



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Rakennustekniikka**

**Rakennetekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**TERÄSPUTKISIDELIITOS JA TIEDONSIIRTO 3D-MALLINNUSOHJELMAAN**

**Työn tekijä: Mikko Ilvonen  
Työn ohjaajat: Keijo Jylhä**

**Työ hyväksytty: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2009**

**Jouni Kalliomäki  
lehtori**



## **ALKULAUSE**

Kiitos työn valvojalle Jouni Kalliomäelle napakoista kommenteista ja tuesta työn valmistumiseksi.

Kiitos Keijo Jylhälle ohjauksesta sekä teknisistä neuvoista Tekla Structures -ohjelmaan liittyen.

Lisäksi haluan kiittää Esko Mäkistä, Pekka Toivasta ja Tero Niinimäkeä normien tulkinta avusta sekä Timo Heloaroa Visual Basic -ohjelmointikielen asiantuntevasta avusta.

Kiitos myös työnantajalle mahdollisuudesta tehdä tämä työ varsinaisen työn ohella sekä kaikille työkavereille tuesta ja kannustuksesta.

Kiitos vaimolle runsaasta kannustuksesta.

Helsingissä 5.5.2009

Mikko Ilvonen

## TIIVISTELMÄ

|   |  |
|---|--|
| <b>Työn tekijä:</b> Mikko Ilvonen   |  |
| <b>Työn nimi:</b> Teräsputkisideliitos ja tiedonsiirto 3D-mallinnusohjelmaan  |  |
| <b>Päivämäärä:</b> 5.5.2009   | <b>Sivumäärä:</b> 31 s. + 34 liitettä              |
| <b>Koulutusohjelma:</b><br>Rakennustekniikka  | <b>Suuntautumisvaihtoehto:</b><br>Rakennetekniikka |
| <b>Työn ohjaaja:</b> lehtori Jouni Kalliomäki   |  |
| <b>Työn ohjaaja:</b> Keijo Jylhä  |  |
| <p>Tässä työssä perehdyttiin 1- ja 2-leikkeisen teräsputkisideliitoksen mitoitukseen EN eurokoodin mukaan.</p> <p>Pääosin liitosten mitoitus tehdään normin EN1993-1-8 mukaan. Tämän tyyppisen liitoksen mitoituksessa tarvitsee kuitenkin liitoslevyt mitoittaa normin EN1993-1-1 mukaisesti, josta joitakin arvoja tulee korjata normin EN1993-1-5 mukaisiksi. Lisäksi laskennassa tarvitaan poikkileikkausarvoja ja apusuureita, joita EN euronormissa ei ole esitetty vaan näitä jouduttiin etsimään alan kirjallisuudesta ja ENV normeista. Lisäksi liitoksessa on ominaisuuksia, joita suunnittelijan tulee valita tai päätellä. Tässä työssä on pyritty opastamaan näissä valinnoissa.</p> <p>Työn tavoitteena oli tehdä mitoitushjelma kyseiselle liitokselle. Ohjelman pohjaksi valittiin Excel-taulukkolaskentaohjelma. Tehty ohjelma laskee liitoksen kestävyuden lähes täydellisesti, mutta normin kaavojen monimutkaisuuden vuoksi laskenta ei ole aivan täydellinen. Työhön liittyen tehtiin myös mallilaskelma laskennan monimutkaisuuden toteamiseksi. Mallilaskelma on tehty MathCad-ohjelmalla ja tästä syntynyt pohja muutettiin laskentapohjaksi, joka on CEF1:n suunnittelijoiden hyödynnettävissä tarkempaan tarkasteluun kuin tehty Excel-pohjainen ohjelma.</p> <p>Yhtenä tavoitteena oli myös tutkia mahdollisuuksia siirtää liitosmitoitushjelman tieto Tekla Structures -mallinnusohjelmaan. Tämä toteutettiin Tekla Structures -ohjelmassa olevia liitosmakroja käyttäen. Liitoksenmitoitushjelmaan kirjoitettiin Visual Basic -komentorivi, joka luo liitosmakron ymmärtämän tekstitiedoston liitosohjelman parametreista, jonka jälkeä tiedosto on ladattavissa ohjelmaan.</p> <p>EN euronormien mukainen laskenta tämän tyyppiselle liitokselle on hyvin monimutkainen ja tämän vuoksi normiin tai kansalliseen liitteeseen kaivattaisiin mahdollisia lisäohjeita laskennan helpottamiseksi.</p> |  |
| <b>Avainsanat:</b> EN1993-1-8, EC3, liitosten mitoitus, putkisideliitos, reunapuristustyyppinen liitos  |  |

## ABSTRACT

|  |   |
|--|---|
| <b>Name:</b> Mikko Ilvonen   |   |
| <b>Title:</b> Tie Connection for Hollow Section Profiles and Data Transfer to 3D-modelling Software  |   |
| <b>Date:</b> 5.may.2009  | <b>Number of pages:</b> 31 p. + 34 appendices |
| <b>Department:</b><br>Civil Engineering  | <b>Study Programme:</b><br>Engineering        |
| <b>Instructor:</b> Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer   |   |
| <b>Supervisor:</b> Keijo Jylhä, Project Manager  |   |
| <p>The concept of this study was to examine the single and double shear hollow section tie connection as defined in the EN eurocode.</p> <p>Mainly connections are to be evaluated in accordance with the standard EN1993-1-8, but in this type of connection the joint plates are to be evaluated in accordance with the standard EN1993-1-1 and some variables corrected according to standard EN1993-1-5. In addition, some variables and section values are not shown in the standards, so research from the literature of the field as well as from the older ENV standards was needed.</p> <p>The objective of this study was to create a program for connection calculus. Excel was chosen as the basis for this program due to its simplicity. The program created calculates the resistance of the joint almost completely, but due to the complexity of calculus, some elements were not meaningful to be added to this program. To point out the complexity of the calculus, an example calculation was made as an addition. This calculus was made with MathCad software and was converted to a template to be used by engineers at CEFI. This template has complete calculation function for this type of joint contrary to the Excel program made.</p> <p>As an additional objective, the possibility to transfer information from the calculus program to the 3D-modeling program of Tekla Structures was to be researched. This transfer was carried out by using the joint macros in Tekla Structures. Visual Basic program was added to the Excel based program for creating the save file command required by the joint macro. The file created can be loaded to the modelling program.</p> <p>Calculus for this type of connection is very complex and due to this, some guidelines to simplify the calculus would be required either in the standard itself or in the national annex.</p> |   |
| <b>Keywords:</b> EN1993-1-8, EC3, connection design, tube connection, edge pressure type of connection   |   |

# SISÄLLYS

## ALKULAUSE

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>JOHDANTO</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>EUROKOODI</b>                                      | <b>2</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Eurokoodien käyttöönotto Suomessa</b>              | <b>2</b>  |
| <b>2.2</b> | <b>Eurokoodin EN 1993 osat</b>                        | <b>3</b>  |
| <b>2.3</b> | <b>Teräsrakenteiden toteutus eurokoodin mukaan</b>    | <b>4</b>  |
| <b>3</b>   | <b>SUUNNITTELUPERUSTEET</b>                           | <b>4</b>  |
| <b>3.1</b> | <b>Oletukset ja vaatimukset</b>                       | <b>4</b>  |
| 3.1.1      | Merkinnät ja vakiot                                   | 5         |
| 3.1.2      | Ruuvit  | 5         |
| 3.1.3      | Ruuvikiinnitysluokat                                  | 6         |
| 3.1.4      | Teräslaadut   | 7         |
| 3.1.5      | Hitsit  | 7         |
| <b>3.2</b> | <b>Liitoksen perusteet</b>                            | <b>9</b>  |
| 3.2.1      | Yleisiä liitostyyppejä                                | 9         |
| 3.2.2      | Liitoksen määrittäminen                               | 10        |
| 3.2.3      | Yksileikkeinen sideliitos                             | 10        |
| 3.2.4      | Kaksileikkeinen sideliitos                            | 11        |
| 3.2.5      | Liitoksen perusmuodot                                 | 11        |
| <b>4</b>   | <b>PERUSTEET LIITOKSEN KESTÄVYYDELLE</b>              | <b>12</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Vinositeet</b>                                     | <b>12</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Liitoksen laskennan rajaukset</b>                  | <b>12</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Liitoksen mitoittavat tekijät</b>                  | <b>13</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Voimien jakautuminen liitoksessa</b>               | <b>13</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Nurjahduspituuden määrittäminen liitoslevyille</b> | <b>15</b> |
| <b>5</b>   | <b>LIITOKSEN KESTÄVYYS</b>                            | <b>17</b> |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>5.1</b> | <b>Yleistä</b>  | <b>17</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Ruuvikiinnityksen estävyys</b>                                   | <b>17</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Reunapuristuskestävyys</b>                                       | <b>18</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Palamurtuminen</b>   | <b>19</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Hitsauskiinnitysten kestävyys</b>                                | <b>20</b> |
| 5.5.1      | Evälevyn hitsauskiinnitys   | 20        |
| 5.5.2      | Sidelevyn hitsauskiinnitys  | 21        |
| <b>5.6</b> | <b>Liitoslevyjen poikkileikkausten kestävyys</b>                    | <b>21</b> |
| 5.6.1      | Veto  | 21        |
| 5.6.2      | Puristus  | 21        |
| 5.6.3      | Kestävyys taivutusmomentille  | 22        |
| 5.6.4      | Leikkaus  | 23        |
| 5.6.5      | Vääntö  | 23        |
| 5.6.6      | Taivutus ja leikkaus  | 24        |
| 5.6.7      | Taivutus ja aksiaalinen voima                                       | 24        |
| 5.6.8      | Taivutus, leikkaus ja aksiaalinen voima                             | 25        |
| 5.6.9      | Nurjahdus- ja kiepahduskestävyys                                    | 25        |
| 5.6.10     | Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen taivutus ja aksiaalinen puristus | 26        |
| <b>6</b>   | <b>LIITOKSEN MITOITUSOHJELMA</b>                                    | <b>27</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Tiedonsiirto Tekla Structures -ohjelmaan</b>                     | <b>28</b> |
| <b>7</b>   | <b>YHTEENVETO</b>   | <b>31</b> |
|            | <b>VIITELUETTELO</b>  | <b>32</b> |

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena on tehdä Pöyry Civil Oy:n (myöhemmin "CEFI") käyttöön liitoksenmitoitushjelma 1- ja 2-leikkeisestä teräsputkisideliitkoses-ta joko Excel-tilukkolaskentaohjelmaan tai MathCad-laskentaohjelmaan.

Lisäksi tavoitteena on tehdä parametrisoitu taulukko liitoksen kestävyyksistä helpottamaan suunnittelua ja mallinnusta tai mahdollisesti lisäohjelma liitok-sen geometrian siirtämiseksi Tekla Structures:n (myöhemmin "TS") 3D-mallinnusohjelmaan.

Teräsrakenteiden suunnittelu CEFI:llä tapahtuu pääosin TS 3D-mallinnusohjelmistolla, sekä useilla erilaisilla laskentaohjelmilla. Suunnittelun kulku yleisesti menee niin, että rakenteesta tehdään "raakamalli" urakkapii-rustuksia varten eli rakenteet suunnitellaan pääprofiilitasolla. Tämän jälkeen samaa mallia jatketaan ns. detaljoinnilla, jolloin malliin lisätään liitokset ja muu sekundäärinen rakenne.

Tällä hetkellä CEFI:llä ei ole käytössä liitoksenmitoitushjelmaa, josta tiedon ja geometrian saisi siirrettyä suoraan TS-malliin.

## 2 EUROKOODI

### 2.1 Eurokoodien käyttöönotto Suomessa

Suomessa käytössä ollut Rakennusmääräyskokoelman B-osat, mukaan lukien teräsrakenteita koskeva B7 on rinnakkaiskäytössä euronormien ja kansallisten liitteiden (ENV +NAD ja EN +NA) kanssa 31.3.2010 asti, jonka jälkeen RakMk B-sarja poistuu käytöstä.

Suunnittelu tulee tehdä ainoastaan yhtä normia noudattaen, normien sekoittaminen keskenään on ehdottomasti kielletty.

Rakennesuunnittelukoodien osat:

- EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- EN 1991 Rakenteiden kuormat
- EN 1992 Betonirakenteiden suunnittelu
- **EN 1993 Teräsrakenteiden suunnittelu**
- EN 1994 Betoni-teräs-liittorakenteiden suunnittelu
- EN 1995 Puurakenteiden suunnittelu
- EN 1996 Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997 Geotekninen suunnittelu
- EN 1998 Rakenteiden suunnittelu maanjäristys huomioon ottaen
- EN 1999 Alumiinirakenteiden suunnittelu



## 2.2 Eurokoodin EN 1993 osat

- **EN 1993-1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt**
- EN 1993-1-2: Yleiset säännöt. Rakenteellinen palomitoitus
- EN 1993-1-3: Kylmämuovattuja elementtejä koskevat lisäsäännöt
- EN 1993-1-4: Yleiset säännöt. Ruostumattomia teräksiä koskevat lisäsäännöt
- **EN 1993-1-5: Levyrakenteet**
- EN 1993-1-6: Kuorirakenteiden lujuutta ja stabilisuutta koskevat lisäsäännöt
- EN 1993-1-7: Lisäsäännöt tasomaisille levyrakenteille, joihin kohdistuu tason suhteen poikittainen kuormitus
- **EN 1993-1-8: Liitosten suunnittelu**
- EN 1993-1-9: Väsyminen
- EN 1993-1-10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet
- EN 1993-1-11: Vetokappaleita sisältävät rakenteet
- EN 1993-1-12: Laajennus teräslajeihin S 700 asti
- EN 1993-2: Terässillat
- EN 1993-3-1: Tornit ja mastot
- EN 1993-3-2: Savupiiput
- EN 1993-4-1: Siilot
- EN 1993-4-2: Säiliöt
- EN 1993-4-3: Putkistot
- EN 1993-5: Paalut
- EN 1993-6: Nosturia kannattavat rakenteet

## 2.3 Teräsrakenteiden toteutus eurokoodin mukaan

Teräsrakenteiden valmistuksessa ja asennuksessa tapahtuu voimakas muutos EN eurokoodin myötä, joka aiheuttaa lisäpaineita eritoten suunnitteluun.

Konepajavalmistusta ja asennusta ohjaavassa normissa EN 1090-2 on valmistusta ja asennusta ohjaavia kohtia, jotka suunnittelija tulee määrittää. Käsiteltäviä kohtia on n. 50-100 kpl, riippuen projektin koosta.

Konepajan sulahitsiä koskevan normi EN 3834 ei suoraan vaikuta teräsrakenteiden suunnitteluun, mutta välillisesti se tuo lisävaatimuksia konepajapiirustuksiin. Laatustandardi edellyttää konepajalta mm. WPQR (*Welding Procedure Qualification Record*) ja WPS (*Welding Procedure Specification*) dokumentteja, joista WPS-numerointi tullaan jossain vaiheessa vaatimaan konepajapiirustuksen hitsimerkintöihin.

Teräsrakenteiden toteutus ja valmistus (materiaalit, kuormat, rakenneanalyysi, mitoitus ja valmistus) tulee tehdä soveltuvan normin mukaan saman normiryhmän sisällä.

- Suunnittelu RakMk B7 mukaan, toteutus B7 kohdan 11 tai ENV 1090-1 mukaan.
- Suunnittelu SFS-ENV +NAD mukaisesti, toteutus SFS-ENV 1090-1 ja SFS 5867 mukaan.
- Suunnittelu SFS EN +NA mukaisesti, toteutus SFS-EN 1090-2 mukaan.

## 3 SUUNNITTELUPERUSTEET

### 3.1 Oletukset ja vaatimukset

Tässä työssä on pääasiallisesti käytetty suunnittelupohjana euronormia EN 1993-1, osia -1, -5 ja -8, sekä Suomen kansallista liitettä soveltuvin osin.

Rakenteista, materiaaleista ja kuormituksesta on käytetty EN 1993-1-1, kohdissa 2 ja 3 esitettyjä oletuksia.

### 3.1.1 Merkinnät ja vakiot

Eurokoodilla suunniteltaessa tulee käyttää samaa merkistöä kuin on normisakin suunnitelmien luettavuuden vuoksi. Merkinnät on esitetty kunkin normin alussa.

Laskennassa käytetyt EN 1993-1-1, kohdan 6.1 materiaalien osavarmuuskerroimet:

- Liitosten kestävyys  $\gamma_{M2}=1,25$
- Poikkileikkauksen kestävyys  $\gamma_{M1}=1,0$
- Sauvojen kestävyys stabiiliuden suhteen  $\gamma_{M0}=1,0$

### 3.1.2 Ruuvit

Normi kattaa ruvin lujuusluokat 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 ja 10.9, kuitenkin Suomen kansallinen liite suosittelee käyttämään ainoastaan lujuusluokan 8.8 ja 10.9 ruuveja, joista ensimmäisen käyttö on yleisimmin perusteltua.

Kiinnittimen kokonaisuus eli ruuviyhdistelmä vaatii myös kuusiomutterin ja aluslevyn.

