2,4 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Leikkausvoiman rasittama  
nettopinta-ala

$$V_{\text{eff},w,Rd} := \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot f_y \cdot A_{nv,w}}{\gamma_{M0}} = 491,902 \text{ kN}$$

Putkiprofiilin palamurtokestävyys  
hitsisaumalle



## 8.0 Yhteenveto

$$N_{ed} := 188 \text{ kN}$$

### Liitoksen kestävyys suunnittelu

$$N_{Rd,liitos} = 188.16 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{liitos} = 99.915\%$$

$$\text{Käyttöaste}_{hitsi} = 77.942\%$$

### Rakenneputken vetokestävyys suunnittelu

$$N_{t,putki,Rd} = 938.265 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{veto,putki} = 20.037\%$$

### Liittolevyn vetokestävyys suunnittelu

$$N_{t,Rd} = 324.864 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{veto,levy} = 57.87\%$$

### Ruuvien leikkauskestävyys suunnittelu

$$F_{v,Rd} = 188.16 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{leikkaus,ruuvit} = 99.915\%$$

### Liitoksen palamurtumiskestävyys suunnittelu

$$V_{eff,Rd} = 302.748 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{palamurto,levy} = 62.098\%$$

### Liitoksen reunapuristuskestävyys suunnittelu

$$F_{b,Rd} = 225.6 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{reunapuristus} = 83.333\%$$

### Liitoksen hitsisaumojen kestävyys suunnittelu

$$F_{w,Rd} = 241.204 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{hitsi} = 77.942\%$$

### Putkiprofiilin palamurtokestävyys hitsisaumoille

$$V_{eff,w,Rd} = 491.902 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{palamurto,putki} = 38.219\%$$

**HUOM!** Mikäli  $N_{Rd,liitos}$  antaa arvon "HITSIMURTO" kasvata hitsien pituutta tai lisää hitsiliitosten määrää, mikäli mahdollista.

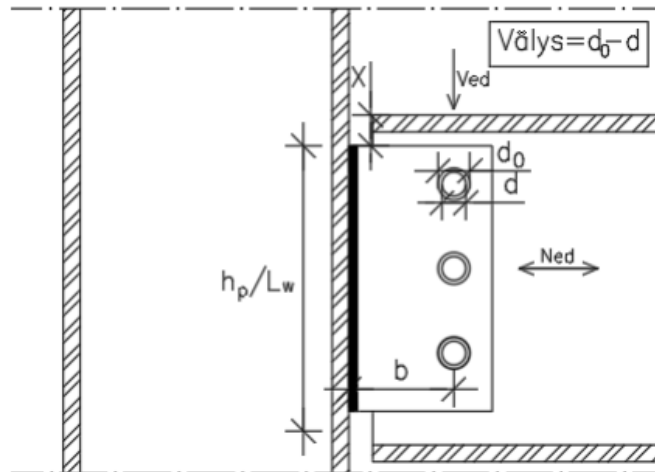
## Mitoitusohjan 2. tuloste

intro | GROUP

Projekti:

Tekijä:  
Päiväys: 11.3.2019  
Revisio: I  
Revision päiväys:  
Revision tekijä:

### Avoprofilipalkin nivelellinen ripalevyliitos pilariin

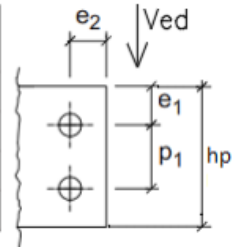


#### 1.0 Lähtötiedot

IPE 450	Palkin profiili	S355	Teräslaatu, liitoslevy
S355	Teräslaatu, palkki	4	Ruuvien määrä leikkausvoiman suuntaan
HEA300	Pilarin profiili	a := 6mm	Pienahitsin a-mitta
S355	Teräslaatu, pilari	kyllä	Ruuvien kierteet leikkaustasossa
8.8	Ruuvien lujuusluokka	kyllä, 10mm väly	Pidennetty reikä
27mm	Ruuvien nimellishalkaisija	Ned_palkki := 100kN	Palkin normaalivoima
Ved := 565kN	Tukireaktio palkilta		
M <sub>Ed</sub> = 39.55·kN·m	Momentti liitoslevyiltä pilarille	f <sub>y,palkki</sub> = 355·MPa	Palkin myötölujuus
N <sub>ruuvi</sub> = 4	Ruuvien kokonaismäärä liitoksessa	f <sub>u,palkki</sub> = 490·MPa	Palkin murtolujuus
f <sub>ub</sub> = 800·MPa	Ruuvien murtolujuus	γ <sub>M0</sub> := 1.0	Osavarmuuskerroin
f <sub>yb</sub> = 640·MPa	Ruuvien myötölujuus	γ <sub>M2</sub> := 1.25	Osavarmuuskerroin
f <sub>y,pilari</sub> = 355·MPa	Putkiprofiilin myötölujuus	γ <sub>M5</sub> := 1.0	Osavarmuuskerroin
f <sub>u,pilari</sub> = 490·MPa	Putkiprofiilin murtolujuus	A <sub>s</sub> = 459·mm <sup>2</sup>	Ruuvien poikkipinta-ala kierteiden kohdalla
f <sub>yp</sub> = 355·MPa	Liitoslevyn myötölujuus	A <sub>k</sub> = 572.6·mm <sup>2</sup>	Ruuvien poikkipinta-ala varren kierteettömällä alueella
f <sub>up</sub> = 490·MPa	Liitoslevyn murtolujuus		

**2.0 Liitoslevyn geometria**

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli (ks. kuva 3.17)	Minimiarvo Pyöreä reikä	Minimiarvo Pidennetty reikä
Päätyetäisyys $e_1$	$1,2d_0$	$1,5d_0$
Reunaetäisyys $e_2$	$1,2d_0$	$1,5d_0$
Keskiöväli $p_1$	$2,2d_0$	$2,2d_0$
Keskiöväli $p_2$	$2,4d_0$	$2,4d_0$



SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.3 & kuva 3.1

$e_1 := 60\text{mm}$        $p_1 := 75\text{mm}$

$e_2 := 50\text{mm}$

$t := 10\text{mm}$

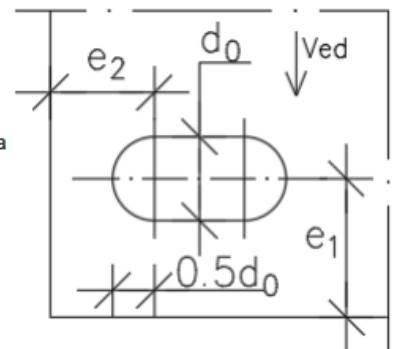
$b \equiv 70\text{mm}$

$h_p = 345\text{mm}$

$h_{p,max} = 358,8\text{mm}$

$d_0 = 30\text{mm}$

Liitoslevyn paksuus  
Reikälinjan etäisyys levyn reunasta kts. ensimmäinen sivu  
Liitoslevyn korkeus  
Liitoslevyn maksimikorkeus.