8.8 ruuvien kanssa aluslevy tulee olla mutterin tai ruvin pään alla, sillä puolella mistä kiristetään [4, 8.2.4(a)] ja 10.9 ruuveilla aluslevyä tulee käyttää mutterin sekä ruvin pään alla [4, 8.2.4(b)]. Osakierteisen ruvin yhdistelmässä on suositeltavaa käyttää paksumpaa aluslevyä DIN7989.

Yleisesti käytössä olevat ruuvistandardit:

- Osakierteinen kuusioruuvi SFS-EN ISO 4014
- Täyskierteinen kuusioruuvi SFS-EN ISO 4017
- Kuusiomutteri SFS-EN ISO 4032
- Aluslevyt SFS-EN ISO 7089-7091

Normin EN 1090-2, kohdassa 8.5.1 esitetään esijännitetyille ruuveille vaadittava kiristysvoima  $F_{p,c}$  ja Kohdassa 8.5.2 on ohjeet kiristysmomentin määrittämiseksi. Kaavojen kertoimia joutuu hakemaan normista EN 14399, siksi onkin perusteltua käyttää kaavojen alta löytyvää yksinkertaistettua menetelmää. Ruuvi on myös mahdollista lukita muullakin tavalla, esim. hitsaamalla, mutta esijännitys on suositeltavaa tämän tyyppisessä liitoksessa.

### 3.1.3 Ruuvikiinnitysluokat

Sideliitokset ovat aina nivelellisiä liitoksia ja usein käytetään tyypiltään, normissa SFS-EN 1993-1-8 taulukossa 3.2. luokan A (taulukko 1), eli reunapuristustyyppistä liitosta.

Taulukko 1. Ruuvikiinnitysluokat[3]

| Luokka   | Ehto   | Huomautuksia   |
|--|--|--|
| <b>Leikkausvoiman rasittamat kiinnitykset</b>  |  |  |
| A<br>Reunapuristustyyppinen kiinnitys  | $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$                                     | Esijännitystä ei vaadita.<br>Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9.   |
| B<br>Käyttörajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys  | $F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ | Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit.<br>Liukumiskestävyys käyttörajatilassa, ks. 3.9.                               |
| C<br>Murtorajatilassa liukumisen kestävä kiinnitys   | $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$       | Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit.<br>Liukumiskestävyys murtorajatilassa, ks. 3.9.<br>$N_{net,Rd}$ ks. 3.4.1(1c). |
| <b>Vetovoiman rasittamat kiinnitykset</b>  |  |  |
| D<br>Esijännittämätön ruuvi  | $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$<br>$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$                                     | Esijännitystä ei vaadita.<br>Kaikki lujuusluokat 4.6...10.9.<br>$B_{p,Rd}$ ks. taulukko 3.4.                                     |
| E<br>Esijännitetty ruuvi   | $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$<br>$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$                                     | Esijännitetyt lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuvit. $B_{p,Rd}$ , ks. taulukko 3.4.   |
| Vetovoiman mitoitusarvoon $F_{t,Ed}$ lasketaan mukaan vipuvaikutus, ks. 3.11. Ruuvit, joihin kohdistuu sekä leikkaus- että vetovoima tarkistetaan lisäksi taulukon 3.4 mukaiselle yhteisvaikutukselle. |  |  |

Kuitenkin, jos rakenteeseen vaikuttaa dynaamisia voimia, pois lukien tuuli on suositeltavaa käyttää vähintään liitostyyppiä B [3, 2.6], eli käyttörajatilassa liukumisen kestävää liitosta. Reunapuristustyyppisessä liitoksessa voiman suunnan vaihtuminen voi aiheuttaa voimakkaan sysäys voiman reikien toleranssien vuoksi. Usein kuitenkin FEM-ohjelmista saatavat voimat eri kuormitustapauksilta tulevat murtorajatilan kuormina ja käytettäessä liitostyyppiä B olisi laskenta tehtävä kahteen kertaan. Dynaamisille kuormille onkin perusteltua käyttää liitostyyppiä C eli murtorajatilassa liukumisen kestävää liitosta. Tässä työssä dynaaminen kuormitus on rajattu pois ja huomioitu ainoastaan reunapuristustyyppinen kiinnitys.

### 3.1.4 Teräslaadut

Teräslaaduille on annettu oletukset normin EN 1993-1-1, kohdassa 3, jossa on esitetty vaatimukset sitkeydelle, murtumissitkeydelle, paksuussuuntaisille ominaisuuksille ja toleransseille.

Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan  $f_y$  ja vetomurtolujuuden  $f_u$  nimellisarvot on esitetty taulukossa 3.1.

Teräslaatuojen toimitustilan tunnus on muuttunut RakMk B7:sta ja ENV-normista. Vanhat, toimitustilaa kuvaavat merkinnät G2, G3 ja G4 ovat poistuneet ja tilalle ovat tulleet uudet +N (normalisointivalssaus) ja +AR (ilman erityistä lämpökäsittelyä). esim. ennen: S355J2G3, nyt: S355J2+N.

Materiaalivastaavuustaulukot vanhaan normiin ja euroalueen maiden kansallisiin standardeihin löytyvät normin EN 10025 liitteistä.

### 3.1.5 Hitsit

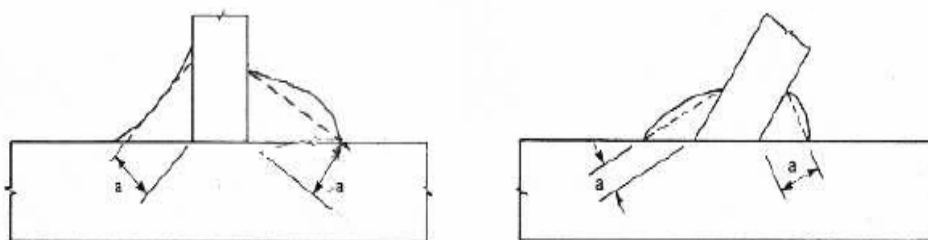
Tämän kohdan sääntöjä sovelletaan standardin EN 1993-1-1 mukaisille hitsattaville rakenneteräksille, kun ainepaksuus on vähintään 4 mm. Sääntöjä sovelletaan myös hitsausliitoksiin, joissa hitsiaineen mekaaniset ominaisuudet vastaavat perusaineen mekaanisia ominaisuuksia, ks. EN1993-1-8 (4.2). [3, 4.1(1).]

Pienahitsejä voidaan käyttää osien kiinnittämiseen, jos liitospintojen muodostama kulma on  $60^\circ$  - $120^\circ$ . [3, 4.3.2.1(1).]

Pienahitsejä ei saa lopettaa rakenneosien päissä tai sivuilla, vaan ne hitsataan jatkuvina ja täysikokoisina kulman ympäri kaksi kertaa hitsin kyljen pituiseksi, ellei tämä ole luoksepäästävyuden tai liitoksen muodon takia epäkäytännöllistä. [3, 4.3.2.1(4).] Pienahitsin tehollisena pituutena  $l_{eff}$  käytetään täysikokoisen pienahitsin kokonaispituutta, Tehollisen pituuden arvoksi voidaan valita hitsin kokonaispituus vähennettynä arvolla kaksi kertaa efektiivinen a-mitta. Edellyttäen, että hitsi on täysikokoinen koko teholliselta pituudeltaan, ei tehollista pituutta tarvitse pienentää hitsin aloitus- tai lopetuskohtien takia. [3, 4.5.1(1).]

Pienahitsejä, joiden tehollinen pituus on alle 30 mm tai alle 6 kertaa  $a$ -mitta, (ko. arvoista käytetään suurempaa) ei käsitellä voimia siirtävinä. [3, 4.5.1(2).]

Pienahitsin efektiivinen  $a$ -mitta on suurimman kolmion (joko tasakylkinen tai erikylkinen) korkeus, joka voidaan piirtää railon kylkien ja hitsin pinnan sisään mitattuna kohtisuorassa suunnassa tämän kolmion uloimpaan pintaan nähden. [3, 4.5.2(1).]



Kuva 1. Pienahitsin efektiivinen  $a$ -mitta[3].

Pienahitsin efektiiviseksi  $a$ -mitaksi valitaan vähintään 3 mm. [3, 4.5.2(2).]

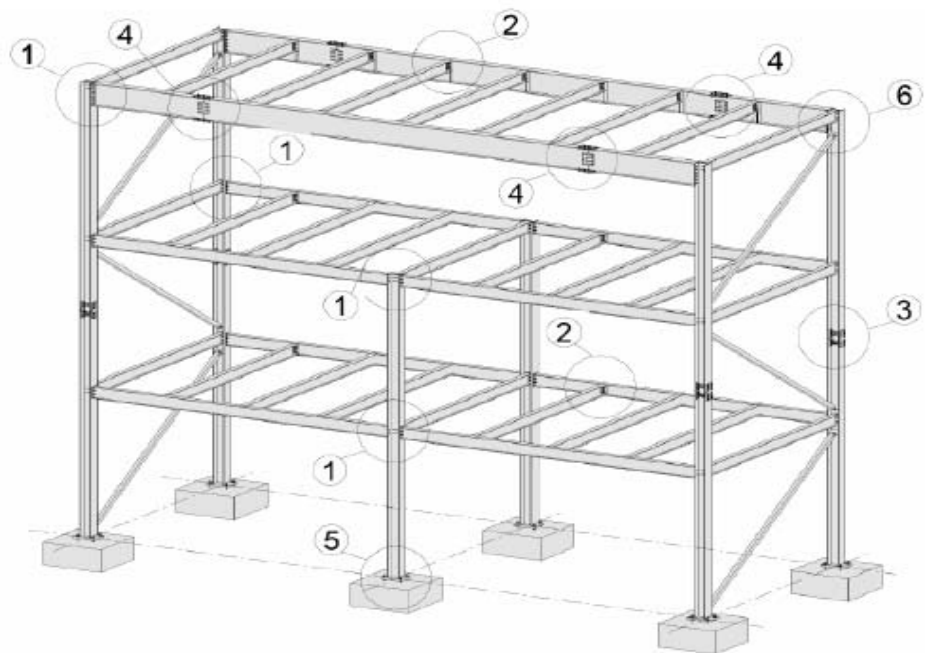
Hitsausluokat on esitetty normissa EN ISO 5817, yleensä käytetty hitsausluokka on C.

Hitsauksen tarkastuslaajuus on muuttunut ENV eurokoodista ja RakMk B7:sta. Normin EN 1090-2 mukaisesti suunnittelija määrittää hitsauksen tarkastuslaajuus projektieritelmässä. Todennäköistä on, että hitsausten tarkastuslaajuus määritetään tulevaisuudessakin vastaamaan RakMk B7:n taulukkoa 11.7.

## 3.2 Liitoksen perusteet

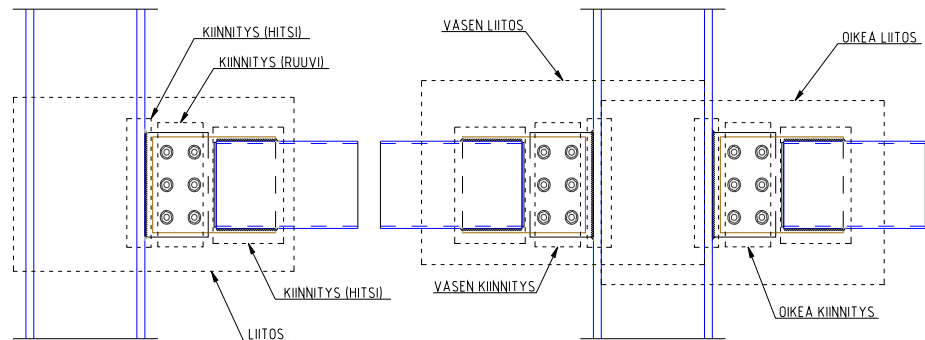
### 3.2.1 Yleisiä liitostyyppejä

1. yksi- ja kaksipuolinen palkki-pilariliitos
2. palkki-palkkiliitos
3. pilarin jatkos
4. palkin jatkos
5. pilarin pohja (peruspulttiliitos)
6. **sideliitos**



Kuva 2. Yleisiä liitostyyppejä

### 3.2.2 Liitoksen määrittäminen



Kuva 3. Liitoksen komponentit

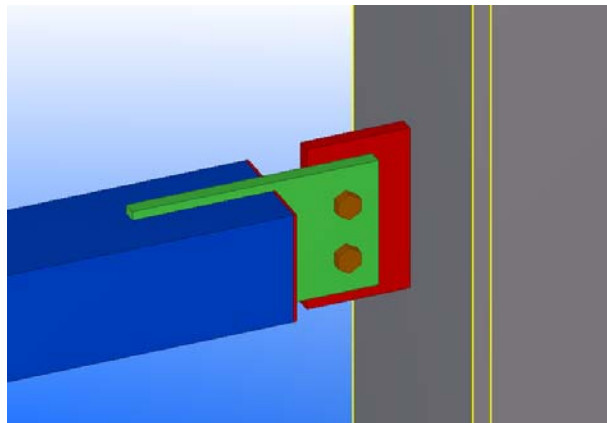
**Liitos** = alue, missä vähintään kaksi sauvaa kiinnitetään toisiinsa. Suunnittelussa liitos tarkoittaa kaikkien peruskomponenttien yhdistelmää.

**Liitoksen peruskomponentti** = liitoksen osa, joka vaikuttaa yhteen tai useampaan liitoksen rakenteelliseen ominaisuuteen (uuma, päätylevy, ruuvit, hitsi jne.)

**Kiinnitys** = paikka, jossa kaksi osaa kohtaa. Suunnittelussa kiinnitys tarkoittaa peruskomponenttien yhdistelmää.

### 3.2.3 Yksileikkeinen sideliitos

Yksileikkeisen sideliitoksen käytön perusteina on helppo valmistus ja asennus. Negatiivisena puolena yksileikkeisessä liitoksessa on liitoksen epäkeskisyydestä juontuva taivutusmomentti, joka aiheuttaa laskentaan omat haasteensa ja vähentää liitoksen normaalivoimakestävyyttä.

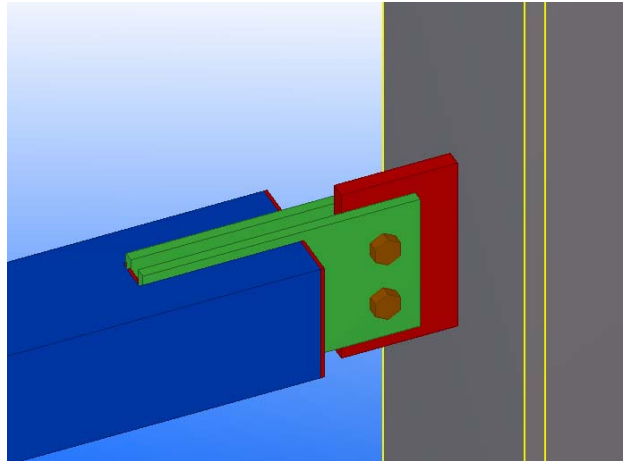


Kuva 4. Yksileikkeinen sideliitos



### 3.2.4 Kaksileikkeinen sideliitos

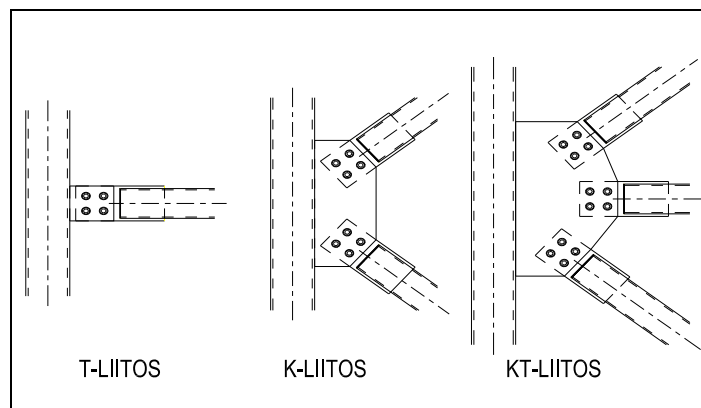
Kaksileikkeisen sideliitoksen ominaisuutena on, ettei liitokseen synny epäkeskisyyksiä ja siitä johtuvia taivutusmomenteja liitoslevyille. Haittapuolena on liitoksen valmistuksen hankaluus. Lisäksi asennus on suunniteltava tarkemmin.



Kuva 5. Kaksileikkeinen sideliitos

### 3.2.5 Liitoksen perusmuodot

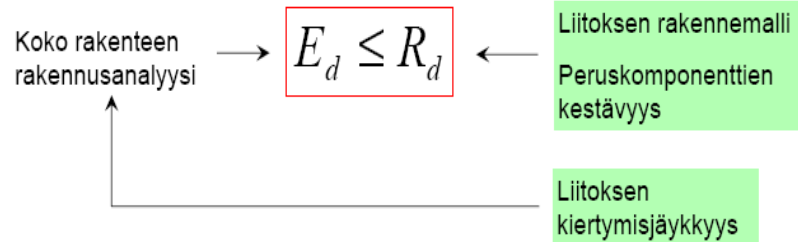
Sideliitoksesta on yleensä käytössä kolme perusmuotoa, 1-, 2- ja 3-sauvan, eli: T-, K- KT-liitos. Liitokset voivat olla myös kaksipuolisia.