**Reunaehtojen tarkastus (SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.3)**

$e_1\text{check} = \text{"OK!"}$

$b\text{check} = \text{"OK!"}$

Palkin uuman reunaetäisyyden tarkastus

$e_2\text{check} = \text{"OK!"}$

**HUOM!** Mikäli kaikki tarkastukset antavat arvon "OK!", reunaehdot kunnossa. Muutoin tarkasta reunaehdot tai pidennetyn reiän tarve!

$X_p = 120\text{mm}$

Liitoslevyn leveys

$p_1\text{check} = \text{"OK!"}$

$Y = 45,6\text{mm}$

Liitoslevyn yläpinnan etäisyys palkin yläpinnasta

LevyCheck = "OK"

Kiertymächeck = "OK!"

**Liitoslevyn ylimmän ja alimman ruuvin etäisyyden tarkastus (Kiertymän yhteydessä ruuvit eivät saa leikkautua levyä vasten). Mikäli check antaa arvon "TARKASTA!", vaihda reikien pidennyksen asetusta tai muuta liitoslevyn korkeutta.**

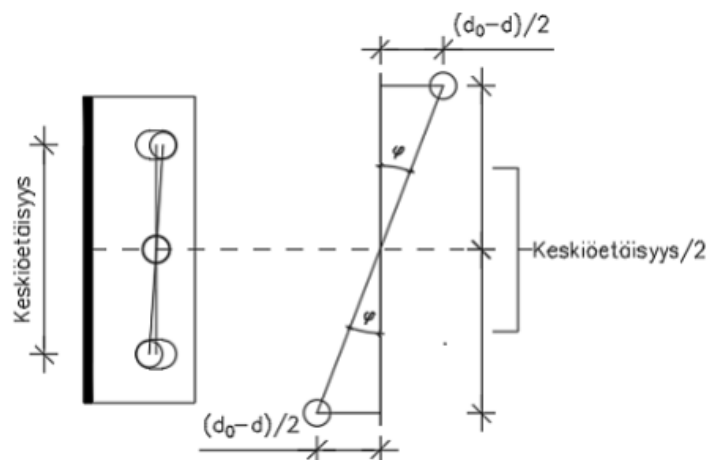
$$\text{Keskiöetäisyys} < 2 \cdot \frac{(d_0 - d)}{2 \cdot \tan(\varphi) \text{ deg}}$$

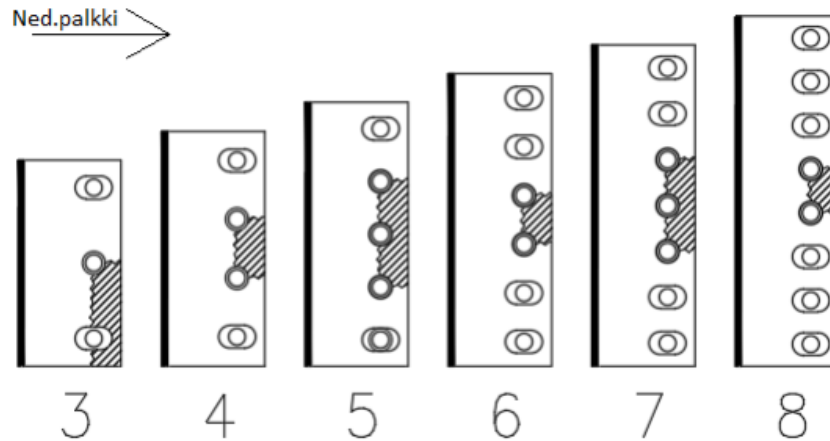
Missä  $\varphi$  = palkin kiertymä tuella

$$\varphi = v(0) = \frac{q_{\text{max}} \cdot L^3}{24 \cdot E \cdot I}$$

Missä  $q_{\text{max}}$  = Palkin kuormitus kun  $v(L/2) = L_{\text{sall}} = L/200$

Ohjelma siis vertaa ruuvien siirtymiä reiän välykseen suurimman sallitun taipuman aiheuttamaa kiertymää käyttäen. L/200 vastaa käyttörajatilan karakteristista taipumaa.





Pidennettyjen reikien sijoittelu eri ruuvimäärillä ja palamurtoviivat liitoslevylle, kun liitoksen kuormitus on normaalivoimapainotteinen. Normaalikokoiset reiät toimivat "saranaruuveina" ja ottavat palkin normaalivoiman suuntaiset rasitukset vastaan. Pystysuunnassa kaikki ruuvit ottavat rasitusta vastaan.

Kun pidennettyjä reikiä ei käytetä, kaikki ruuvit ottavat rasituksia molemmista suunnista saranaruuvien tavoin.



### 3.0 Ruuvien leikkauskestävyys (SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.4)



#### Ruuvien leikkauskestävyys yhtä leikettä kohti

Kun ruuvien kierteet leikkautumistasossa:

$$F_{v,Rd1} := 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 176.256 \cdot \text{kN} \quad \text{Ruuvien lujuusluokilla 4.6, 5.6, 8,8}$$

$$F_{v,Rd2} := 0.5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 146.88 \cdot \text{kN} \quad \text{Ruuvien lujuusluokilla 4.8, 5.8, 6.8, 10.9}$$

Kun ruuvien kierteetön osa leikkautumistasossa:

$$F_{v,Rd3} := 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_k}{\gamma_{M2}} = 219.861 \cdot \text{kN} \quad \text{Ruuvien kaikilla lujuusluokilla}$$

$$F_{v,Rd,ruuvi} = 176.256 \cdot \text{kN}$$

Yhden ruuvien leikkauskestävyyden suunnitteluarvo

$$\text{Käyttöaste}_{\text{saranaruuvi}} := \frac{\sqrt{\left(\frac{V_{ed}}{N_x}\right)^2 + \left(\frac{N_{ed,palkki}}{N_{\text{saranaruuvi}}}\right)^2}}{F_{v,Rd,ruuvi}} = 85.4\%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{muuruuvi}} := \frac{\frac{V_{ed}}{N_x}}{F_{v,Rd,ruuvi}} = 80.1\%$$



#### 4.0 Reunapuristuskestävyys



#### 4.1 Liitoslevyn reunapuristuskestävyys (SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.4)

##### Leikkausvoiman suunta

Voimaa vastaan kohtisuora suunnassa

$$k_{1x} := \min\left(2.5, 2.8 \cdot \frac{e_2}{\text{Halkaisija}_{\text{reikä}}} - 1.7\right) = 2.5 \quad \text{Reunarivin ruuveille}$$

Voiman suunnassa

$$\alpha_{b1x} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{e_1}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{\text{reikä}}}\right) = 0.667 \quad \text{Levyn pään ruuveille}$$

$$\alpha_{b2x} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{P_1}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{\text{reikä}}} - \frac{1}{4}\right) = 0.583 \quad \text{Muulle kuin levyn pään ruuveille}$$