Kuva 6. Liitoksen perusmuodot

## 4 PERUSTEET LIITOKSEN KESTÄVYYDELLE

Liitoksen kestävyys = liitoksen heikoimman yksittäisen tekijän kestävyys.



$E_d$  on liitoksen rasitukset (E=Effects, d=design),

$R_d$  on liitoksen kestävyys (R=Resistance, d=design)

### 4.1 Vinositeet

Vinositeiden tarkoitus pääasiallisesti on siirtää rakennuksen vaakavoimat perustuksien kautta maaperään ja pitää rakennus pystyssä.

Ulkoiset vaakavoimat rakennuksille tulevat pääosin tuulesta ja sisäisistä vaakavoimista, mm. taso- ja laitekuormista.

Sideliitos tulee aina suunnitella nivel-liitokseksi, jolla varmistetaan, ettei siteisiin siirry muuta kuin normaalivoimaa.

### 4.2 Liitoksen laskennan rajaukset

Tässä työssä laskenta rajattiin käsittämään liitoslevyjen kestävyden, hitsauskiinnitykset pilariin ja siteeseen sekä ruuvikiinnityksen kestävyden,

Liitoksen laskennasta rajattiin pois pilarin ja siteen kestävydet liitoksen voimille. Näiden kestävyys liitoksen voimille on olennainen osa, mutta ne rajattiin pois lähes rajattomien pilari- ja liitoksen sijaintivaihtoehtojen vuoksi.

Lisäksi tässä työssä ei ole huomioitu siteelle muuta kuin normaalivoimaa.

### 4.3 Liitoksen mitoittavat tekijät

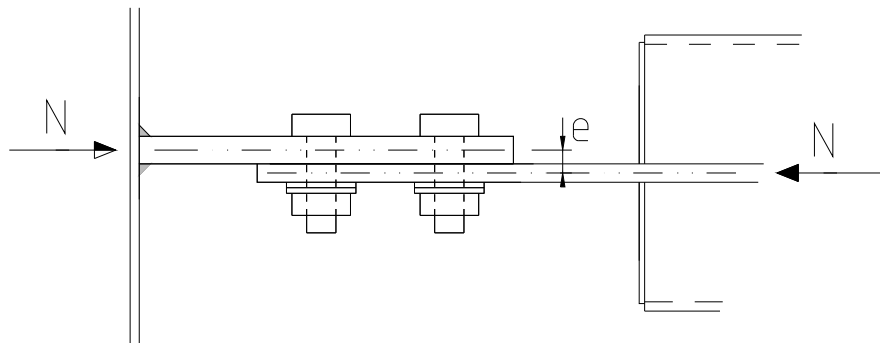
Liitoksen mitoittavat tekijät yksileikkeiselle sideliitokselle ovat:

- Ruuvien leikkauskestävyys
- Liitoslevyjen palamurtumiskestävyys
- Liitoslevyjen reunapuristuskestävyys
- Liitoslevyjen kestävyys normaalivoimalle
- Liitoslevyjen kestävyys normaalivoimalle ja taivutukselle
- Hitsauskiinnitysten kestävyys

Kaksileikkeisessä liitoksessa epäkeskisyydestä johtuvaa taivutusmomenttia ei esiinny.

### 4.4 Voimien jakautuminen liitoksessa

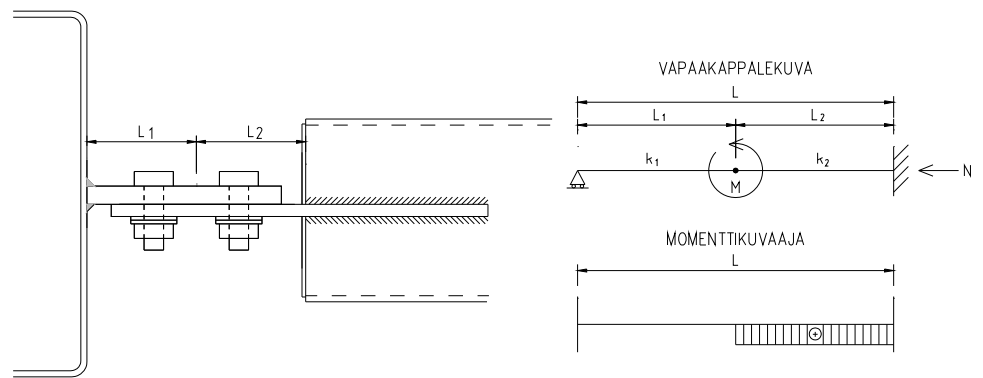
Yksileikkeisessä liitoksessa liitoslevyjen epäkeskisyys aiheuttaa levyihin taivutusmomentin suuruudeltaan  $e \cdot N$  **Error! Bookmark not defined.** heikompaan suuntaan.



Kuva 7. Liitoksen epäkeskisyys

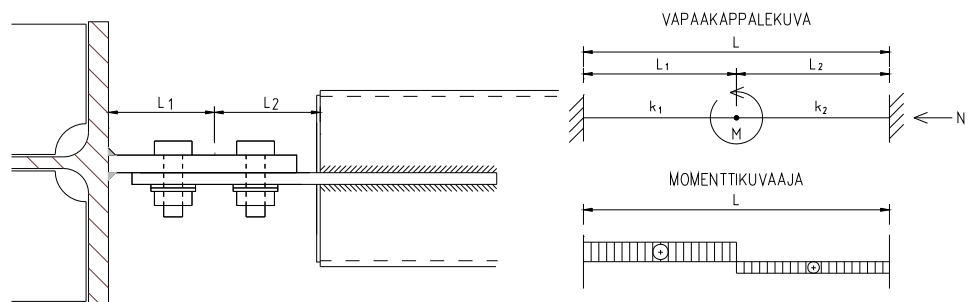
Momentti jakautuu liitoslevyille jäykkyyksien suhteessa. Liitoslevyjen jäykkyyteen vaikuttaa poikkileikkauksen lisäksi pituus ja päiden kiinnitys.

Esimerkiksi, jos 15 mm paksu evälevy on kiinnitetty RHS 300\*5 pilariin keskeisesti ilman jäykisteitä, liitoslevyn kiinnitystä ei voida katsoa jäykäksi vaan on lähes nivel, jolloin taivutusmomentti jakautuu kokonaisuudessaan sidelevylle. Sidelevyn kiinnitys siteeseen on käytännössä aina jäykkä.



Kuva 8. Voimien jakautuminen liitoksessa

Jos taas evälevy on kiinnitetty uumajäykistetyin H- tai I-profiilin laippaan, tällöin kiinnityksen voidaan katsoa olevan jäykkä ja taivutusmomentti jakautuu levyille jäykkyyksien suhteessa.

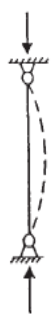


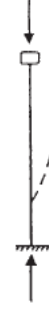




Kuva 9. Voimien jakautuminen liitoksessa

Epäkeskisyydestä aiheutuva taivutusmomentti on monesti perusteltua huomioida täysimääräisenä pelkästään toiselle tai molemmille levyille.

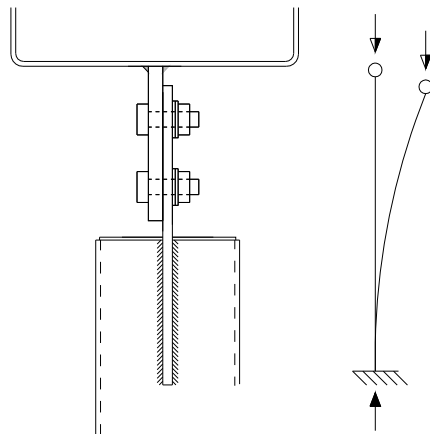
#### 4.5 Nurjahduspituuden määrittäminen liitoslevyille

Liitoksen kokonaisnurjahduspituus on määritettävissä kahden tapauksen väliltä riippuen liitoksesta pilariin. Liitoksen kokonaisnurjahduspituuden vaihdella 1.2:sta 2.1:een. ks. Kuvat 11 ja 12.

| Molemmista päistä nivelöity sauva   | Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty sauva   | Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty sauva                                      | Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty sauva<br>Toinen kiinnityskohta sivusirtyvä   | Toisesta päästä jäykästi ja toisesta päästä nivelöidysti kiinnitetty sauva          |
|---|--|---|---|---|
|  |   |  |  |  |
| $\gamma = 1,0$  | $\gamma = 2,1$   | $\gamma = 0,6$  | $\gamma = 1,2$  | $\gamma = 0,8$  |
| Sauvan<br>pään<br>reunaehdot  |  | Kiertymä estetty<br>Kiertymä vapaa<br>Kiertymä estetty<br>Kiertymä vapaa          |   | Siirtymä estetty<br>Siirtymä estetty<br>Siirtymä vapaa<br>Siirtymä vapaa            |

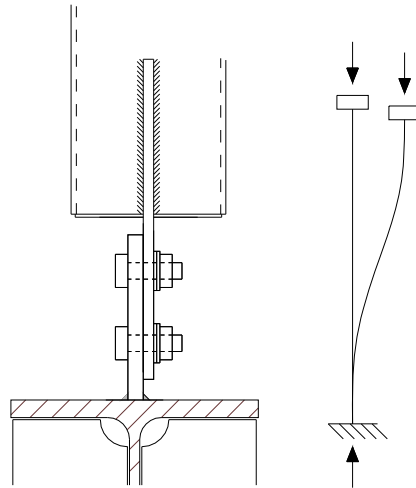
Kuva 10. Yleiset nurjahdustapaukset

Tapaus, jossa kiinnitys pilariin on nivel, kokonaiskertoimeksi saadaan 2.1. Levyjä mitoitettaessa nurjahduspituudet voidaan katsoa olevan: evälevylle 2.1 ja sidelevylle 2.1.



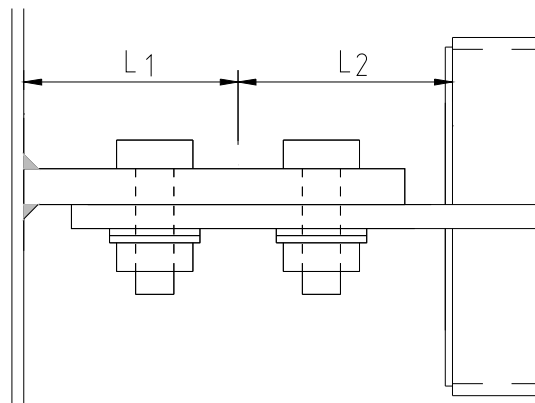
Kuva 11. Nurjahdustapaus

Tapaus, jossa kiinnitys pilariin voidaan katsoa jäykäksi, saadaan liitoksen kokonaiskertoimeksi 1.2, jossa levyjä mitoittaessa on huomioitava, että heikomman levyn kiertymän ruuvikiinnityksen päässä estää vahvemman levyn jäykkyys, eli nurjahduskertoimet on jotain välillä 1.2–2.1. 1.2 ollessa jäykkyydeltään selkeästi heikomman levyn nurjahduskerroin. Varman päälle laskettuna kertoimeksi voidaan valita 2.1 molemmille levyille.



*Kuva 12. Nurjahdustapaus*

Laskentaa varten on perusteltua määrittää tarkasteltavan sauvan nimelliseksi pituudeksi etäisyys pilarin tai siteen kiinnityskohdasta ruuviryhmän keskele.



*Kuva 13. Levyjen nimelliset pituudet*

Suunnittelija voi myös harkita käyttävänsä nimellisenä pituutena pilarin tai siteen kiinnityskohdasta ensimmäiseen ruuvikiinnikkeeseen tai jotain näiden väliltä.

## 5 LIITOKSEN KESTÄVYYS

### 5.1 Yleistä

Liitoksen kestävyys tarkastetaan pääosin EN 1993-1-8 mukaisesti, kuitenkin taulukossa 6.1 ohjataan liitoslevyjen poikkileikkauksien tarkastaminen normin EN1993-1-1 mukaisesti.

Normissa EN1993-1-1 poikkileikkauksen kestävyuden tarkastaminen perustuu poikkileikkausluokkiin. Ongelmana vastaan tulee, ettei taulukossa 5.2 ole esitetty poikkileikkausluokan määrittystä umpinaiselle suorakaide profiilille (levylle).

Normista EN1993-1-5 kohdassa 4.2(1) ohjeistetaan normaalivoimat levylle laskemaan tehollisilla poikkileikkaussuureilla, eli tämän mukaan tarkastelussa levy voidaan rinnastaa poikkileikkausluokkaan 4.

Pituussuunnassa jäykistämättömälle taso-osalle tehollinen poikkileikkaus määräytyy kohdan 4.4 mukaisesti, jossa teholliselle leikkausalalle lasketaan pienennystekijä  $\rho$ .

Jos yhdeltä reunalta tuetun taso-osan muunnettu hoikkuus  $\lambda_p$  jää alle 0.748, voidaan poikkileikkaussuureet laskea koko poikkileikkaukselle. [2, 4.4(2).]

Tämä työ on tässä suhteessa rajattu näihin arvoihin, eikä tehollisten poikkileikkausarvojen laskemista ole sen enempää esitetty.

### 5.2 Ruuvikiinnityksen estävyys

Yksittäisen ruuvin leikkauskestävyys on sama sekä vedetylle, että puristetulle liitokselle. Ruuvin leikkauskestävyys leikettä kohden  $F_{v,Rd}$  yksittäiselle ruuville saadaan kaavasta [3, Taulukko 3.4]:

$$F_{v,Rd} := \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Jossa  $\alpha_v$  on ruuvin lujuusluokasta riippuva kerroin, johon myös vaikuttaa sijaitseeko leikkaustasossa ruuvin kierteellinen vai kierteetön osuus,  $f_{ub}$  on ruuviaineksen murtolujuus,  $A$  on leikkaustasossa oleva ruuvin poikkileikkauksen pinta-ala ja  $\gamma_{M2}$  on materiaaliosavarmuuskerroin ruuville.

On hyvän suunnittelutavan mukaista, ettei ruuvien leikkauslujuus tule mitoit-  
tavaksi tekijäksi, koska silloin liitoksen murtumatapa on hauras ja murtues-  
saan koko rakenne pettää ilman varoitusta.



Kuva 14. Poikkileikkautunut ruuvi [6]

### 5.3 Reunapuristuskestävyys

Reunapuristuksen lujuuteen vaikuttaa voiman suunta, eli kyseisen liitoksen tapauksessa reunapuristuskestävyys sauvan puristukselle on suurempi tai vähintään yhtä suuri kuin sauvan vedolle. Tämä on seurausta reunaetäisyyksien muuttumisesta ja vaikutuksesta kertoimeen  $a_b$ .

Reunapuristuskestävyys lasketaan ruuvikohtaisesti ja saadaan kaavasta [3, taulukko 3.4]:

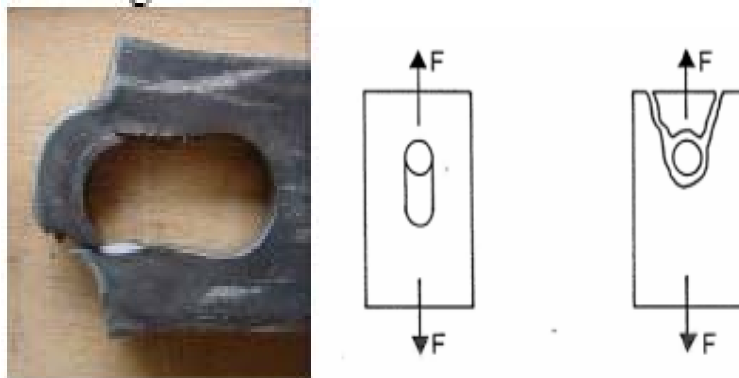
$$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Jossa  $k_1$  on voimaan nähden kohtisuoran reuna- ja keskiöetäisyyden huomioiva keroin,  $a_b$  on voiman suuntaisten reuna- ja keskiöetäisyyden huomioiva keroin,  $f_u$  on liitoslevyn murtolujuus,  $d$  on ruuvin nimellishalkaisija,  $t$  on laskettavan liitoslevyn paksuus ja  $\gamma_{M2}$  on materiaaliosavarmuuskerroin ruuville.

Yksileikkeisessä päällekkäisliitoksessa, joissa on vain yksi ruuvirivi, asetetaan aluslaatta sekä ruvin kannan että mutterin alle. Lisäksi reunapuristuskestävyys  $F_{b,Rd}$  ruuvia kohden rajoitetaan arvoon [3, 3.6.1(10)]:

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \gamma_{M2}$$





Kuva 15. Reunapuristuskestävyyden pettäminen [6]

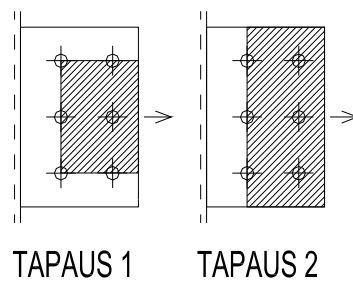
#### 5.4 Palamurtuminen

Palamurtuminen on huomioitava tekijä, kun side on vetojännitettynä. T-liitoksessa symmetrian vuoksi tällä liitoksella on palamurtumismuotoja 2. ks. kuva 16.