##### Palkin normaalivoiman suunta

Voimaa vastaan kohtisuora suunnassa

$$k_{1y} := \min\left(2.5, 2.8 \cdot \frac{e_1}{\text{Halkaisija}_{\text{reikä}}} - 1.7\right) = 2.5 \quad \text{Reunarivin ruuveille}$$

$$k_{12y} := \min\left(2.5, 1.4 \cdot \frac{P_1}{\text{Halkaisija}_{\text{reikä}}} - 1.7\right) = 1.8 \quad \text{Muulle kuin reunarivin ruuveille}$$

Voiman suunnassa

$$\alpha_{b1y} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{e_2}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{\text{reikä}}}\right) = 0.556 \quad \text{Levyn pään ruuveille}$$

##### Reunapuristuskestävyydet liitoslevylle

$$F_{b,Rdn} := \frac{k_1 \cdot \alpha_{bn} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_M2} \quad \text{Reunapuristuskestävyys}$$

##### Leikkausvoiman suunta

$$F_{b,Rd1.V} = 105.84 \cdot \text{kN} \quad \text{Levyn pään ruuveille}$$

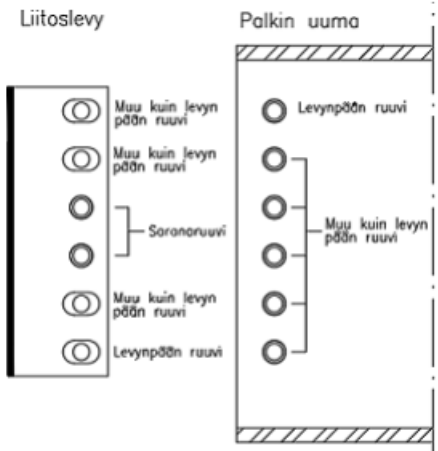
$$F_{b,Rd2.V} = 154.35 \cdot \text{kN} \quad \text{Saranaruuveille}$$

$$F_{b,Rd3.V} = 92.61 \cdot \text{kN} \quad \text{Muulle kuin levyn pään ruuveille}$$

##### Palkin normaalivoiman suunta

$$F_{b,Rd1.H} = 0 \cdot \text{kN} \quad \text{Reunarivin ruuveille}$$

$$F_{b,Rd2.H} = 105.84 \cdot \text{kN} \quad \text{Muulle kuin reunarivin ruuveille}$$



Käyttöasteet uuman reunapuristukselle on laskettu kahden käyttöastekomponentin neliösummana:

$$\sqrt{\left(\frac{\frac{V_{ed}}{N_x}}{F_{b,Rdi.V}}\right)^2 + \left(\frac{\frac{N_{ed,palkki}}{N_{saranaruuvi}}}{F_{b,Rdi.H}}\right)^2}$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.saranaruuvi}} = 103.0\%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.levynpäänruuvi}} = 133.5\%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.muukuinlevynpäänruuvi}} = 152.5\%$$

Pidennetyn reiän asetuksella horisontaalinen komponentti poistuu ja kaava tiivistyy muotoon:

$$\frac{\frac{V_{ed}}{N_x}}{F_{b,Rdi.V}}$$

$N_x$  = Kaikkien ruuvien lukumäärä

$N_{\text{saranaruuvi}}$  = Saranaruuvien lukumäärä



**4.2 Palkin uuman reunapuristuskestävyys (SFS-EN 1993-1-8 taul. 3.4)**

**Leikkausvoiman suunta**

Voimaa vastaan kohtisuora suunta

$$k_{1Vpalkki} := \min\left(2.5, 2.8 \cdot \frac{e_{2,palkki}}{\text{Halkaisija}_{reikä}} - 1.7\right) = 2.5 \quad \text{Reunarivin ruuveille}$$

Voiman suunta

$$\alpha_{b1Vpalkki} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{e_{1,palkki}}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{reikä}}\right) = 1 \quad \text{Levyn pään ruuveille}$$

$$\alpha_{b2Vpalkki} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{P_1}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{reikä}} - \frac{1}{4}\right) = 0.583 \quad \text{Muulle kuin levyn pään ruuveille}$$

**Palkin normaalivoiman suunta**

Voimaa vastaan kohtisuora suunta

$$k_{1Hpalkki} := \min\left(2.5, 2.8 \cdot \frac{e_{1,palkki}}{\text{Halkaisija}_{reikä}} - 1.7\right) = 2.5 \quad \text{Reunarivin ruuveille}$$

$$k_{12Hpalkki} := \min\left(2.5, 1.4 \cdot \frac{P_1}{\text{Halkaisija}_{reikä}} - 1.7\right) = 1.8 \quad \text{Muulle reunarivin ruuveille}$$

Voiman suunta

$$\alpha_{b1Hpalkki} := \min\left(1.0, \frac{f_{ub}}{f_{up}}, \frac{e_{2,palkki}}{3 \cdot \text{Halkaisija}_{reikä}}\right) = 0.556 \quad \text{Levyn pään ruuveille}$$

**Reunapuristuskestävyydet uuman ruuveille**

$$F_{b,Rdn} := \frac{k_1 \cdot \alpha_{bn} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad \text{Reunapuristuskestävyys}$$

**Leikkausvoiman suunta**

$$F_{b,Rd1.V.uuma} = 248.724 \cdot \text{kN} \quad \text{Levyn pään ruuveille}$$

$$F_{b,Rd2.V.uuma} = 145.089 \cdot \text{kN} \quad \text{Muulle kuin levyn pään ruuveille}$$

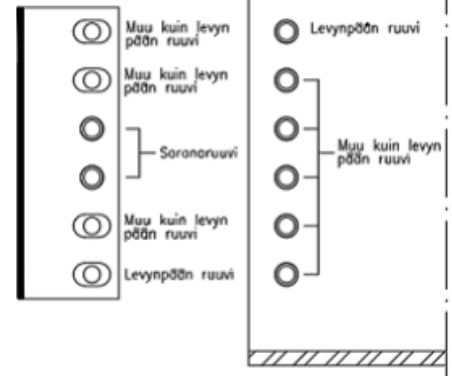
**Palkin normaalivoiman suunta**

$$F_{b,Rd1.H.uuma} = 0 \cdot \text{kN} \quad \text{Reunarivin ruuveille}$$

$$F_{b,Rd2.H.uuma} = 99.49 \cdot \text{kN} \quad \text{Muulle kuin reunarivin ruuveille}$$

Liitoslevy

Palkin uuma



Käyttöasteet uuman reunapuristukselle on laskettu kahden käyttöastekomponentin neliösummana:

$$\sqrt{\left(\frac{V_{ed}}{N_x}\right)^2 + \left(\frac{N_{ed,palkki}}{N_{saranaruuvi}}\right)^2}$$

Poikkeuksena pidennetyn reiän asetus, jolloin horisontaalinen komponentti poistuu ja kaava tiivistyy

$$\text{muotoon: } \frac{V_{ed}}{N_x}$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.uuma.levynpäänruuvi}} = 56.8\%$$

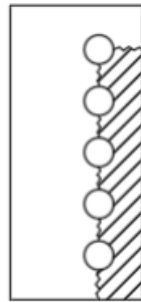
$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.uuma.muukuinlevynpäänruuvi}} = 109.6\%$$



## 5.0 Palamurtumiskestävyys



### 5.1 Liitoslevyn palamurtumiskestävyys (SFS-EN 1993-1-8 3.10.2)



$$V_{\text{eff.Rd}} := \frac{(0.5f_{\text{up}} \cdot A_{\text{nt}2})}{\gamma_{\text{M}2}} + \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}f_{\text{yp}} \cdot A_{\text{nv}}}{\gamma_{\text{M}0}} \quad (\text{kaava 3.10})$$

jossa:  $A_{\text{nt}2}$  = Vedon rasittama nettopinta-ala

$A_{\text{nv}}$  = Leikkauksen rasittama nettopinta-ala

**Liitoksen palamurtokestävyys murtoviivalle**

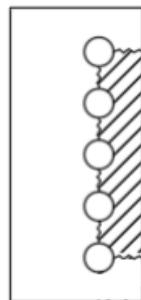
$$V_{\text{eff.Rd.V}} = 427.727 \cdot \text{kN} \quad \text{Leikkauksvoiman suuntaan}$$

$$V_{\text{eff.Rd.H}} = 414.288 \cdot \text{kN} \quad \text{Normaalivoiman suuntaan}$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{levy1.V}} := \frac{\text{Ved}}{V_{\text{eff.Rd.V}}} = 132.1 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{levy1.H}} := \frac{\text{Ned}_{\text{palkki}}}{V_{\text{eff.Rd.H}}} = 24.1 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{levy1}} := \frac{\text{Ved}}{V_{\text{eff.Rd.V}}} + \frac{\text{Ned}_{\text{palkki}}}{V_{\text{eff.Rd.H}}} = 156.2 \cdot \%$$



$$V_{\text{eff.Rd.H}} := \frac{f_{\text{up}} \cdot A_{\text{nt}2.H}}{\gamma_{\text{M}2}} + \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}f_{\text{yp}} \cdot A_{\text{nv.H}}}{\gamma_{\text{M}0}} \quad (\text{kaava 3.10})$$

jossa:  $A_{\text{nt}2.H}$  = Vedon rasittama nettopinta-ala horisontaalisessa suunnassa

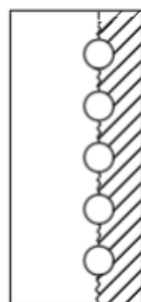
$A_{\text{nv.H}}$  = Leikkauksen rasittama nettopinta-ala horisontaalisessa suunnassa

**Liitoksen palamurtokestävyys murtoviivalle**

$$V_{\text{eff.Rd.H2}} = 243.012 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{levy2}} := \frac{\text{Ned}_{\text{palkki}}}{V_{\text{eff.Rd.H2}}} = 41.2 \cdot \%$$

### 5.2 Liitoslevyn nettopoikkileikkauksen vetokestävyys



$$A_{\text{nt}} := t \cdot h_p = 3.45 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{net}} := t \cdot (h_p - N_x \cdot \text{Halkaisija}_{\text{reikä}}) = 2.25 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

Liitoslevyn poikkileikkauksen vetokestävyys on pienempi seuraavista.

$$N_{\text{pl.Rd}} := \frac{A_{\text{nt}} \cdot f_{\text{yp}}}{\gamma_{\text{M}0}} = 1.225 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$N_{\text{u.Rd.H}} := \frac{0.9A_{\text{net}} \cdot f_{\text{up}}}{\gamma_{\text{M}2}} = 793.8 \cdot \text{kN}$$

$$N_{\text{u.Rd.V}} := \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}f_{\text{yp}} \cdot A_{\text{net}}}{\gamma_{\text{M}0}} = 461.159 \cdot \text{kN}$$

Bruttooikkileikkauksen pinta-ala

Vedon rasittama nettopinta-ala levyn poikkileikkauksessa reikien kohdalla

Bruttooikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyden mitoitusarvo

Nettopoikkileikkauksen vetokestävyysmitoitusarvo kiinnittimien reikien kohdalla

Nettopoikkileikkauksen leikkaukskestävyyden mitoitusarvo kiinnittimien reikien kohdalla

$$\text{Käyttöaste}_{\text{levy3.V}} := \frac{\text{Ved}}{\frac{\frac{1}{\sqrt{3}}f_{\text{yp}} \cdot A_{\text{net}}}{\gamma_{\text{M}0}}} = 122.518 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{levy3.H}} := \frac{\text{Ned}_{\text{palkki}}}{\frac{0.9A_{\text{net}} \cdot f_{\text{up}}}{\gamma_{\text{M}2}}} = 12.598 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{levy3}} := \text{Käyttöaste}_{\text{levy3.V}} + \text{Käyttöaste}_{\text{levy3.H}} = 135.115 \cdot \%$$



**5.3 Palkin uuman palamurtumiskestävyys (SFS-EN 1993-1-8 3.10.2)**

$$V_{\text{eff.uuma.Rd}} := \frac{f_{\text{up}} \cdot A_{\text{nt2}}}{\gamma_{\text{M2}}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_{\text{yp}} \cdot A_{\text{nv}}}{\gamma_{\text{M0}}} \quad (\text{kaava 3.10})$$

jossa:  $A_{\text{nt2}}$  = Vedon rasittama nettopinta-ala  
 $A_{\text{nv}}$  = Leikkauksen rasittama nettopinta-ala

**Palkin uuman palamurtokestävyys**

$$V_{\text{eff.uuma.Rd}} = 300.679 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{palamurto.uuma}} := \frac{N_{\text{ed.palkki}}}{V_{\text{eff.uuma.Rd}}} = 33.3\%$$



**6.0 Putkiprofiilisen pilarin pinnan kestävyys (SFS-EN 1993-1-8 taul. 7.13)**



**Putkiprofiilin pinnan myötääminen**

$$n := \frac{N_{0,\text{Ed}}}{A_0 \cdot \frac{f_{y0}}{\gamma_{\text{M5}}}} + \frac{M_{0,\text{Ed}}}{W_{\text{el},0} \cdot \frac{f_{y0}}{\gamma_{\text{M5}}}} = 0.075$$

$$k_m := \min(1.3 - 1.3 \cdot |n|, 1.0) = 1$$

Puristetulle pilarille

$$N_{1,\text{Rd}} := \frac{\left( k_m \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \right) \cdot \left( 2 \cdot \frac{h_p}{b_0} + 4 \cdot \sqrt{1 - \frac{t}{b_0}} \right)}{1 - \frac{t}{b_0} \cdot \gamma_{\text{M5}}}$$