Palamurtumisen kestävyys saadaan kaavasta [3, 3.10.2]:

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

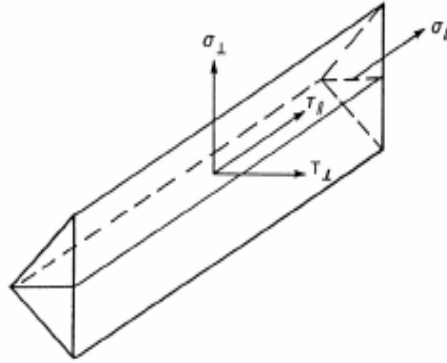
Jossa  $f_u$  on teräksen murtolujuus,  $A_{\text{nt}}$  on vedon rasittama poikkileikkauksen nettopinta-ala,  $A_{\text{nv}}$  on leikkauksen rasittama poikkileikkauksen nettopinta-ala.



Kuva 16. Palamurtumismuodot

## 5.5 Hitsauskiinnitysten kestävyys

Pienhitsin kestävyuden mitoitusarvon voi määrittää EN1993-1-8 kohdan 4.5.3.2 mukaan tai yksinkertaistetun menetelmän 4.5.3.3 mukaan [3, 4.5.3.1(1)].



Kuva 17. Pienahitsin laskentapoikkipinnan jännitykset [3]

Levyn lyhyempien sivujen hitsejä ei huomioida lujuuteen.

### 5.5.1 Evälevyn hitsauskiinnitys

EN1993-1-8 kohdan 4.5.3.2. mukaisesti jakamalla jännitys komponentteihin saadaan 45°:n kulmassa olevalle pienahitsille vetokestävyuden mitoitusarvoksi:

$$f_{w,Rd} = \frac{f_u / \sqrt{2}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Myös kohdan 4.5.3.3, [3] yksinkertaistetun menetelmän käyttö on sallittu. Riippumatta hitsin laskentapoikkipinnan suunnasta hitsin kestävyuden mitoitusarvo  $f_{vw,d}$  pituusyksikköä kohden saadaan kaavasta:

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

Pienahitsin korrelaatiokerroin  $\beta_w$  saadaan taulukosta 4.1.

### 5.5.2 Sidelevyn hitsauskiinnitys

Sidelevyn hitsaussaumaan tulee ainoastaan leikkausjännitystä, joten hitsin kestävyden mitoitusarvo saadaan kaavasta:

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

## 5.6 Liitoslevyjen poikkileikkausten kestävyys

### 5.6.1 Veto [1, 6.2.3]

(1) Vetovoiman mitoitusarvon  $N_{ed}$  tulee kaikissa poikkileikkauksissa täyttää ehto:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

(2) Reiällisten poikkileikkausten vetokestävyden mitoitusarvo  $N_{tRd}$  on pienempi arvoista:

a) bruttopoikkileikkauksen vetokestävyden mitoitusarvo:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

b) nettopoikkileikkauksen kestävyden mitoitusarvo kiinnittimien reikien kohdalla:

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

### 5.6.2 Puristus [1, 6.2.4]

(1) Puristusvoiman mitoitusarvon  $N_{ed}$  tulee kaikissa poikkileikkauksissa täyttää ehto:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

(2) Poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo  $N_{c,Rd}$  tasaiselle puristukselle lasketaan seuraavasti:

a) poikkileikkausluokissa 1-3:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

b) poikkileikkausluokassa 4:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$$

(3) Kiinnittimen reikiä ei tarvitse ottaa huomioon puristetuissa sauvoissa mikäli kiinnitin on reiässä lukuun ottamatta standardin EN 1090 mukaisia ylisuuria ja pidennettyjä reikiä.

### 5.6.3 Kestävyys taivutusmomentille [1, 6.2.5]

(1) Taivutusmomentin mitoitusarvon  $M_{ed}$  tulee kaikissa poikkileikkauksissa täyttää ehto:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

(2) Poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo poikkileikkauksen yhden pääjäyhyysakselin suhteen tapahtuvassa taivutuksessa lasketaan seuraavasti:

a) poikkileikkausluokissa 1-2

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

b) poikkileikkausluokassa 3

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$$

c) poikkileikkausluokassa 4

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}}$$

missä  $w_{el.min}$  ja  $W_{eff.min}$  lasketaan poikkileikkauksen reunassa vaikuttavan suurimman kimmoteorian mukaisen jännityksen perusteella.

(3) Kahden akselin suhteen tapahtuvassa taivutuksessa sovelletaan kohdan (6.2.9) mukaista menetelmää.

#### 5.6.4 Leikkaus

(1) Leikkausvoiman mitoitusarvon  $V_{ed}$  tulee kaikissa poikkileikkauksissa täyttää ehto [1, 6.2.6]:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c.Rd}} \leq 1$$

missä  $V_{c.Rd}$  on leikkauskestävyyden mitoitusarvo. Plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa  $V_{c.Rd}$  vastaa leikkauskestävyyden mitoitusarvoa  $V_{pl.Rd}$ . Kun vääntöä ei ole, leikkauskestävyys lasketaan kaavasta [1, 6.2.6]:

$$V_{pl.Rd} = \frac{A_v (f_{y/\sqrt{3}})}{\gamma_{MO}}$$

Leikkausvoimia liitokseen tulee ainoastaan ulkoisesta voimasta. Yksileikkisessä liitoksessa epäkeskisyydestä aiheutuva taivutusmomentti ei aiheuta leikkausvoimia levyihin liitoksen sivusiirtävyyden vuoksi. [1, 6.2.6.]

Jos liitoslevyille tulee leikkausjännityksiä ulkoisista voimista tulee levyille tehdä myös leikkauslommahdus tarkastelu normin EN 1993-1-5 mukaisesti.

#### 5.6.5 Vääntö

Liitoksessa ei varsinaisesti esiinny vääntöä. Liitos on altis vääntömuodonmuutoksille ja saattaa normaalivoiman vaikutuksesta kiepahtaa. Mahdollisen kiepahduksen aiheuttama vääntöjännitys huomioidaan normin EN 1993-1-1 kohdassa 6.3.2.1 Kiepahduskestävyys ja kohdassa 6.3.3 Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen taivutus ja aksiaalinen puristus. Jos siteelle tulee ulkoinen pystysuuntainen voima, aiheuttaa liitoslevyjen epäkeskisyyden taivutusmomentin lisäksi myös vääntömomentin, joka tulee huomioida liitoslevyjen kestävydessä.

### 5.6.6 Taivutus ja leikkaus

(1) Leikkausvoiman vaikutus taivutusmomenttikestävyyteen otetaan huomioon [1, 6.2.8].

(2) Kun leikkausvoima on pienempi kuin puolet plastisuusteorian mukaisesta leikkauskestävyydestä, sen vaikutus taivutusmomenttikestävyyteen voidaan jättää huomioon ottamatta paitsi, jos leikkauslommahdus pienentää poikkileikkauksen kestävyyttä, ks. EN 1993-1-5 [1, 6.2.8].

Jos liitokseen tulee leikkausjännityksiä ulkoisista voimista tulee ne huomioida.

### 5.6.7 Taivutus ja aksiaalinen voima [1, 6.2.9]

(1) Aksiaalisen voiman vaikutus plastisuusteorian mukaiseen taivutusmomenttikestävyyteen otetaan huomioon.

(2) Poikkileikkausluokissa 1 ja 2 noudatetaan seuraavaa ehtoa:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

missä  $M_{N,Rd}$  on plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun aksiaalisen voiman  $N_{Ed}$  pienentävä vaikutus otetaan huomioon.

(3) Pienennetty plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo  $M_{N,Rd}$  levyille, jossa ei ole kiinnittimen reikiä, lasketaan kaavasta:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} [1 - (N_{Ed} / N_{pl,Rd})^2]$$

Kun leikkausvoimaa ei ole, tulee poikkileikkausluokassa 3 suurimman aksiaalisen paikallisen jännityksen ja poikkileikkausluokassa 4, tehollisen poikkileikkauksen perusteella lasketun suurimman aksiaalisen paikallisen jännityksen  $\sigma_{x,Ed}$  (ks. 5.5.2(2)) tulee täyttää ehto:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

missä  $\sigma_{x,Ed}$  on momentista ja aksiaalisesta voimasta aiheutuvan suurimman paikallisen aksiaalisen jännityksen mitoitusarvo ottaen kiinnittimien reiät tarvittaessa huomioon, ks. 6.2.4 ja 6.2.5.

### 5.6.8 Taivutus, leikkaus ja aksiaalinen voima

(1) Leikkausvoiman ja aksiaalisen voiman vaikutus momenttikestävyys otetaan huomioon [1, 6.2.10].

(2) Edellyttäen, että leikkausvoiman mitoitusarvo  $V_{ed}$  ei ylitä 50% plastisuusteorian mukaisesta leikkauskestävyyden  $V_{pl.Rd}$  mitoitusarvosta, ei tarvitse tehdä pienennystä momentin ja aksiaalisen voiman kohdan (6.2.9) mukaisiin kestävyksiin paitsi, jos leikkauslommahdus pienentää kestävyttä, ks. EN 1993-1-5 [1, 6.2.10].

(3) Kun  $V_{ed}$  ylittää 50%  $V_{pl.Rd}$ :stä, poikkileikkauksen kestävyys mitoitusarvo momentin ja normaalivoiman yhdistelmille lasketaan käyttäen pienennettyä myötörajaa

$$(1 - \rho) f_y$$

leikkauspinta-alalle, missä  $\rho = (2V_{ed}/V_{pl.Rd} - 1)^2$  ja  $V_{pl.Rd}$  lasketaan kohdan 6.2.6(2) mukaan [1, 6.2.10].

Jos liitoksessa esiintyy leikkausvoimia, tulee nämä huomioida.

### 5.6.9 Nurjahdus- ja kiepahduskestävyys [1, 6.3]

(1) Puristetut sauvat mitoitetaan siten, että seuraava nurjahdusehto on voimassa [1, 6.3]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b.Rd}} \leq 1$$

missä  $N_{ed}$  on puristusvoiman mitoitusarvo ja  $N_{b.Rd}$  on puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo.

(3) Puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavasta [1, 6.3]:

a) poikkileikkausluokissa 1-3

$$N_{b.Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

b) poikkileikkausluokassa 4

$$N_{b.Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

missä  $\chi$  on kyseeseen tuleva nurjahduskestävyyden pienennystekijä.

(4) Arvoja  $A$  ja  $A_{\text{eff}}$  laskettaessa pilarin päissä olevia kiinnittimen reikiä ei tarvitse ottaa huomioon [1, 6.3].

Kiepahdusta varten tarvitsee laskea Kimmo-teorian mukainen kriittinen momentti  $M_{\text{cr}}$ , joka saadaan kaavasta [8, F1.3(1)]:

$$M_{\sigma} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left[ \left[ \left[ \frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + [C_2 z_t]^2 \right]^{0.5} - C_2 z_t \right]$$

Apusuureet ja taulukkoarvot on esitetty normin ENV1993-1-1 liitteessä F.

Eri nurjahdusmuotoja varten on laskettava muunnettu hoikkuus  $\lambda_i$  kohtien 6.3.1.3 ja 6.3.1.4 mukaisesti.

Kiepahduskestävyyttä laskettaessa kiepahduskäyrien epätarkkuustekijä  $\alpha_{\text{LT}}$ :ksi valitaan taulukosta 6.3 kiepahduskäyrän  $a$  mukaisesti 0.21. [2, 4.5.3(5).]

Hyvä lähde normista puuttuvien poikkileikkaussuureiden määrittämiseksi on ROARK's formulas for stress and strain [7], tästä löytyy laskentakaavat mm. vääntöjäyhyyden  $I_T$  ja käyritysmisjäyhyyden  $I_w$  laskemiseksi umpinaiselle suorakaidepoikkileikkaukselle.

#### 5.6.10 Vakiopoikkileikkauksisten sauvojen taivutus ja aksiaalinen puristus

Yhteisvaikutuskaavat 6.6.1 ja 6.6.2 [1]:

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_y N_{\text{Rk}}} + k_{yy} \frac{M_{y,\text{Ed}} + \Delta M_{y,\text{Ed}}}{\chi_{\text{LT}} \frac{M_{y,\text{Rk}}}{\gamma_{\text{M1}}}} + k_{yz} \frac{M_{z,\text{Ed}} + \Delta M_{z,\text{Ed}}}{\frac{M_{z,\text{Rk}}}{\gamma_{\text{M1}}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_z N_{\text{Rk}}} + k_{zy} \frac{M_{y,\text{Ed}} + \Delta M_{y,\text{Ed}}}{\chi_{\text{LT}} \frac{M_{y,\text{Rk}}}{\gamma_{\text{M1}}}} + k_{zz} \frac{M_{z,\text{Ed}} + \Delta M_{z,\text{Ed}}}{\frac{M_{z,\text{Rk}}}{\gamma_{\text{M1}}}} \leq 1$$



Normissa on esitetty yhteisvaikutustekijöiden  $k_{ij}$  ratkaisemiseksi kaksi menetelmää, liitteen A menetelmä 1 ja liitteen B menetelmä 2. Näistä menetelmä 2 on helpompi ja suositeltava käyttää jos mahdollista. Kuitenkaan taulukossa B.1 ei ole arvoja kuin I-/H- ja suorakaideputkiprofileille, eli on käytettävä menetelmää 1.

Liitteen A menetelmä 1 ei ole aivan yksinkertainen. Kaavoja ja apusuureita on paljon, eikä kaikkia suureita ei ole mainittu normissa (ks. Liite 1).

## 6 LIITOKSEN MITOITUSOHJELMA

Liitoksen mitoitusohjelma tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelman pohjalle. Laskenta on kirjoitettu ohjelman soluihin, jotka on peitetty käyttöliittymäkuvalla. Käyttöliittymäkuvakkeen päälle on Visual Basic -komentoilla toteutettu Excel-soluihin linkitetty täyttöruudut.

Tehtyyn Excel-pohjaiseen liitoksen mitoitusohjelmaan syötetään liitoksen parametrit, jolloin ohjelma laskee liitoksen komponenttien kestävyys ja käytöasteet reaaliaikaisesti.

| LIITOKSEN KESTÄVYYS VEDOLLE:      |                 | 379,4 kN | LIITOKSEN KESTÄVYYS PURISTUKSELLE: |             | 379,4 kN |
|-----------------------------------|-----------------|----------|------------------------------------|-------------|----------|
| LIITOKSEN KÄYTTÖASTE VEDOLLE:     |                 | 0,32     | LIITOKSEN KÄYTTÖASTE:              |             | 0,21     |
| RUUVIEN LEIKKAUSKESTÄVYYS:        | $F_{t,raa}$     | 401,9 kN | RUUVIEN LEIKKAUSKESTÄVYYS:         | $F_{t,raa}$ | 401,9 kN |
| REUNAPURISTUSKESTÄVYYS, EVÄLEVY:  | $F_{l,raa}$     | 602,9 kN | REUNAPURISTUSKESTÄVYYS, EVÄLEVY:   | $F_{l,raa}$ | 820,5 kN |
| REUNAPURISTUSKESTÄVYYS, SIDELEVY: | $F_{l,raa}$     | 602,9 kN | REUNAPURISTUSKESTÄVYYS, SIDELEVY:  | $F_{l,raa}$ | 820,5 kN |
| EVÄLEVYN PALAMURTUMISKESTÄVYYS:   | $Ve_{ff,l,raa}$ | 521,7 kN | EVÄLEVYN NURJAHOUSKESTÄVYYS:       | $N_{l,raa}$ | 605,2 kN |
| SIDELEVYN PALAMURTUMISKESTÄVYYS:  | $Ve_{ff,s,raa}$ | 514,1 kN | SIDELEVYN NURJAHOUSKESTÄVYYS:      | $N_{l,raa}$ | 555,1 kN |
| EVÄLEVYN HITSIN KESTÄVYYS:        | $F_{t,raa}$     | 379,4 kN | EVÄLEVYN HITSIN KESTÄVYYS:         | $F_{t,raa}$ | 379,4 kN |
| SIDELEVYN HITSIN KESTÄVYYS:       | $F_{t,raa}$     | 523,5 kN | LIITOSLEVYN HITSIN KESTÄVYYS:      | $F_{t,raa}$ | 523,5 kN |

**Aksiaalisen voiman ja taivutuksen yhdistetty vaikutus. Huom! nurjahdusta gms. ei ole huomioitu. Huom! Taivutuksen jakautumista jäykkyyksien suhteesta**

|   |     |                          |     |
|---|-----|--------------------------|-----|
| EVÄLEVYN KÄ. VOIMALLE (VETO-TAIVUTUS):  | 0,6 | KÄ. (PURISTUS-TAIVUTUS): | 0,4 |
| SIDELEVYN KÄ. VOIMALLE (VETO-TAIVUTUS): | 0,8 | KÄ. (PURISTUS-TAIVUTUS): | 0,5 |

Kuva 18. Mitoitusohjelman käyttöliittymä

Tehty ohjelma laskee ruuvien leikkauskestävyyden, reunapuristuskestävyyden, palamurtumisen, liitoslevyjen kestävyyden vedolle, puristukselle, taivutukselle, normaalivoiman ja taivutuksen yhteisvaikutukselle sekä taivutusnurjahduksen.