Kerrottuna kestävyuden piennyskertoimella. 0.9 S420  
1.0 S355.

$$N_{1,\text{Rd}} = \text{"EILASKETA"} \cdot \text{kN}$$

$$M_{1p,1,\text{Rd}} := 0.5 \cdot N_{1,\text{Rd}} \cdot h_1$$

$$M_{1p,1,\text{Rd}} = \bullet \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Käyttöaste lasketaan vain mikäli pilarin profiilina on rakenneputki

$$\text{Käyttöaste}_{\text{putki}} = \bullet \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste} := \frac{M_{\text{Ed}}}{M_{1p,1,\text{Rd}}}$$



**7.0 Hitsien kestävyys komponenttimenetelmällä (SFS-EN 1993-1-8 4.5.3.2)**



$$W_{\text{el},p} := \frac{t \cdot h_p^2}{6} = 1.984 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

Liitoslevyn taivutusvastus

$$\tau_{\text{II}} := \frac{V_{\text{ed}}}{2 \cdot a \cdot (h_p + t)} = 132.629 \cdot \text{MPa}$$

Hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys.

$$\tau_t := \frac{V_{\text{ed}} \cdot b}{W_{\text{el},p} \cdot \sqrt{2} \cdot 2 \cdot a} + \frac{N_{\text{ed.palkki}}}{(h_p \cdot t)} \cdot \frac{t}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a} = 134.56 \cdot \text{MPa}$$

Hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys

$$\sqrt{\tau_t^2 + 3 \cdot (\tau_t^2 + \tau_{\text{II}}^2)} = 353.831 \cdot \text{MPa}$$

Tarkastetaan molemmat mitoitus ehdot:

Mikäli check1 ja check2 palauttavat "OK!", valittu hitsin a-mitta on ok. Muutoin tarkasta!

$$1 \quad \sqrt{\tau_t^2 + 3 \cdot (\tau_t^2 + \tau_{\text{II}}^2)} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{\text{M2}}} \quad \text{check} = \text{"OK!"}$$

$$2 \quad \tau_t < \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{\text{M2}}} \quad \text{check2} = \text{"OK!"}$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{hitsi}} := \max \left[ \frac{\sqrt{\tau_t^2 + 3 \cdot (\tau_t^2 + \tau_{\text{II}}^2)}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{\text{M2}}}}, \frac{\tau_t}{\frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{\text{M2}}}} \right] = 81.2\%$$



## 8.0 Yhteenveto

### HUOM!

Muista aina syöttää ensimmäisellä sivulla leikkausvoiman Ved arvo ja normaalivoiman Ned arvo, jotta käyttöasteet lasketaan oikein! Tarkista alta syöttämäsi rasitukset.

$$\text{Ved} = 565 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Ned}_{\text{palkki}} = 100 \cdot \text{kN}$$

$$\sqrt{\text{Ved}^2 + \text{Ned}_{\text{palkki}}^2} = 573.781 \cdot \text{kN}$$

### Liitoksen käyttöaste

$$\text{Käyttöaste}_{\text{liitos}} = \text{"EI OK!"} \cdot \%$$

### Mitoittava osa

$$\text{Crit} = \text{"Liitoslevyn palamurto"}$$

### Hitsisauman käyttöaste

$$\text{Käyttöaste}_{\text{hitsi}} = 81.2 \cdot \%$$

### Reunapuristusten ruuvikohtaiset käyttöasteet

#### Liitoslevy

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.saranaruuvi}} = 103 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.muukuinlevynpäänruuvi}} = 152.5 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.levynpäänruuvi}} = 133.5 \cdot \%$$

#### Uuma

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.uuma.muukuinlevynpäänruuvi}} = 109.6 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{reunapuristus.uuma.levynpäänruuvi}} = 56.8 \cdot \%$$

### Ruuvikohtaisten leikkauskestävyyksien käyttöaste

$$\text{Käyttöaste}_{\text{saranaruuvi}} = 85 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{muuruuvi}} = 80.1 \cdot \%$$

### Palamurtokestävyyksien käyttöasteet

$$\text{Käyttöaste}_{\text{palamurto.levy}} = 156.2 \cdot \%$$

$$\text{Käyttöaste}_{\text{palamurto.uuma}} = 33.3 \cdot \%$$

### Putkiprofiilin pinnan käyttöaste

$$\text{Käyttöaste}_{\text{putki}} = \bullet \cdot \%$$

### MITOITTAJA!

**Pyri** aina sitkeään murtotapaan, jolloin mitoittavan osana toimii jokin reunapuristuskestävyyksistä.

**Vältä** haurasta murtotapaa, jolloin mitoittavana osana toimii jokin palamurtokestävyyksistä, ruuvien leikkauskestävyys tai putkiprofiilin myötömurto.

**Älä** mitoita siten että hitsisauman kestävyys on mitoittava osa.

# Idea-Statica 9 -tuloste 1.

Project:  
Project no:  
Author:



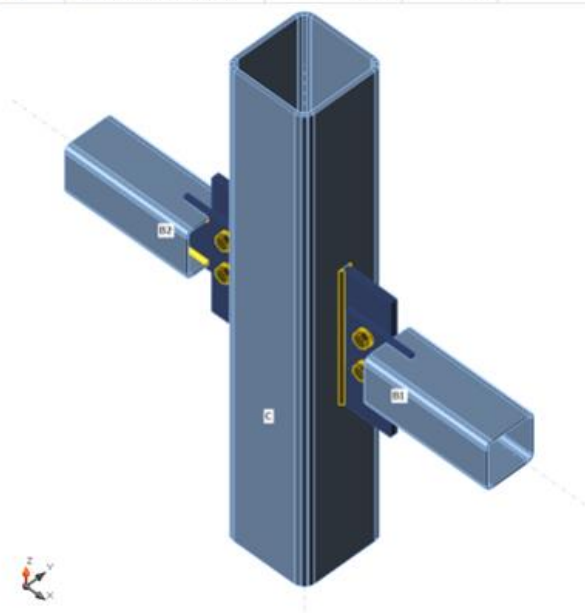
## Project item CON1

### Design

Name CON1  
Description  
Analysis Stress, strain/ simplified loading

### Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in	X [mm]
C	1 - SHS200/200/10.0	0,0	-90,0	0,0	0	0	0	Node	0
B1	2 - SHS120/120/6.3	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Bolts	0
B2	2 - SHS120/120/6.3	180,0	0,0	0,0	0	0	0	Bolts	0



### Cross-sections

Name	Material
1 - SHS200/200/10.0	S 355
2 - SHS120/120/6.3	S 355
2 - SHS120/120/6.3	S 355

### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M20 8.8	M20 8.8	20	800,0	314

Project:  
Project no:  
Author:



### Load effects (equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1	188,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	B2	188,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Check

#### Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,4 < 5%	OK
Bolts	105,9 > 100%	<b>Not OK!</b>
Welds	98,1 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

#### Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [1e-4]	Status
C	10,0	LE1	220,6	0,0	OK
B1	6,3	LE1	274,1	0,0	OK
B2	6,3	LE1	274,1	0,0	OK
SP1	16,0	LE1	320,7	2,5	OK
CPL1	10,0	LE1	355,9	43,9	OK
CPL2	10,0	LE1	355,9	43,8	OK

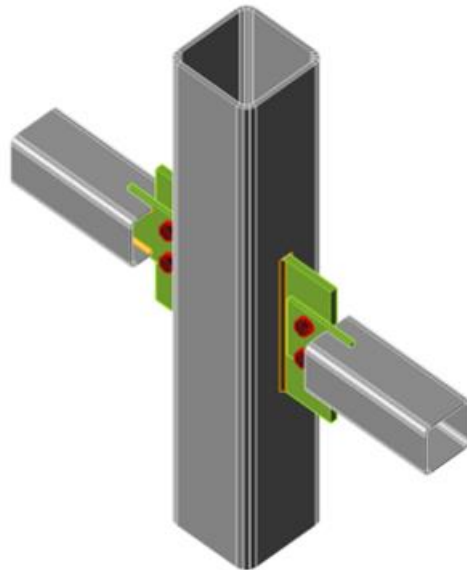
#### Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [1e-4]
S 355	355,0	500,0

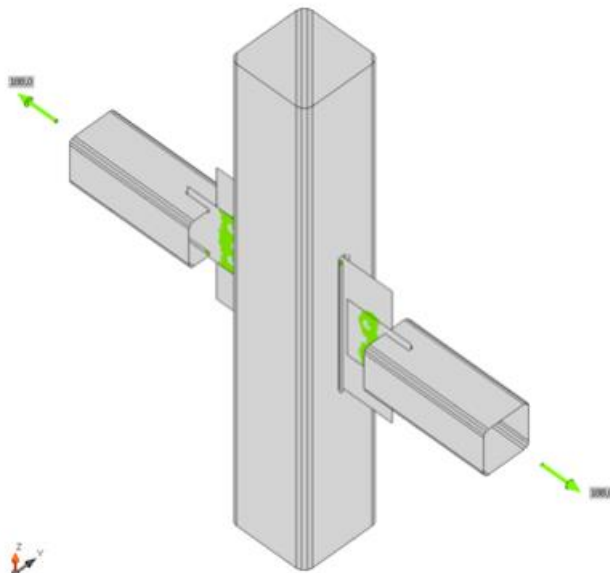
#### Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$  Strain  
 $\sigma_{Ed}$  Eq. stress

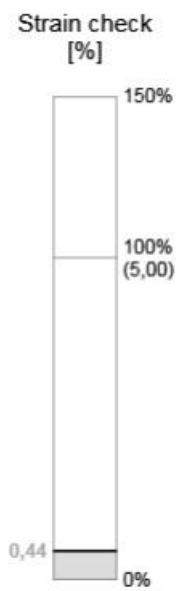
Project:  
Project no:  
Author:



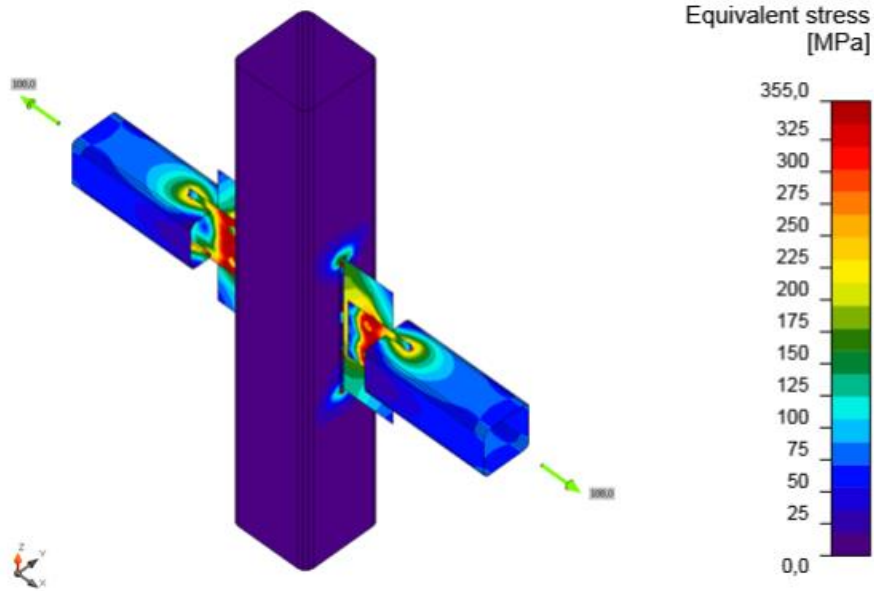
Overall check, LE1



Strain check, LE1



Project:  
Project no:  
Author:



Equivalent stress, LE1

**Bolts**

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	LE1	11,7	94,0	8,3	125,8	99,9	105,9	Not OK!
	B2	LE1	11,3	94,0	8,0	125,8	99,9	105,6	Not OK!
	B3	LE1	11,4	94,0	8,1	125,8	99,9	105,7	Not OK!
	B4	LE1	11,8	94,0	8,3	125,8	99,9	105,9	Not OK!

**Design data**

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M20 8.8 - 1	141,1	232,8	94,1

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for B1**

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Rd}}{F_{t,Rd}} + \frac{F_{l,Rd}}{1,4F_{t,Rd}} = 105,9 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{l,Rd}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 8,3 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{t,Rd})} = 99,9 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 141,1 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A_s = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 232,8 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 32 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller  
 $t_p = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 94,1 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor  
 $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 125,8 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,12$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4  
 $a_b = 0,76$  – Factor  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $d = 20 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener  
 $t = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for B2**

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} = 105,6 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 8,0 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = 99,9 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 141,1 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A_s = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 232,8 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 32 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller  
 $t_p = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 94,1 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor  
 $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 125,8 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,12$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4  
 $a_b = 0,76$  – Factor  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $d = 20 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener  
 $t = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor



**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for B3**

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} = 105,7 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 8,1 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = 99,9 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 141,1 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A_s = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 232,8 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 32 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller  
 $t_p = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 94,1 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor  
 $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 125,8 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,12$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4  
 $a_b = 0,76$  – Factor  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $d = 20 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener  
 $t = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for B4**

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Rd}}{F_{t,Rd}} + \frac{F_{l,Rd}}{1,4F_{t,Rd}} = 105,9 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{l,Rd}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 8,3 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{t,Rd})} = 99,9 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 141,1 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A_s = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 232,8 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 32 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller  
 $t_p = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 94,1 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor  
 $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A = 245 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 125,8 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,12$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4  
 $a_b = 0,76$  – Factor  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $d = 20 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener  
 $t = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



#### Symbol explanation

$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{t,Ed}$	Tension force
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance
$V$	Resultant of shear forces $V_y, V_z$ in bolt
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$U_t$	Utilization in tension
$U_s$	Utilization in shear
$U_{ts}$	Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

#### Welds (Plastic redistribution)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$U_t$ [%]	$U_{tc}$ [%]	Status
SP1	C-w 1	▲5,0	330	LE1	426,9	0,0	147,8	-67,4	-221,2	98,0	15,1	OK
SP1	C-w 1	▲5,0	330	LE1	422,6	0,0	-154,1	1,6	227,2	97,0	15,5	OK
SP1	C-w 3	▲5,0	330	LE1	426,9	0,0	145,3	-71,0	220,6	98,0	15,5	OK
SP1	C-w 3	▲5,0	330	LE1	423,7	0,0	-152,0	-3,0	-228,3	97,3	16,0	OK
CPL1	B1-w 1	▲5,0	60	LE1	427,1	0,2	128,9	197,0	-128,4	98,1	69,9	OK
CPL1	B1-w 1	▲5,0	60	LE1	427,0	0,1	-22,5	-244,5	28,6	98,0	70,0	OK
CPL1	B1-w 3	▲5,0	60	LE1	427,0	0,1	-22,9	244,5	28,4	98,0	70,0	OK
CPL1	B1-w 3	▲5,0	60	LE1	427,1	0,2	129,0	-196,7	-128,7	98,1	69,9	OK
CPL2	B2-w 1	▲5,0	60	LE1	427,0	0,1	-21,8	244,6	28,2	98,0	70,1	OK
CPL2	B2-w 1	▲5,0	60	LE1	427,1	0,2	129,4	-197,1	-127,9	98,1	69,8	OK
CPL2	B2-w 3	▲5,0	60	LE1	427,1	0,2	128,8	196,7	-128,8	98,1	69,9	OK
CPL2	B2-w 3	▲5,0	60	LE1	427,0	0,1	-21,4	-244,6	28,2	98,0	70,0	OK

#### Design data

	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0,90	435,6	352,8

#### Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
$U_t$	Utilization
$U_{tc}$	Weld capacity utilization

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for SP1 C-w 1**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 426,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for SP1 C-w 1**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 97,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 422,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for SP1 C-w 3**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 426,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for SP1 C-w 3**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 97,3 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 423,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for CPL1 B1-w 1**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,1 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for CPL1 B1-w 1**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for CPL1 B1-w 3**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for CPL1 B1-w 3**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,1 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for CPL2 B2-w 1**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for CPL2 B2-w 1**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,1 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for CPL2 B2-w 3**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,1 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Detailed result for CPL2 B2-w 3**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 98,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 427,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Buckling**

**Buckling analysis was not calculated.**

## Idea-Statica 9 -tuloste 2.

Project:  
Project no:  
Author:



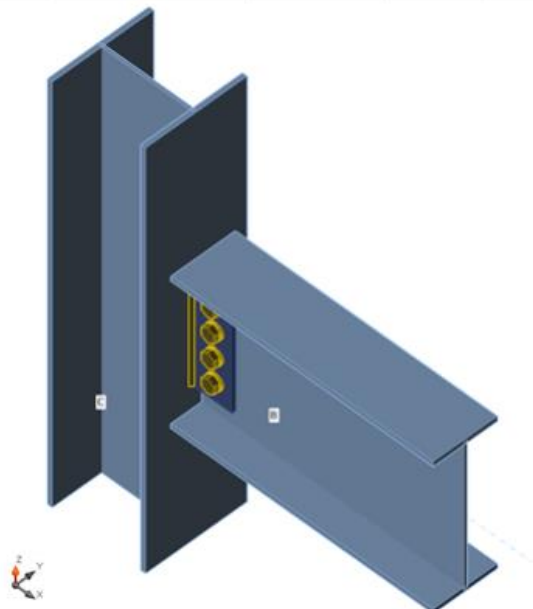
### Project item CON1

#### Design

Name CON1  
Description  
Analysis Stress, strain/ simplified loading

#### Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in	X [mm]
C	1 - CON1(HEA300)	0,0	-90,0	0,0	0	0	0	Node	0
B	2 - CON1(IPE450)	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Bolts	215



#### Cross-sections

Name	Material
1 - CON1(HEA300)	S 355
2 - CON1(IPE450)	S 355

#### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M27 8.8	M27 8.8	27	800,0	573

#### Load effects (equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B	100,0	0,0	-565,0	0,0	0,0	0,0



Project:  
Project no:  
Author:



## Check

### Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	3,9 < 5%	OK
Bolts	148,4 > 100%	<b>Not OK!</b>
Welds	99,1 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

### Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{Pl}$ [1e-4]	Status
C-bfl 1	14,0	LE1	285,7	0,0	OK
C-tfl 1	14,0	LE1	93,3	0,0	OK
C-w 1	8,5	LE1	355,0	1,5	OK
B-bfl 1	14,6	LE1	355,0	2,0	OK
B-tfl 1	14,6	LE1	354,7	0,6	OK
B-w 1	9,4	LE1	357,7	127,4	OK
FP1	10,0	LE1	363,1	386,8	OK

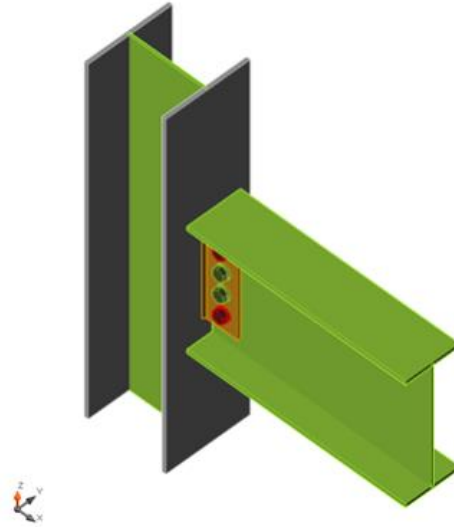
### Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [1e-4]
S 355	355,0	500,0

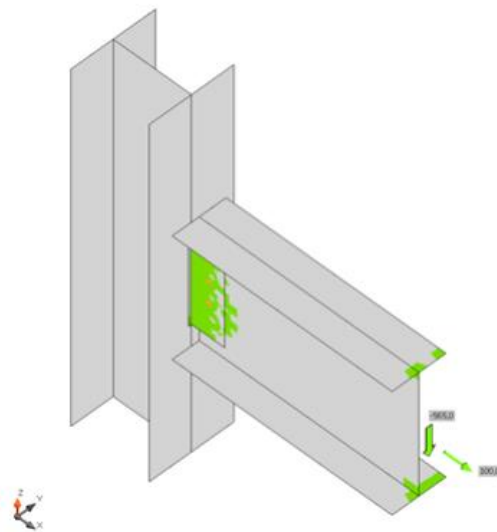
### Symbol explanation

$\epsilon_{Pl}$  Strain  
 $\sigma_{Ed}$  Eq. stress

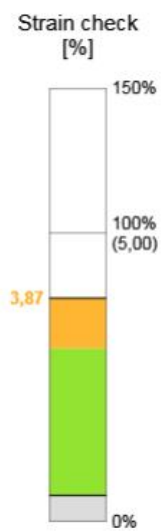
Project:  
Project no:  
Author:



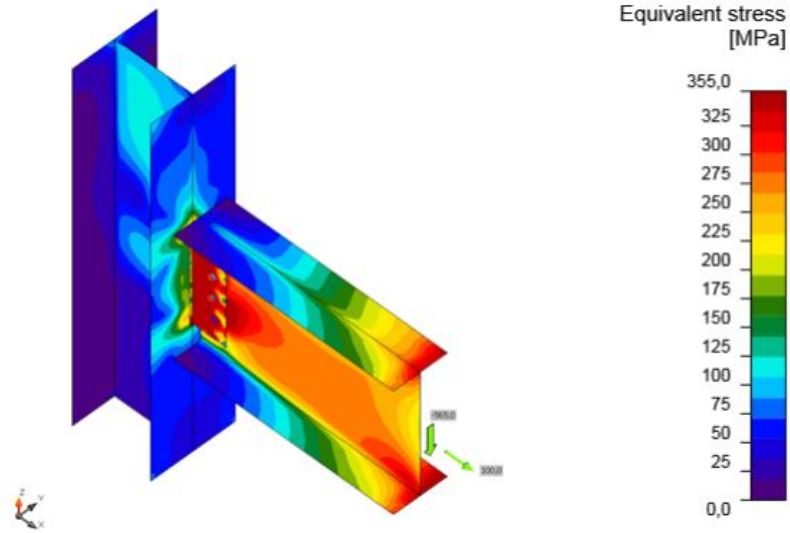
Overall check, LE1



Strain check, LE1



Project:  
Project no:  
Author:



Equivalent stress, LE1

**Bolts**

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$V$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	LE1	26,0	146,6	9,8	248,7	83,1	90,2	OK
	B2	LE1	16,1	149,6	6,1	248,7	84,9	89,2	OK
	B3	LE1	40,0	137,4	15,1	92,6	148,4	88,8	Not OK!
	B4	LE1	30,1	148,9	11,4	105,8	140,6	92,6	Not OK!

**Design data**

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$F_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M27 8.8 - 1	264,4	298,7	176,3

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for B1**

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Rd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Rd}}{1,4F_{t,Rd}} = 90,2 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Rd}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 9,8 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = 83,1 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_u A_s}{\gamma_{M2}} = 264,4 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A_s = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 298,7 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 43 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller  
 $t_p = 9 \text{ mm}$  – Thickness  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 176,3 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor  
 $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 248,7 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,50$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4  
 $a_b = 1,00$  – Factor  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $d = 27 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener  
 $t = 9 \text{ mm}$  – Thickness  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for B2**

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} = 89,2 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 6,1 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = 84,9 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 264,4 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor
- $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt
- $A_s = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 298,7 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 43 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller
- $t_p = 9 \text{ mm}$  – Thickness
- $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 176,3 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor
- $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor
- $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt
- $A = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 248,7 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,50$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4
- $a_b = 1,00$  – Factor
- $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength
- $d = 27 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener
- $t = 9 \text{ mm}$  – Thickness
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



**Detailed result for B3**

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} = 88,8 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 15,1 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = 148,4 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 264,4 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A_s = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 298,7 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 43 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller  
 $t_p = 9 \text{ mm}$  – Thickness  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 176,3 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor  
 $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor  
 $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt  
 $A = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{0,6k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 92,6 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,50$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4  
 $a_b = 0,58$  – Factor  
 $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength  
 $d = 27 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener  
 $t = 10 \text{ mm}$  – Thickness  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



#### Detailed result for B4

$$U_{tts} = \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} = 92,6 \%$$

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})} = 11,4 \%$$

$$U_{ts} = \frac{V_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = 140,6 \%$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_u A_s}{\gamma_{M2}} = 264,4 \text{ kN}$$

where:

- $k_2 = 0,90$  – Factor
- $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt
- $A_s = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 298,7 \text{ kN}$$

where:

- $d_m = 43 \text{ mm}$  – The mean of the across points and across flats dimensions of the bolt head or the nut, whichever is smaller
- $t_p = 9 \text{ mm}$  – Thickness
- $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{v,Rd} = \frac{\beta_p \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = 176,3 \text{ kN}$$

where:

- $\beta_p = 1,00$  – Reducing factor
- $\alpha_v = 0,60$  – Reducing factor
- $f_{ub} = 800,0 \text{ MPa}$  – Ultimate tensile strength of the bolt
- $A = 459 \text{ mm}^2$  – Tensile stress area of the bolt
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

$$F_{b,Rd} = \frac{0,6k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = 105,8 \text{ kN}$$

where:

- $k_1 = 2,50$  – Factor for edge distance and bolt spacing perpendicular to the direction of load transfer - EN 1993-1-8 - Table 3.4
- $a_b = 0,67$  – Factor
- $f_u = 490,0 \text{ MPa}$  – Ultimate strength
- $d = 27 \text{ mm}$  – Nominal diameter of the fastener
- $t = 10 \text{ mm}$  – Thickness
- $\gamma_{M2} = 1,25$  – Safety factor

**Project:**  
**Project no:**  
**Author:**



#### Symbol explanation

$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{t,Ed}$	Tension force
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance
$V$	Resultant of shear forces $V_y, V_z$ in bolt
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$U_t$	Utilization in tension
$U_s$	Utilization in shear
$U_{ts}$	Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

#### Welds (Plastic redistribution)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{  }$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$U_t$ [%]	$U_{tc}$ [%]	Status
C-bfl 1	FP1	▲6,0▲	345	LE1	431,4	2,6	215,8	51,4	209,5	99,1	59,6	OK
		▲6,0▲	345	LE1	431,3	2,5	204,9	-58,1	-211,3	99,0	88,5	OK

#### Design data

	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0,90	435,6	352,8

#### Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{  }$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
$U_t$	Utilization
$U_{tc}$	Weld capacity utilization

#### Detailed result for C-bfl 1 FP1

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 99,1 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)]^{0,5} = 431,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Ultimate strength

– Safety factor



**Project:****Project no:****Author:**

$$UT = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 99,0 \%$$

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} = 431,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 435,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 352,8 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 490,0 \text{ MPa}$$

– Ultimate strength

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

– Safety factor

**Buckling****Buckling analysis was not calculated.****Code settings**

Item	Value	Unit	Reference
YM0	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM1	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM2	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM3	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
YC	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Yinst	1,20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient βj	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated qb in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4