Vääntö- ja taivutusvääntönurjahdusta, kiepahdusta sekä aksiaalisen puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutusta ei ole ohjelmassa huomioitu pitkien kaavojen ja suuren määrän eri taulukoista haettavien apusuureiden vuoksi (ks. *Liite 1*).

## 6.1 Tiedonsiirto Tekla Structures -ohjelmaan

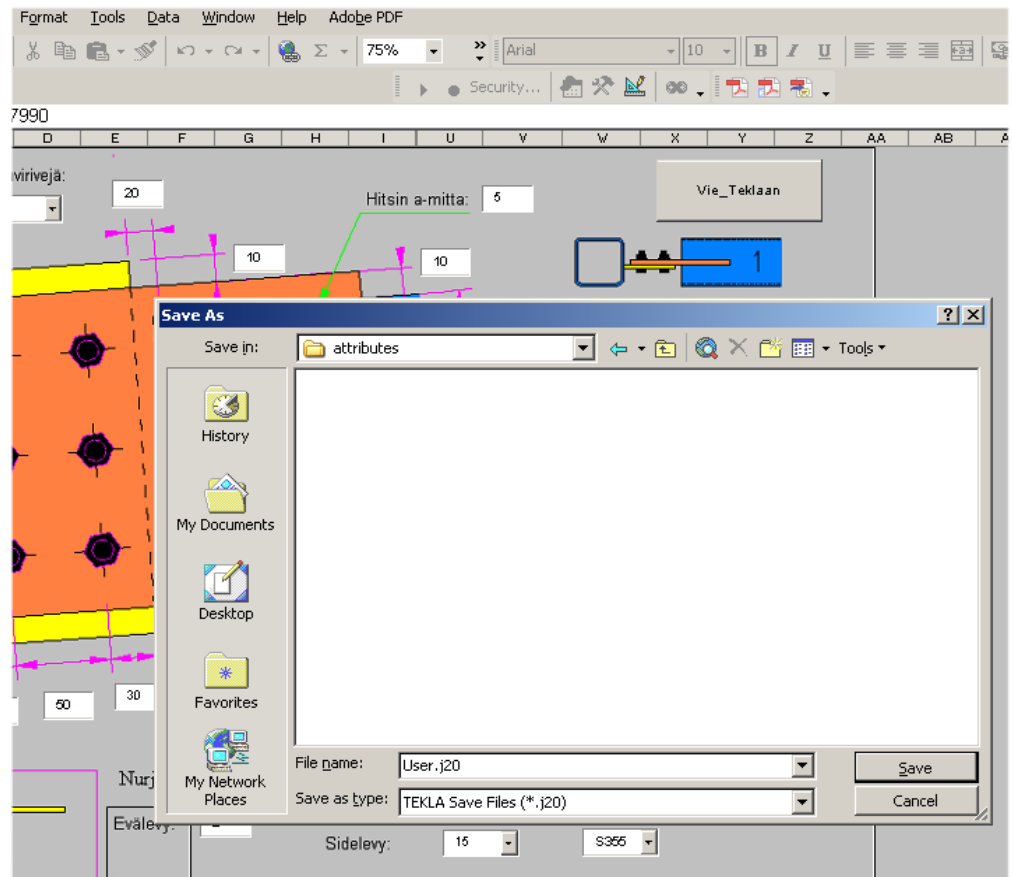
Tekla Structures on tietomallipohjainen mallinnusohjelma, jolla on pitkät juuret teräsrakennesuunnittelussa (XSteel). Nykyisissä versioissa on myös sisäänrakennettu FEM-laskenta, jonka voi suorittaa monilla eri ohjelmilla kuten Staad pro tai Robot millennium. Näissä ei kuitenkaan ole mahdollisuutta liitosten laskentaan.

Yksi työn tavoitteista oli selvittää mahdollisuudet viedä mitoitusohjelmaan jo kertaalleen syötetty geometriatieto TS -mallinnusohjelmaan, ilman että tietoja tarvitsee syöttää uudelleen. TS:n ohjelmakoodi on salattua, eli mahdollisuudet rajoittuivat liitosmakrojen tallennustiedoston luomiseen.

TS sisältää pienohjelmia, makroja liitosten mallintamiseen. Makroissa on mahdollisuus annettujen tietojen tallentamiseen, jolloin ohjelma kirjoittaa yli 300 riviä sisältävän tekstitiedoston liitosmakron numeron päätteellä. Esim. tässä työssä käsitellyn liitoksen tekemiseen käytettävä makro on nimeltään "tube gusset (20)" ja tiedoston päätte on muotoa ".j20".

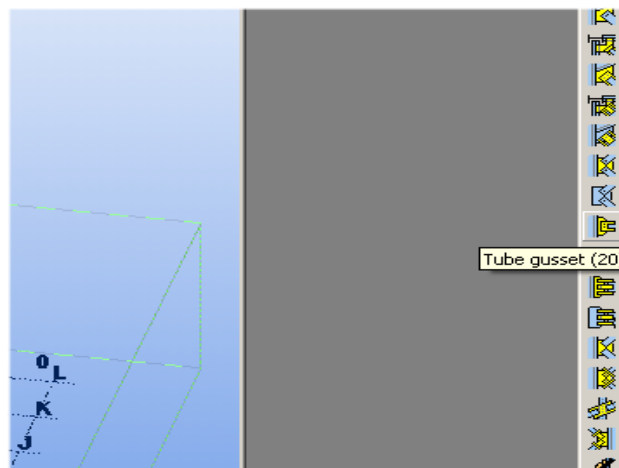
Excelin soluihin kirjoitettiin TS:n tallennustiedoston sisältöä vastaavat tekstirivit, joihin tarvittavat geometriamuuttujat linkitettiin mitoitusohjelman soluihin.

TS:n ymmärtämää tiedoston luontia varten oli myös kirjoitettava Visual Basic -ohjelma, joka hakee tiedot Excelin soluista ja luo tiedoston "User.j20". Tiedoston on oltava kokonaisuudessaan edellä mainitulla nimellä, koska se on kirjoitettu myös tiedoston sisään.



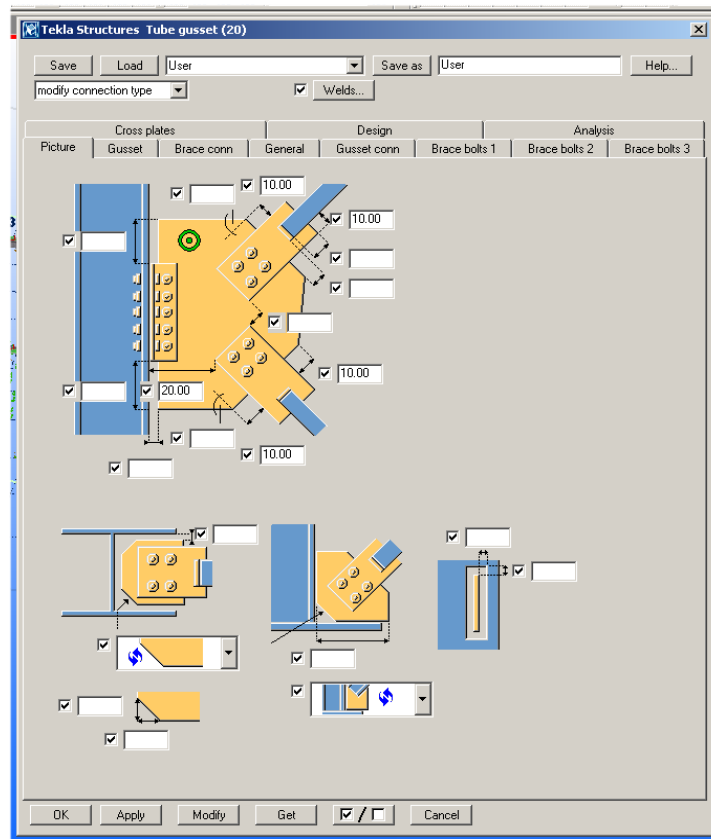
Kuva 19. Tiedoston tallentaminen

Ohjelman luoma tekstitiedosto tallennetaan .j20 päätteellä mallin alle attributes hakemistoon, josta sen voi ladata "tube gusset (20)" liitosmakroon.

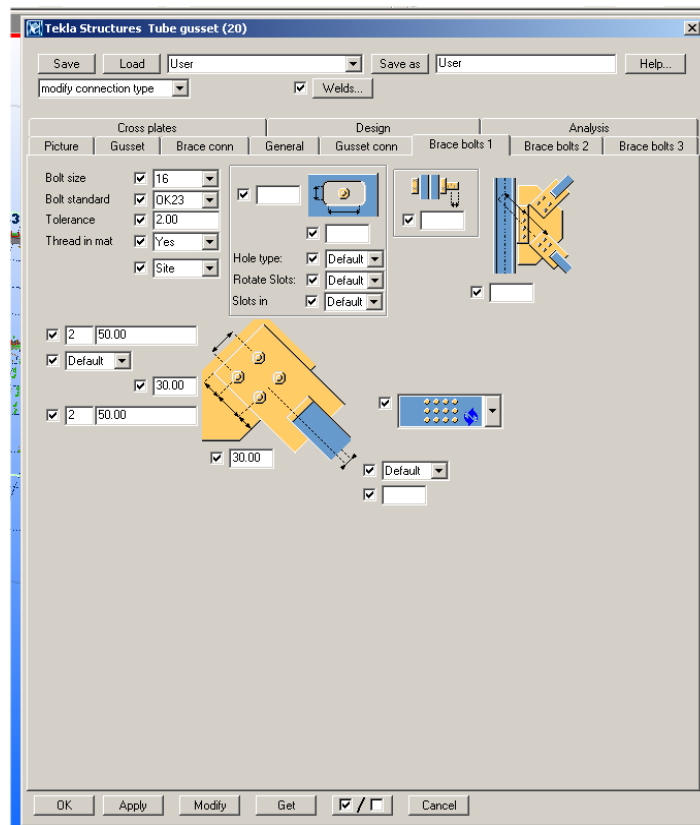


Kuva 20. Liitostyökaluvalikko

Mitoitusohjelmaan syötetty tieto siirtyy liitosmakron parametreiksi.



Kuva 20. Liitosmakron käyttöikkuna sivu 1.



Kuva 21. Liitosmakron käyttöikkuna sivu 2.

## 7 YHTEENVETO

Yksileikkeisen putkisedeliitoksen laskemisessa suunnittelijan tulee arvioida tarkkaan, mitä kannattaa laskea. Kaikkien normin vaatimien tarkasteluiden tekeminen ei ole mielekästä, eikä projekteissa useinkaan ole aikaa tehdä näitä. Normissa on esitetty muunnetulle hoikkuudelle rajat, jolloin nurjahdus- ja kiepahdustarkasteluita ei tarvitse tehdä. Nämä rajat eivät kuitenkaan lähes koskaan täyty ja joko kansalliseen liitteeseen tai mahdollisesti Teräsrakenneyhdistyksen kirjallisuuteen kaivattaisiin ohjeita laskennan helpottamiseksi.

Kyseisestä sideliitoksesta laskentaohjelman tekeminen osoittautui todella vaikeaksi liitoksen monimutkaisuuden ja liitososien suuren määrän vuoksi. Lisäksi oleellisena osana liitokseen kuuluisi pilarin kestävyuden laskenta liitoksen voimille, mikä myös kaatuu liian useaan vaihtoehtoon ollakseen mielekästä tehdä yksiselitteinen ja yksinkertainen mitoitusohjelma. Liitoksen laskennan monimutkaisuuden toteamiseksi tehtiin liitteeksi mallilaskelma. Mallilaskelmaa on jatkettu laskentapohjaksi, jota CEFI:llä voidaan käyttää tarkempaan tarkasteluun (ks. *Liite 1*).

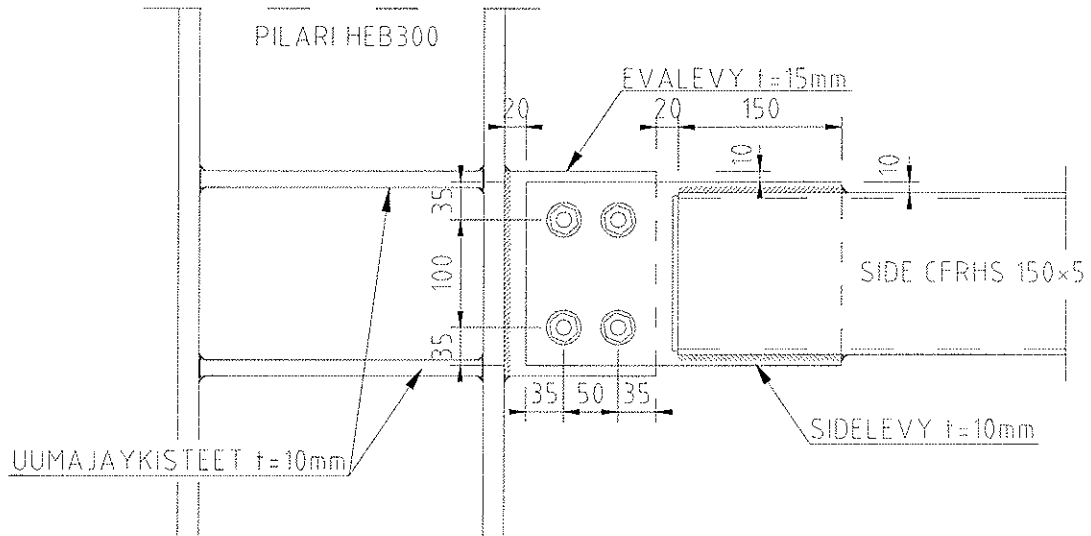
Tiedonsiirto TS -ohjelmaan on toimiva ja talletustiedostojen luonti ja muokkaaminen on kohtuullisen helppoa ja onnistuu ilman suurempia ohjelmointitaitoja. Tätä voisi parhaiten hyödyntää yksinkertaisemmissa liitoksissa, joista mitoitusohjelman tekeminenkin olisi yksinkertaisempaa. Ongelmana ovat tämän työnkin aikana vastaan tulleet ohjelman päivitykset. tämän Excel-pohjan tiedonsiirto on tehty versioon 12 ja jo version 13 talletustiedostoon on tullut yksi rivi lisää, joka riittää sotkemaan liitosmakron toiminnan.

**VIITELUETTELO**

- [1] SFS-EN 1993-1-1 Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-1 yleisen säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
- [2] SFS-EN 1993-1-5 Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-5 Ohutlevyrakenteet
- [3] SFS-EN 1993-1-8 Teräsrakenteiden suunnittelu osa 1-8 liitosten mitoitus
- [4] EN 1090-2 Execution of steel structures
- [5] Visual Basic 2008 programmer´s reference, by Rod Stephens
- [6] Teixeira de Freitas, Sofia, Vries, Peter de, Bijlaard, Frans S.K. Experimental Research on Single Bolt Connections for High Strength Steel S690.
- [7] Young, Warren C. ROARK´S Formulas for Stress & Strain 6<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill Book Company
- [8] ENV 1993-1-1:1992 osa 1-1 yleisen säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

## TERÄSPUTKISIDELIITOKSEN KESTÄVYYS

### ESIMERKKILASKELMA OPINNÄYTETYÖTÄ VARTEN



**Voimasuureet liitokselle** (puristus=alaindeksi p ja veto=alaindeksi v)

$$N_{Ed,p} := 200 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,v} := 260 \text{ kN}$$

**Materiaalit ja vakiot**

Levyjen teräslaatu S355J2G3

Pilarin teräslaatu S355J2G3

Siteen teräslaatu S355J2H

$$\Rightarrow f_y := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_u := 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\nu := 0.3$$

$$\bar{\epsilon}_w := \sqrt{\frac{235 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{f_y}}$$

$$\epsilon = 0.814$$

$$G_w := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$G = 8.077 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

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

| Sisällys   | Sivu |
|--|------|
| 1. Taivutusmomentin jakautuminen liitoksessa             | 3    |
| 2. Evälevyn kestävyys normaalivoimalle ja taivutukselle  | 4    |
| 3. Sidelevyn kestävyys normaalivoimalle ja taivutukselle | 15   |
| 4. Hitsauskiinnitysten kestävyys                         | 26   |
| 5. Ruuvikiinnityksen kestävyys                           | 28   |



## 1. Taivutusmomentin jakautuminen liitoksessa

Kiinnitys kummassakin päässä voidaan katsoa olevan jäykkä, joten epäkeskisyydestä tuleva taivutusmomentti jakautuu jäykkyyksien suhteessa

**Levyjen mitat** (evälevy=alaindeksi 1 ja sidelevy=alaindeksi 2)

$$\text{Evälevy: } h_1 := 190\text{mm} \quad b_1 := 15\text{mm} \quad I_1 := \frac{h_1 \cdot b_1^3}{12} \quad I_1 = 5.344 \times 10^4 \text{mm}^4$$

$$\text{Sidelevy: } h_2 := 170\text{mm} \quad b_2 := 10\text{mm} \quad I_2 := \frac{h_2 \cdot b_2^3}{12} \quad I_2 = 1.417 \times 10^4 \text{mm}^4$$

$$L_1 := 80\text{mm} \quad L_2 := 80\text{mm} \quad \text{Levyjen pituudet ruuviryhmän keskeltä mitattuna}$$

### Levyjen jäykkyydet

$$\text{Evälevy} \quad k_1 := \frac{E \cdot I_1}{L_1^3} \quad k_1 = 2.192 \times 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\text{Sidelevy} \quad k_2 := \frac{E \cdot I_2}{L_2^3} \quad k_2 = 5.811 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

### Taivutusmomentti epäkeskisyydestä

$$\text{Puristus} \quad M_{\text{yd.p}} := N_{\text{Ed.p}} \cdot \frac{b_1 + b_2}{2} \quad M_{\text{yd.p}} = 2.5 \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Veto} \quad M_{\text{yd.v}} := N_{\text{Ed.v}} \cdot \frac{b_1 + b_2}{2} \quad M_{\text{yd.v}} = 3.3 \text{kN}\cdot\text{m}$$

### Momentin jakautuminen levyille

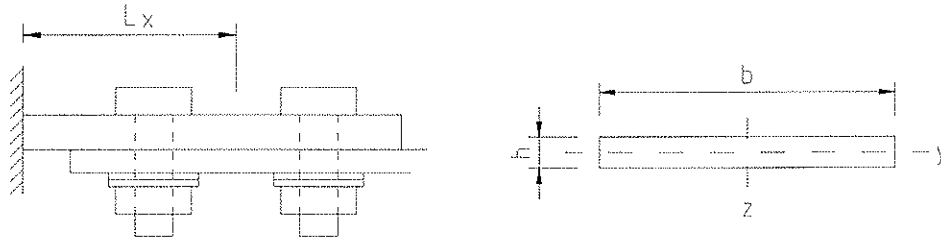
$$\text{Puristus} \quad M_{\text{yd.p1}} := M_{\text{yd.p}} \cdot \frac{k_1}{k_1 + k_2} \quad M_{\text{yd.p1}} = 2 \text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{Evälevy}$$

$$M_{\text{yd.p2}} := M_{\text{yd.p}} \cdot \frac{k_2}{k_1 + k_2} \quad M_{\text{yd.p2}} = 0.5 \text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{Sidelevy}$$

$$\text{Veto} \quad M_{\text{yd.v1}} := M_{\text{yd.v}} \cdot \frac{k_1}{k_1 + k_2} \quad M_{\text{yd.v1}} = 2.6 \text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{Evälevy}$$

$$M_{\text{yd.v2}} := M_{\text{yd.v}} \cdot \frac{k_2}{k_1 + k_2} \quad M_{\text{yd.v2}} = 0.7 \text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{Sidelevy}$$

## 2. Evälevyn kestävyys normaalivoimalle ja taivutukselle



Levyn pituus ruuviryhmän keskeltä mitattuna  $L_x := 80\text{mm}$

Levyn mitat  $h := 15\text{mm}$   $b := 190\text{mm}$

### Nurjahduspituus

| Molemmista päistä niveลอย saava | Toisesta päistä jäykästi kiinnitetty saava | Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty saava | Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty saava Toisen kiinnityskohta sivusiirtävä | Toisesta päistä jäykästi ja toisesta päistä niveलयisesti kiinnitetty saava |
|---------------------------------|--|--|---|--|
|                                 |  |  |   |  |
| $\gamma = 1,0$                  | $\gamma = 2,1$                             | $\gamma = 0,6$                               | $\gamma = 1,2$  | $\gamma = 0,8$   |
| Sauvan pää                      |  | Kiertymä estetty                             |   | Suhtymä estetty  |
| reunuehdot                      |  | Kiertymä vapaa                               |   | Suhtymä estetty  |
|                                 |  | Kiertymä estetty                             |   | Suhtymä vapaa  |
|                                 |  | Kiertymä vapaa                               |   | Suhtymä vapaa  |

Liitos on molemmista päistä jäykästi kiinnitetty, mutta sivusiirtävä, tästä saadaan koko liitoksen nurjahduskertoimeksi 1.2.

Evälevy on sidelevyä jäykempi, joten ruuvi kiinnitys voidaan katsoa olevan evälevylle niveलयellinen ja sidelevylle jäykkä.

Tästä saadaan nurjahduskertoimiksi levyjen kestävyuden laskemista varten:

Evälevylle y-akselin suhteen 2.1 ja z-akselin suhteen 2.1.

Sidelevylle y-akselin suhteen 0.6 ja z-akselin suhteen 2.1.

( $0.6 \times 2.1 \approx 1.2$ )

$$L_{cr,y} := 2.1 \cdot L_x \quad L_{cr,z} := 2.1 \cdot L_x$$

**Poikkileikkausluokka**

Pilarimaisesti käyttäytyvä pituussuunnassa tukematon levyrakenne  
=> kestävyys lasketaan tehollisilla poikkileikkausarvoilla  
(poikkileikkausluokka 4)

EN 1993-1-5 kohta 4.5.4 levyn pilarimainen käyttäytyminen

Levyn kimmoteorian mukaista pilarimaista käyttäytymistä vastaava kriittinen jännitys

$$\sigma_{cr,c} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot h^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^2} \quad \sigma_{cr,c} = 1.183 \times 10^3 \frac{N}{mm^2}$$

Taso-osan muunnettu hoikkuus

$$\lambda_\rho := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}}$$

$$\lambda_\rho = 0.548 < 0,748 \Rightarrow \text{tehollisen pinta-alan pienennyskerroin} = 1$$

$$\Rightarrow e_{Ny} := 0 \quad e_{Nz} := 0$$

**Poikkileikkaus arvot**

$$\underline{A} := b \cdot h \quad A = 2.85 \times 10^3 \text{ mm}^2 \quad A_{eff} := A$$

$$W_{el,y} := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad W_{el,y} = 7.125 \times 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{eff,y} := W_{el,y}$$

$$W_{pl,y} := \frac{b \cdot h^2}{4} \quad W_{pl,y} = 1.069 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{h \cdot b^2}{6} \quad W_{el,z} = 9.025 \times 10^4 \text{ mm}^3 \quad W_{eff,z} := W_{el,z}$$

$$W_{pl,z} := \frac{h \cdot b^2}{4} \quad W_{pl,z} = 1.354 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = 5.344 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad I_{eff,y} := I_y$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} \quad I_z = 8.574 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad I_{eff,z} := I_z$$

$$I_w := \frac{b^3 \cdot h^3}{144} \quad I_w = 1.608 \times 10^8 \text{ mm}^6$$

$$I_t := b \cdot h^3 \left[ \frac{16}{3} - 3.36 \cdot \frac{h}{b} \left( 1 - \frac{h^4}{12 \cdot b^4} \right) \right] \quad I_t = 3.25 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

### Mitoittavat voimasuureet (puristus=alaindeksi p, veto=alaindeksi v)

$$N_{Ed,p} := 200 \text{ kN} \quad N_{Ed,v} := 260 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,p} := 0.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{y,Ed,v} := 0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,p} := 0 \quad M_{z,Ed,v} := 0$$

### Veto (6.2.3)

Brutto poikkileikkaukselle

$$N_{pl,Rd} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl,Rd} = 1.012 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,v}}{N_{pl,Rd}} = 0.257 \quad < 1 \quad \text{OK!}$$

Netto poikkileikkaukselle

$$A_{net} := h \cdot (b - 2 \cdot d_0) \quad A_{net} = 2310 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} := \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad N_{u,Rd} = 848.232 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,v}}{N_{u,Rd}} = 0.307 \quad < 1 \quad \text{OK!}$$

### Puristus (6.2.4)

$$N_{c,Rd} := \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{N_{Ed,p}}{N_{c,Rd}} = 0.198 \quad < 1 \quad \text{OK!}$$

**Taivutuskestävyys (6.2.5)**

$$M_{c,Rd} := \frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{c,Rd} = 2.529 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed,v}}{M_{c,Rd}} = 0.277 < 1 \quad \text{OK!}$$

**Taivutus ja aksiaalinen voima (6.2.9)** (vedolle on suuremmat voimat)

$$\frac{N_{Ed,v}}{A_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,p} + N_{Ed,v} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,p} + N_{Ed,v} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = 0.455 < 1 \quad \text{OK!}$$

**Nurjahduskestävyys (puristukselle)**

Suureita nurjahdus ja kiepahdustarkasteluun

 $\alpha := 0.21$  En 1993-1-5 mukaisesti

$$M_{pl,Rd} := M_{c,Rd} \quad M_{N,y,Rd} := M_{pl,Rd} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed,v}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right]$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \epsilon \quad N_{Rk} := f_y \cdot A$$

$$N_{cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff,y}}{L_{cr,y}^2} \quad N_{cr,y} = 3.924 \times 10^6 \text{ N}$$

$$N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff,z}}{L_{cr,z}^2} \quad N_{cr,z} = 6.296 \times 10^8 \text{ N}$$

(kimmoteorian mukainen vääntönurjahduskuorma)

$$N_{cr,T} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_t}{L_x^2} \quad N_{cr,T} = 1.052 \times 10^9 \text{ N}$$

$$y_0 := 0 \quad z_0 := 0 \quad (\text{painopisteiden etäisyydet leikkauskeskiöstä})$$

$$i_0 := \sqrt{i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2} \quad \beta := 1 - \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2$$

(kimmoteorian mukainen taivutusvääntönurjahduskuorma)

$$N_{cr,TF} := \frac{N_{cr,y}}{2 \cdot \beta} \left[ 1 + \left(\frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right) - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2 \cdot \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}}\right]$$

$$N_{cr,TF} = 3.924 \times 10^6 \text{ N}$$

### Nurjahdus vahvempaan suuntaan (z-z)

Vahvempaan suuntaan ei tarvitse huomioida kuin taivutusnurjahdus

$$\lambda_z := \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\lambda_z = 0.04$$

=> Jos alle 0.2, nurjahdusta ei tarvitse tarkistaa. SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.3.1.2. (4).

$$\Phi_z := 0.5 \left[ 1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right]$$

$$\Phi_z = 0.484$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}}$$

$$\chi_z = 1.035$$

Pienennyskerroin max. 1=>

$$\chi_{zz} := 1$$

$$N_{b,Rd,z} := \frac{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,z} = 1 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,p}}{N_{b,Rd,z}} = 0.198$$

$$< 1 \quad \text{OK!}$$

### Nurjahdus heikompaan suuntaan (y-y)

Muunnettu hoikkuus eri nurjahdusmuodoissa

$$\lambda_{y,1} := \min\left(\frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}}\right) \quad \lambda_{y,1} = 0.508 \quad (\text{Taivutusnurjahdus})$$

$$\lambda_T := \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,T}}} \quad \lambda_T = 0.031 \quad (\text{Vääntönurjahdus})$$

$$\lambda_{TF} := \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,TF}}} \quad \lambda_{TF} = 0.508 \quad (\text{Taivutusvääntönurjahdus})$$

$$\lambda_y := \max(\lambda_{y,1}, \lambda_T, \lambda_{TF}) \quad \lambda_y = 0.508 \quad \Rightarrow \text{Jos alle 0.2, nurjahdusta ei tarvitse tarkistaa. SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.3.1.2. (4).}$$

$$\Phi_y := 0.5 \left[ 1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right] \quad \Phi_y = 0.661$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} \quad \chi_y = 0.922$$

$$N_{b,Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd,y} = 932.677 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,p}}{N_{b,Rd,y}} = 0.214 \quad < 1 \quad \text{OK!}$$

### Kiepahdus tarkastelu

Kimnoteorian mukainen momentti kiepahduksessa (ENV 1993-1-1, liite F)

$$\beta_w := 1.0$$

$$k := 0.7 \quad \text{Kiertymä estetty vain toisessa päässä}$$

$$\psi := 1$$

$$k_w := 0.7 \quad \text{käyristyminen vain toisessa päässä}$$

$$C_1 := 1$$

$$C_2 := 0 \quad \left| \begin{array}{l} \text{Taulukosta F.1.1 1993-1-1, liite F} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right.$$

$$C_3 := 1.113$$

Veto ja puristus jakautuu tasaisesti  $\rightarrow z_g := 0$

Kriittinen momentti kaksoisymmetriselle poikkileikkaukselle

$$M_{cr} := C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L_x)^2} \cdot \left[ \left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L_x)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2 \right]^{0.5} - (C_2 \cdot z_g)$$

$$M_{cr} = 4.571 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\alpha_{LT} := 0.76$$

kiepahduskerroin taulukoista 6.3 ja 6.4

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\beta_w \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\lambda_{LT} = 9.111 \times 10^{-3}$$

=> Jos alle 0.2, kiepahdusta ei tarvitse huomioida.  
SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.3.2.1. (4).

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.428$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = 1.17$$

$$M_{b,Rd} := \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 4.438 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed,p}}{M_{b,Rd}} = 0.113$$

< 1 OK!

**Taivutus ja aksiaalinen puristus** (SFS-EN 1993-1-1, liitteen A mukaisesti)

Apusuureet taulukosta A1

$$\mu_y := \frac{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_y = 0.996$$



$$\mu_z := \frac{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}} \quad \mu_z = 1$$

$$w_y := \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \quad w_y = 1.5 \quad \leq 1.5 \text{ OK!}$$

$$w_z := \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \quad w_z = 1.5 \quad \leq 1.5 \text{ OK!}$$

$$n_{pl} := \frac{\frac{N_{Ed,p}}{N_{Rk}}}{\gamma_{M0}}$$

$$a_{LT} := \max\left(1 - \frac{I_t}{I_y}, 0\right) \quad a_{LT} = 0$$

$$\lambda_{\max} := \max(\lambda_y, \lambda_z) \quad \lambda_{\max} = 0.508$$

Taulukosta A.2

momenttipinnan mukaisesti- $\rightarrow \quad \psi_y := 1 \quad \psi_z := 0$

$$C_{my,0} := 0.79 + 0.21 \cdot \psi_y + 0.36 \cdot (\psi_y - 0.33) \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}} \quad C_{my,0} = 1.012$$

$$C_{mz,0} := 0.79 + 0.21 \cdot \psi_z + 0.36 \cdot (\psi_z - 0.33) \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}} \quad C_{mz,0} = 0.784$$

Momenttipinta on vakio  $\Rightarrow \lambda_0 := \lambda_{LT} \Rightarrow C_{1,LT} := 1$

$$\lambda_0 = 0.009 < 0.2 \cdot \sqrt{C_{1,LT}} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,T}}\right)} = 0.2 \quad \text{Ehto taulukossa A.1}$$

$$\Rightarrow C_{my} := C_{my,0} \quad C_{mz} := C_{mz,0} \quad C_{m,LT} := 1$$

$$M_{pl.z.Rd} := \frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl.z.Rd} = 48.058 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$b_{LT} := 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \lambda_0^2 \cdot \frac{M_{y.Ed.p}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} \cdot \frac{M_{z.Ed.p}}{M_{pl.z.Rd}}$$

$$C_{yy} := 1 + (W_y - 1) \cdot \left[ \left( 2 - \frac{1.6}{W_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \lambda_{max}^2 - \frac{1.6}{W_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \lambda_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right]$$

$$C_{yy} = 1.142 > \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}} = 0.667 \quad \text{ehto täyttyy}$$

$$c_{LT} := 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\lambda_0^2}{5 + \lambda_z^4} \cdot \frac{M_{y.Ed.p}}{C_{my} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}}$$

$$C_{yz} := 1 + (W_z - 1) \cdot \left[ \left( 2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2}{W_z} \cdot \lambda_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right]$$

$$C_{yz} = 1.169 > 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el.z}}{W_{pl.z}} = 0.4 \quad \text{ehto täyttyy}$$

$$d_{LT} := 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\lambda_0^2}{0.1 + \lambda_z^4} \cdot \frac{M_{y.Ed.p}}{C_{my} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}}$$

$$C_{zy} := 1 + (W_y - 1) \cdot \left[ \left( 2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2}{W_y} \cdot \lambda_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right]$$

$$C_{zy} = 1.15 > 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}} = 0.4 \quad \text{ehto täyttyy}$$

$$e_{LT} := 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed,p}}{C_{my} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd}}$$

$$C_{zz} := 1 + (W_z - 1) \cdot \left[ \left( 2 - \frac{1.6}{W_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \lambda_{max}^2 - \frac{1.6}{W_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \lambda_{max}^2 \right) - e_{LT} \right] \cdot n_{pl}$$

$$C_{zz} = 1.164 > \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.667 \quad \text{ehto täyttyy}$$

### Taulukosta A.1

$$k_{yy} := C_{my} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}} \quad k_{yy} = 1.062$$

$$k_{yz} := C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}} \quad k_{yz} = 0.781$$

$$k_{zy} := C_{my} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}} \quad k_{zy} = 1.067$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}} \quad k_{zz} = 0.784$$

### Taulukosta 6.7

$$\Delta M_{y,Ed} := e_{Ny} \cdot N_{Ed,p}$$

$$\Delta M_{z,Ed} := e_{Nz} \cdot N_{Ed,p}$$

$$M_{y,Rk} := f_y \cdot W_{eff,y}$$

$$M_{z,Rk} := f_y \cdot W_{eff,z}$$

### YHTEISVAIKUTUSKAAVAT

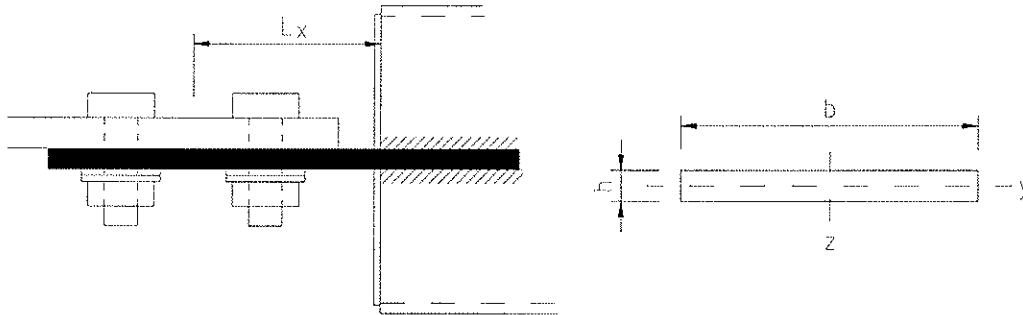
6.21

$$\frac{N_{Ed,p}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed,p} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed,p} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.394 < 1 \text{ OK!}$$

6.22

$$\frac{N_{Ed,p}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed,p} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed,p} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.378 < 1 \text{ OK!}$$

### 3. Sidelevyn kestävyys normaalivoimalle ja taivutukselle



Levyn pituus ruuviryhmän keskeltä mitattuna  $L_x := 80\text{mm}$

Levyn mitat  $h := 10\text{mm}$   $b := 170\text{mm}$

#### Nurjahduspituus

| Molemmista päistä nivelellisy saava | Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty saava | Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty saava | Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty saava Toisen kiinnityskohdan sivusuorittuva | Toisesta päästä jäykästi ja toisesta päästä nivelellisesti kiinnitetty saava |
|-------------------------------------|--|--|--|--|
|                                     |  |  |  |  |
| $\gamma = 1,0$                      | $\gamma = 2,1$                             | $\gamma = 0,6$                               | $\gamma = 1,2$   | $\gamma = 0,8$   |
| Sauvan päätin reunachdot            |  | Kiertymä estetty                             |  | Sirrymä estetty  |
|                                     |  | Kiertymä vapaa                               |  | Sirrymä estetty  |
|                                     |  | Kiertymä estetty                             |  | Sirrymä vapaa  |
|                                     |  | Kiertymä vapaa                               |  | Sirrymä vapaa  |

Liitos on molemmista päistä jäykästi kiinnitetty, mutta sivusuorittuva, tästä saadaan koko liitoksen nurjahduskertoimeksi 1.2.

Evälevy on sidelevyä jäykempi, joten ruuvi kiinnitys voidaan katsoa olevan evälevylle nivelellinen ja sidelevylle jäykkä.

Tästä saadaan nurjahduskertoimiksi levyjen kestävyuden laskemista varten:

Evälevylle y-akselin suhteen 2.1 ja z-akselin suhteen 2.1.

Sidelevylle y-akselin suhteen 0.6 ja z-akselin suhteen 2.1.

( $0.6 \times 2.1 \approx 1.2$ )

$$L_{cr,y} := 0.6 \cdot L_x \quad L_{cr,z} := 2.1 \cdot L_x$$

**Poikkileikkausluokka**

Pilarimaisesti käyttäytyvä pituussuunnassa tukematon levyrakenne  
=> kestävyys lasketaan tehollisilla poikkileikkausarvoilla  
(poikkileikkausluokka 4)

EN 1993-1-5 kohta 4.5.4 levyn pilarimainen käyttäytyminen

Levyn kimmoteorian mukaista pilarimaista käyttäytymistä vastaava kriittinen jännitys

$$\sigma_{cr,c} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot h^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^2} \quad \sigma_{cr,c} = 656.748 \frac{N}{mm^2}$$

Taso-osan muunnettu hoikkuus

$$\lambda_{\rho} := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}}$$

$$\lambda_{\rho} = 0.735 < 0,748 \Rightarrow \text{tehollisen pinta-alan pienennyskerroin} = 1$$

$$\Rightarrow e_{Ny} := 0 \quad e_{Nz} := 0$$

**Poikkileikkaus arvot**

$$A := b \cdot h \quad A = 1.7 \times 10^3 \text{ mm}^2 \quad A_{eff} := A$$

$$W_{el,y} := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad W_{el,y} = 2.833 \times 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{eff,y} := W_{el,y}$$

$$W_{pl,y} := \frac{b \cdot h^2}{4} \quad W_{pl,y} = 4.25 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} := \frac{h \cdot b^2}{6} \quad W_{el,z} = 4.817 \times 10^4 \text{ mm}^3 \quad W_{eff,z} := W_{el,z}$$

$$W_{pl,z} := \frac{h \cdot b^2}{4} \quad W_{pl,z} = 7.225 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = 1.417 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad I_{eff,y} := I_y$$

$$I_z := \frac{h \cdot b^3}{12} \quad I_z = 4.094 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad I_{eff,z} := I_z$$

$$I_w := \frac{b^3 \cdot h^3}{144} \quad I_w = 3.412 \times 10^7 \text{ mm}^6$$

$$I_t := b \cdot h^3 \cdot \left[ \frac{16}{3} - 3.36 \cdot \frac{h}{b} \cdot \left( 1 - \frac{h^4}{12 \cdot b^4} \right) \right] \quad I_t = 8.731 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

### Mitoittavat voimasuureet (puristus=alaindeksi p, veto=alaindeksi v)

$$N_{\text{Ed},p} := 200 \text{ kN} \quad N_{\text{Ed},v} := 260 \text{ kN}$$

$$M_{y,\text{Ed},p} := 0.5 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad M_{y,\text{Ed},v} := 0.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,\text{Ed},p} := 0 \quad M_{z,\text{Ed},v} := 0$$

### Veto (6.2.3)

Brutto poikkileikkaukselle

$$N_{\text{pl},\text{Rd}} := \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{\text{pl},\text{Rd}} = 603.5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{\text{Ed},v}}{N_{\text{pl},\text{Rd}}} = 0.431 < 1 \quad \text{OK!}$$

Nettopoikkileikkaukselle

$$A_{\text{net}} := h \cdot (b - 2 \cdot d_0) \quad A_{\text{net}} = 1340 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,\text{Rd}} := \frac{0.9 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad N_{u,\text{Rd}} = 492.048 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{\text{Ed},v}}{N_{u,\text{Rd}}} = 0.528 < 1 \quad \text{OK!}$$

### Puristus (6.2.4)

$$N_{c,\text{Rd}} := \frac{A_{\text{eff}} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{N_{\text{Ed},p}}{N_{c,\text{Rd}}} = 0.331 < 1 \quad \text{OK!}$$

**Taivutuskestävyys (6.2.5)**

$$M_{c,Rd} := \frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{c,Rd} = 1.006 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed,v}}{M_{c,Rd}} = 0.696 < 1 \quad \text{OK!}$$

**Taivutus ja aksiaalinen voima (6.2.9) (vedolle on suuremmat voimat)**

$$\frac{N_{Ed,v}}{A_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed,p} + N_{Ed,v} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed,p} + N_{Ed,v} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = 0.928 < 1 \quad \text{OK!}$$

**Nurjahduskestävyys (puristukselle)**

Suureita nurjahdus ja kiepahdustarkasteluun

$\alpha := 0.21$  En 1993-1-5 mukaisesti

$$M_{pl,Rd} := M_{c,Rd} \quad M_{N,y,Rd} := M_{pl,Rd} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed,v}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right]$$

$$\lambda_1 := 93.9 \cdot \epsilon \quad N_{Rk} := f_y \cdot A$$

$$N_{cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff,y}}{L_{cr,y}^2} \quad N_{cr,y} = 1.274 \times 10^7 \text{ N}$$

$$N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff,z}}{L_{cr,z}^2} \quad N_{cr,z} = 3.007 \times 10^8 \text{ N}$$

(kimmoteorian mukainen vääntönurjahduskuorma)

$$N_{cr,T} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_t}{L_x^2} \quad N_{cr,T} = 2.827 \times 10^8 \text{ N}$$



$$y_0 := 0 \quad z_0 := 0 \quad (\text{painopisteiden etäisyydet leikkauskeskiöstä})$$

$$i_0 := \sqrt{i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2} \quad \beta := 1 - \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2$$

(kimmoteorian mukainen taivutusvääntönurjahduskuorma)

$$N_{\text{cr.TF}} := \frac{N_{\text{cr.y}}}{2 \cdot \beta} \left[ 1 + \left(\frac{N_{\text{cr.T}}}{N_{\text{cr.y}}}\right) - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{\text{cr.T}}}{N_{\text{cr.y}}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{y_0}{i_0}\right)^2 \cdot \frac{N_{\text{cr.T}}}{N_{\text{cr.y}}}} \right]$$

$$N_{\text{cr.TF}} = 1.274 \times 10^7 \text{ N}$$

### Nurjahdus vahvempaan suuntaan (z-z)

Vahvempaan suuntaan ei tarvitse huomioida kuin taivutusnurjahdus

$$\lambda_z := \frac{L_{\text{cr.z}}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \lambda_z = 0.045 \quad \Rightarrow \text{Jos alle 0.2, nurjahdusta ei tarvitse tarkistaa. SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.3.1.2. (4).}$$

$$\Phi_z := 0.5 \left[ 1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right] \quad \Phi_z = 0.485$$

$$\chi_z := \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} \quad \chi_z = 1.034$$

$$\text{Pienennyskerroin max. 1} \Rightarrow \chi_{\text{max}} := 1$$

$$N_{\text{b.Rd.z}} := \frac{\chi_z \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y}{\gamma_{\text{M1}}} \quad N_{\text{b.Rd.z}} = 603.5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{\text{Ed.p}}}{N_{\text{b.Rd.z}}} = 0.331 \quad < 1 \quad \text{OK!}$$

### Nurjahdus heikompaan suuntaan (y-y)

Muunnettu hoikkuus eri nurjahdusmuodoissa

$$\lambda_{y,1} := \min\left(\frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}, \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}}\right) \quad \lambda_{y,1} = 0.218 \quad (\text{Taivutusnurjahdus})$$

$$\lambda_T := \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,T}}} \quad \lambda_T = 0.046 \quad (\text{Vääntönurjahdus})$$

$$\lambda_{TF} := \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,TF}}} \quad \lambda_{TF} = 0.218 \quad (\text{Taivutusvääntönurjahdus})$$

$$\lambda_y := \max(\lambda_{y,1}, \lambda_T, \lambda_{TF}) \quad \lambda_y = 0.218 \quad \Rightarrow \text{Jos alle 0.2, nurjahdusta ei tarvitse tarkistaa. SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.3.1.2. (4).}$$

$$\Phi_y := 0.5 \left[ 1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right] \quad \Phi_y = 0.526$$

$$\chi_y := \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} \quad \chi_y = 0.996$$

$$N_{b,Rd,y} := \frac{\chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd,y} = 601.166 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed,p}}{N_{b,Rd,y}} = 0.333 \quad < 1 \quad \text{OK!}$$

### Kiepahdus tarkastelu

Kimmoiteorian mukainen momentti kiepahduksessa (ENV 1993-1-1, liite F)

$$\beta_w := 1.0$$

$$k := 0.5 \quad \text{Kiertymä estetty kummassakin päässä}$$

$$\psi := 1$$

$$k_w := 0.5 \quad \text{käyrityminen estetty kummassakin päässä}$$

$$\begin{array}{l} C_1 := 1 \\ C_2 := 0 \\ C_3 := 1.144 \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} | \\ | \text{ Taulukosta F.1.1 1993-1-1, liite F} \\ | \end{array} \right.$$

Veto ja puristus jakautuu tasaisesti  $\rightarrow z_g := 0$

Kriittinen momentti kaksoisymmetriselle poikkileikkaukselle

$$M_{cr} := C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L_x)^2} \cdot \left[ \left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L_x)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2 \right]^{0.5} - (C_2 \cdot z_g)$$

$$M_{cr} = 2.467 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\alpha_{LT} := 0.76$$

kiepahduskerroin taulukoista 6.3 ja 6.4

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\beta_w \cdot M_{cr}}}$$

$$\lambda_{LT} = 7.821 \times 10^{-3}$$

=> Jos alle 0.2, kiepahdusta ei tarvitse huomioida.  
SFS-EN 1993-1-1, kohta 6.3.2.1. (4).

$$\phi_{LT} := 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2 \right] \quad \phi_{LT} = 0.427$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = 1.171$$

$$M_{b,Rd} := \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{MI}}$$

$$M_{b,Rd} = 1.767 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed,p}}{M_{b,Rd}} = 0.283$$

< 1 OK!

**Taivutus ja aksiaalinen puristus** (SFS-EN 1993-1-1, liitteen A mukaisesti)

Apusuureet taulukosta A1

$$\mu_y := \frac{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_y = 1$$

$$\mu_z := \frac{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}} \quad \mu_z = 1$$

$$w_y := \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \quad w_y = 1.5 \quad \leq 1.5 \text{ OK!}$$

$$w_z := \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \quad w_z = 1.5 \quad \leq 1.5 \text{ OK!}$$

$$n_{pl} := \frac{\frac{N_{Ed,p}}{N_{Rk}}}{\gamma_{M0}}$$

$$a_{LT} := \max\left(1 - \frac{I_t}{I_y}, 0\right) \quad a_{LT} = 0$$

$$\lambda_{\max} := \max(\lambda_y, \lambda_z) \quad \lambda_{\max} = 0.218$$

Taulukosta A.2

momenttipinnan mukaisesti  $\rightarrow \quad \psi_y := 1 \quad \psi_z := 0$

$$C_{my,0} := 0.79 + 0.21 \cdot \psi_y + 0.36 \cdot (\psi_y - 0.33) \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}} \quad C_{my,0} = 1.004$$

$$C_{mz,0} := 0.79 + 0.21 \cdot \psi_z + 0.36 \cdot (\psi_z - 0.33) \cdot \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}} \quad C_{mz,0} = 0.788$$

Momenttipinta on vakio  $\Rightarrow \lambda_0 := \lambda_{LT} \Rightarrow C_{1,LT} := 1$

$$\lambda_0 = 0.008 < 0.2 \cdot \sqrt{C_{1,LT}} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,T}}\right)} = 0.2 \quad \text{Ehto taulukossa A.1}$$

$$\Rightarrow C_{my} := C_{my,0} \quad C_{mz} := C_{mz,0} \quad C_{m,LT} := 1$$

$$M_{pl.z.Rd} := \frac{W_{pl.z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{pl.z.Rd} = 25.649 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$b_{LT} := 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \lambda_0^2 \cdot \frac{M_{y.Ed.p}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}} \cdot \frac{M_{z.Ed.p}}{M_{pl.z.Rd}}$$

$$C_{yy} := 1 + (W_y - 1) \cdot \left[ \left( 2 - \frac{1.6}{W_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \lambda_{max}^2 - \frac{1.6}{W_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \lambda_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right]$$

$$C_{yy} = 1.315 > \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}} = 0.667 \quad \text{ehto täyttyy}$$

$$c_{LT} := 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\lambda_0^2}{5 + \lambda_z^4} \cdot \frac{M_{y.Ed.p}}{C_{my} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}}$$

$$C_{yz} := 1 + (W_z - 1) \cdot \left[ \left( 2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2}{W_z^5} \cdot \lambda_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right]$$

$$C_{yz} = 1.322 > 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el.z}}{W_{pl.z}} = 0.4 \quad \text{ehto täyttyy}$$

$$d_{LT} := 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\lambda_0^2}{0.1 + \lambda_z^4} \cdot \frac{M_{y.Ed.p}}{C_{my} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}}$$

$$C_{zy} := 1 + (W_y - 1) \cdot \left[ \left( 2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2}{W_y^5} \cdot \lambda_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right]$$

$$C_{zy} = 1.317 > 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el.y}}{W_{pl.y}} = 0.4 \quad \text{ehto täyttyy}$$

$$e_{LT} := 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\lambda_0}{0.1 + \lambda_z} \cdot \frac{M_{y.Ed,p}}{C_{my} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl.Rd}}$$

$$C_{zz} := 1 + (W_z - 1) \cdot \left[ \left( 2 - \frac{1.6}{W_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \lambda_{max}^2 - \frac{1.6}{W_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \lambda_{max}^2 \right) - e_{LT} \right] \cdot n_{pl}$$

$$C_{zz} = 1.321 > \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} = 0.667 \quad \text{ehto täyttyy}$$

### Taulukosta A.1

$$k_{yy} := C_{my} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}} \quad k_{yy} = 1.02$$

$$k_{yz} := C_{mz} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}} \quad k_{yz} = 0.789$$

$$k_{zy} := C_{my} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,y}}} \quad k_{zy} = 1.02$$

$$k_{zz} := C_{mz} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed,p}}{N_{cr,z}}} \quad k_{zz} = 0.789$$

### Taulukosta 6.7

$$\Delta M_{y.Ed} := e_{Ny} \cdot N_{Ed,p}$$

$$\Delta M_{z.Ed} := e_{Nz} \cdot N_{Ed,p}$$

$$M_{y.Rk} := f_y \cdot W_{eff,y}$$

$$M_{z.Rk} := f_y \cdot W_{eff,z}$$

### YHTEISVAIKUTUSKAAVAT

6.21

$$\frac{N_{Ed,p}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed,p} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed,p} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.766 < 1 \text{ OK!}$$

6.22

$$\frac{N_{Ed,p}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed,p} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed,p} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.764 < 1 \text{ OK!}$$

#### 4. Hitsauskiinnitysten ketävyys

Evälevyn hitsauskiinnityksen kestävyys

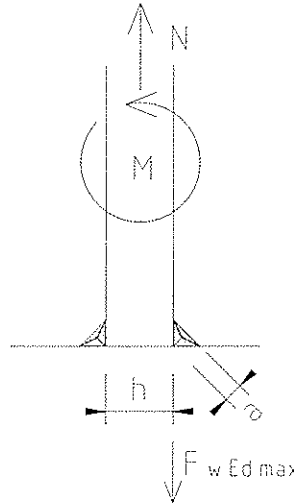
Hitsisauman mitoittava voima

$$F_{w.Ed.max} := \frac{N_{Ed.v}}{2} + \frac{M_{y.Ed.v}}{h}$$

$$F_{w.Ed.max} = 303.333 \cdot \text{kN}$$

Hitsisauman kestävyys

Hitsin a-mitta  $a := 7 \text{ mm}$



Laskennassa huomioidaan ainoastaan levyn pitkien sivujen hitsit

$\beta_{ww} := 0.9$  Pienahitsin korrelaatiokerroin taulukosta 4.1

Voiman suunta 45ast. hitsin nimellimitan suuntaan hitsin lujuus komponentteihin jaettuna:

$$F_{w.Rd} := \frac{f_u}{\sqrt{2} \cdot \beta_{ww} \cdot \gamma_{M2}} \cdot a \cdot b \quad F_{w.Rd} = 426.338 \cdot \text{kN}$$

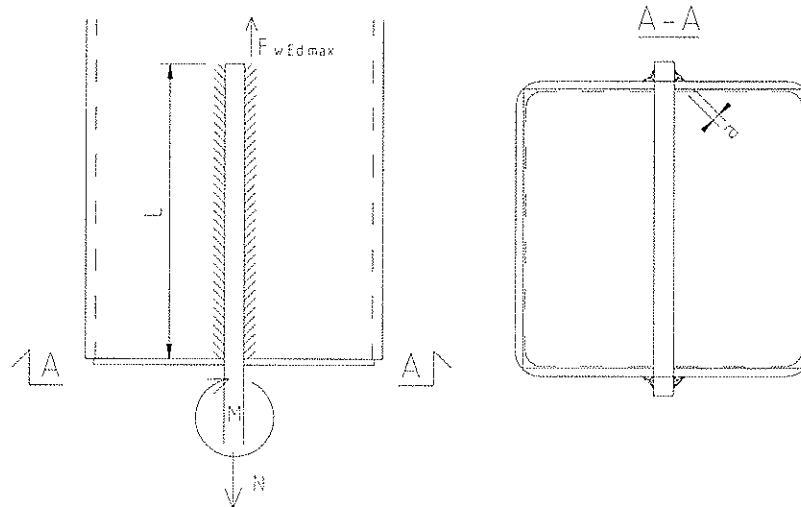
$$\frac{F_{w.Ed.max}}{F_{w.Rd}} = 0.711 < 1 \text{ OK!}$$

(käyttöaste korkea, vaikuttaa tarkastus toimenpiteisiin)



## Sidelevyn hitsauskiinnityksen kestävyys

### Hitsisauman mitoittava voima



$$F_{w.Ed,max} := \frac{N_{Ed,v}}{4} + \frac{M_{y,Ed,v}}{2 \cdot h} \quad F_{w.Ed,max} = 100 \text{ kN}$$

### Hitsisauman kestävyys

Hitsin a-mitta  $a := 5 \text{ mm}$       Hitsien pituus  $L_w := 150 \text{ mm}$

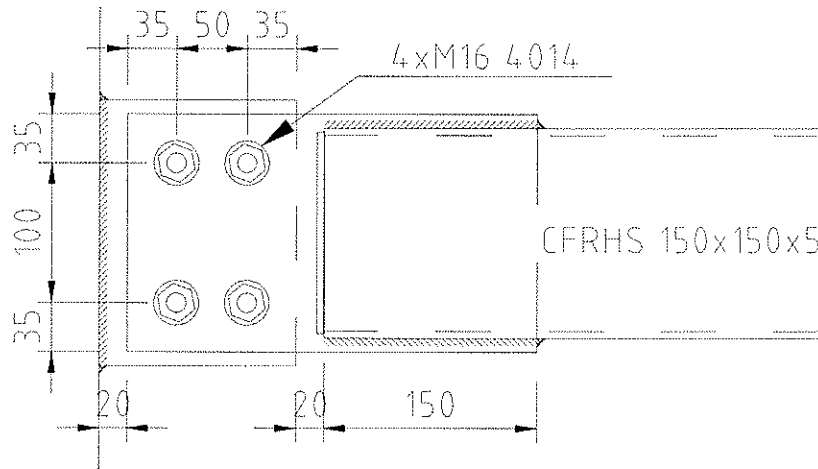
Laskennassa huomioidaan ainoastaan levyn pitkien sivujen hitsit  
Hitsaus saumalle ainoastaan leikkausjännityksiä

$\beta_{ww} := 0.9$       Pienahitsin korrelaatiokerroin taulukosta 4.1

$$F_{w,Rd} := \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} \cdot a \cdot L \quad F_{w,Rd} = 196.299 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{w.Ed,max}}{F_{w,Rd}} = 0.509 < 1 \text{ OK!}$$

## 5. Ruuvikiinnityksen kestävyys



### Ruuvien leikkauskestävyys

Ruuvit: M16 8.8 SFS-EN ISO 4014

(Osakierteinen, kierteet eivät sijaitse leikkaustasossa)

$$f_{ub} := 800 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{murtolujuus})$$

$$f_{yb} := f_{ub} \cdot 0.8 \quad f_{yb} = 640 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{myötölujuus})$$

$$A_b := 201 mm^2 \quad (\text{ruuvien leikkausala})$$

$$n_b := 4 \quad (\text{ruuvien lukumäärä})$$

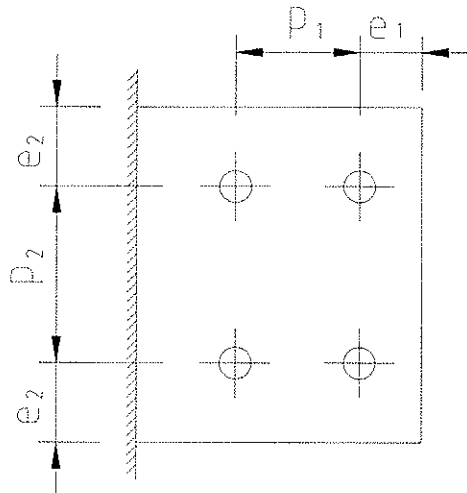
$$\alpha_v := 0.6 \quad (\text{kerroin lujuudelle 8.8})$$

$$F_{v,Rd} := n_b \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} \quad (\text{ruuvien leikkauskestävyys})$$

$$F_{v,Rd} = 308.736 \text{ kN} > \begin{matrix} N_{Ed,p} = 200 \text{ kN} \\ N_{Ed,v} = 260 \text{ kN} \end{matrix}$$

## Reunapuristuskestävyys

### Evälevyn reunapuristuskestävyys



$t := 15\text{mm}$  (levyn paksuus)

$d := 16\text{mm}$  (ruuvien halkaisija)

$d_0 := 18\text{mm}$  (ruuvireiän halkaisija)

$f_u := 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$        $f_y := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$       (liitoslevyjen murto- ja myötölujuus)

$p_1 := 50\text{mm}$        $p_2 := 100\text{mm}$        $e_1 := 35\text{mm}$        $e_2 := 35\text{mm}$

$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$        $k_1 = 2.5$       (kerroin  $k_1$  reunarivin ruuveille)

Ruuvit ovat kahdessa rivissä=>kaikki ovat reunarivin ruujeja

Kertoimet vedetylle liitokselle

$$\alpha_{d,v} := \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$$

$$\alpha_{b,1,v} := \min\left(\frac{f_{ub}}{f_u}, 1, \alpha_{d,v}\right) \quad \alpha_{b,1,v} = 0.648 \quad (\text{kerroin } \alpha_b \text{ levyn pään ruuveille})$$

$$\alpha_{b,2,v} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \quad \alpha_{b,2,v} = 0.676 \quad (\text{kerroin } \alpha_b \text{ muille kuin levyn pään ruuveille})$$

Kertoimet puristetulle liitokselle

Puristettuna ei ole pään ruuveja=>

$$\alpha_{b,p} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \quad \alpha_{b,p} = 0.676 \quad (\text{kerroin } \alpha_b \text{ muille kuin levyn pään ruuveille})$$

**Reunapuristuskestävyys vedetylle liitokselle**

$$F_{b,Rd,v} := 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_{b,1,v} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} + 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_{b,2,v} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

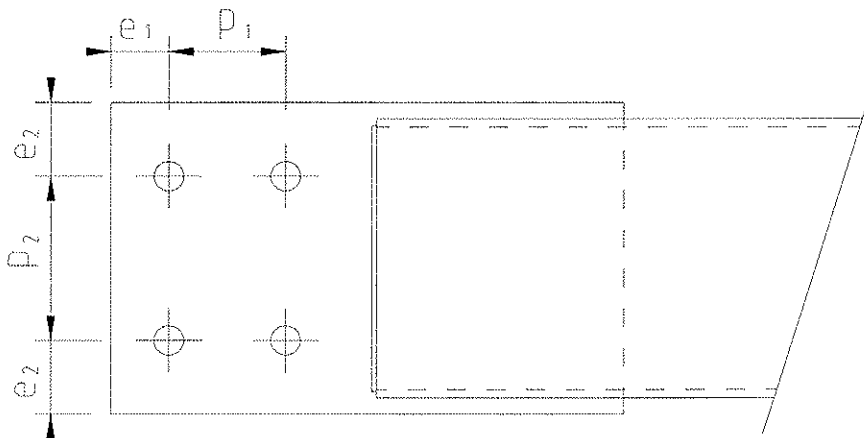
$$F_{b,Rd,v} = 648.267 \text{ kN} \quad > \quad N_{Ed,v} = 260 \text{ kN}$$

**Reunapuristuskestävyys puristetulle liitokselle**

$$F_{b,Rd,p} := 4 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_{b,p} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,p} = 661.867 \text{ kN} \quad > \quad N_{Ed,p} = 200 \text{ kN}$$

## Sidelevyn reunapuristuskestävyys



$t := 10\text{mm}$  (levyn paksuus)

$d := 16\text{mm}$  (ruuvien halkaisija)

$d_0 := 18\text{mm}$  (ruuvireiän halkaisija)

$f_u := 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$        $f_y := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$       (levyn murto- ja myötölujuus)

$p_1 := 50\text{mm}$        $p_2 := 100\text{mm}$        $e_1 := 35\text{mm}$        $e_2 := 35\text{mm}$

$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$        $k_1 = 2.5$       (kerroin  $k_1$  reunarivin ruuveille)

Ruuvit ovat kahdessa rivissä=>kaikki ovat reunarivin ruuveja

Kertoimet vedetylle liitokselle

$$\alpha_{d.v} := \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$$

$$\alpha_{b.1.v} := \min\left(\frac{f_{ub}}{f_u}, 1, \alpha_{d.v}\right) \quad \alpha_{b.1.v} = 0.648 \quad (\text{kerroin } \alpha_b \text{ levyn pään ruuveille})$$

$$\alpha_{b.2.v} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \quad \alpha_{b.2.v} = 0.676 \quad (\text{kerroin } \alpha_b \text{ muille kuin levyn pään ruuveille})$$

Kertoimet puristetulle liitokselle

Puristettuna ei ole pään ruuveja=>

$$\alpha_{b,p} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \quad \alpha_{b,p} = 0.676 \quad (\text{kerroin } \alpha_b \text{ muille kuin levyn pään ruuveille})$$

**Reunapuristuskestävyys vedetylle liitokselle**

$$F_{b,Rd,v} := 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_{b,1,v} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} + 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_{b,2,v} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,v} = 432.178 \text{ kN} \quad > \quad N_{Ed,v} = 260 \text{ kN}$$

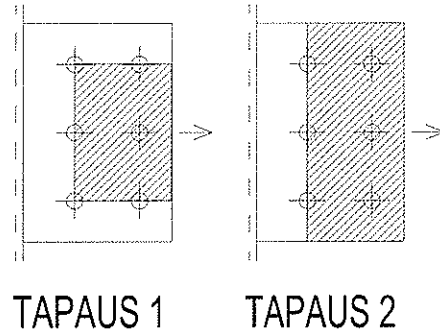
**Reunapuristuskestävyys puristetulle liitokselle**

$$F_{b,Rd,p} := 4 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_{b,p} \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,p} = 441.244 \text{ kN} \quad > \quad N_{Ed,p} = 200 \text{ kN}$$

## Palamurtumiskestävyys /Nettopoikkileikkauksen kestävyys

### Evälevyn palamurtumiskestävyys



Vetojännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 1

$$A_{nt.1} := (p_2 - d_0) \cdot t \quad A_{nt.1} = 1.23 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Leikkausjännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 1

$$A_{nv.1} := (p_1 + e_1 - 1.5 \cdot d_0) \cdot t \quad A_{nv.1} = 870 \text{ mm}^2$$

Vetojännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 2

$$A_{nt.2} := (p_2 + 2 \cdot e_2 - 2 \cdot d_0) \cdot t \quad A_{nt.2} = 2.01 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Leikkausjännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 2

$$A_{nv.2} := 0 \text{ mm}^2$$

Levyn palamurtumiskestävyys tapauksessa 1

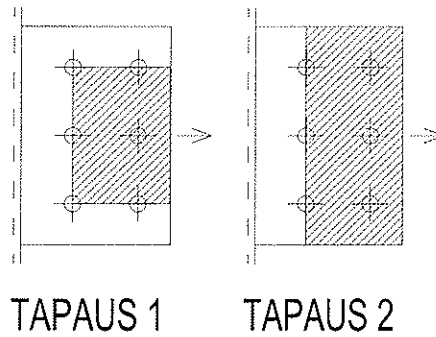
$$V_{\text{eff.1.Rd}} := f_u \cdot \frac{A_{nt.1}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_{nv.1}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = 680.155 \text{ kN} \quad > \quad N_{\text{Ed.v}} = 260 \text{ kN}$$

Levyn palamurtumiskestävyys tapauksessa 2

$$V_{\text{eff.2.Rd}} := f_u \cdot \frac{A_{nt.2}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_{nv.2}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{\text{eff.2.Rd}} = 820.08 \text{ kN} \quad > \quad N_{\text{Ed.v}} = 260 \text{ kN}$$

**Sidelevyn palamurtumiskestävyys**

TAPAUS 1

TAPAUS 2

Vetojännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 1

$$A_{nt.1} := (p_2 - d_0) \cdot t \quad A_{nt.1} = 820 \text{ mm}^2$$

Leikkausjännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 1

$$A_{nv.1} := (p_1 + e_1 - 1.5 \cdot d_0) \cdot t \quad A_{nv.1} = 580 \text{ mm}^2$$

Vetojännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 2

$$A_{nt.2} := (p_2 + 2 \cdot e_2 - 2 \cdot d_0) \cdot t \quad A_{nt.2} = 1.34 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Leikkausjännitysten rasittama poikkileikkausala tapauksessa 2

$$A_{nv.2} := 0 \text{ mm}^2$$

Levyn palamurtumiskestävyys tapauksessa 1

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

$$V_{\text{eff.1.Rd}} = 453.436 \text{ kN} \quad > \quad N_{\text{Ed.v}} = 260 \text{ kN}$$

Levyn palamurtumiskestävyys tapauksessa 2

$$V_{\text{eff.2.Rd}} := f_u \cdot \frac{A_{nt.2}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_{nv.2}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{\text{eff.2.Rd}} = 546.72 \text{ kN} \quad > \quad N_{\text{Ed.v}} = 260 \text{ kN}$$