

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Tutkintotyö

Mikael Mäkitalo

## **TERÄSRAKENTEIDEN LIITOKSET**

Työn ohjaaja

DI Risto Lilja

Työn teettäjä

SS-Teracon Oy, valvojana DI Tarmo Viljamaa

Tampere 2005

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

Mäkitalo, Mikael

Teräsrakenteiden liitokset

Tutkintotyö

72 sivua

Työn ohjaaja

DI Risto Lilja

Työn teettäjä

SS-Teracon Oy, valvojana DI Tarmo Viljamaa

Toukokuu 2005

## TIIVISTELMÄ

Tämän insinööri­työn aiheena on teräsrakenteisten liitosten mitoitus Eurocode 3:n mukaisesti. Työ on laadittu SS-Teracon Oy:n toimeksiannosta ja tehty SS-Teracon Oy:n Tampereen suunnitteluyksikössä.

Laskentaohjeet ja mitoituskaavat koskevat yrityksen tyyppiliitoksia, jotka on rajoitettu yrityksen käytössä olevien mitoitusohjelmien ulkopuolelle. Työssä on annettu ohjeet ja mitoitusperiaatteet seuraaville liitoksille: peruspulttiliitos, ristikon liittyminen putkipilariin, jatkuvan ristikon liittyminen keskeiseen I- ja putkipilariin sekä jatkuvan sekundääri­ristikon liittyminen primääriristikoon.

Annettujen ohjeiden on tarkoitus toimia mahdollisen käsinlaskennan tukena. Ohjeiden perusteella on laadittu liitosmitoitusohjelmat yritykselle. Ohjelmien tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa yrityksen eri projektien laskentaprosesseja sekä siirtää laskentatyötä laskijoilta detaljisuunnittelijoille. Ohjelmat on laadittu yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä sitä näin ollen ole tutkintotyön liitteenä.

TAMPERE POLYTECHNIC

Department of Construction Technology

Building construction

Mäkitalo, Mikael                      Joints of steel structures

Engineering Thesis                      72 pages

Thesis Supervisor                      Risto Lilja M.Sc.

Commissioning Company      SS-Teracon Oy. Supervisor Tarmo Viljamaa M.Sc.

May 2005

## **ABSTRACT**

The subject of this engineering thesis is the joints of steel structures. The design of joints is based on the European prestandard of steel structures, Eurocode 3. This work has been done as an assignment of SS-Teracon Oy.

The calculation rules and design formats are given to the base plate detail, the connections between secondary trusses and columns and between secondary trusses and a primary truss. The chosen joints complete the joints of existing connection programs of the company.

The given calculation rules are purposed to support the manual calculation. Based on these rules the calculation worksheets have been done for the company. The purpose of these worksheets is to ease and to make faster the calculation processes of the projects. These worksheets have been done for the company's use only and therefore they are not included in this thesis.

## **ALKUSANAT**

Tämä insinöörityö on laadittu SS-Teracon Oy:n rahoittamana. Työ valmistui toukokuussa 2005.

Valvojana työssä on toiminut SS-Teracon Oy:n puolesta DI Tarmo Viljamaa ja Tampereen ammattikorkeakoulun puolesta DI Risto Lilja, joille haluan esittää kiitokset.

Kiitokset kuuluvat myös Pasi Koivistolle (SS-Teracon Oy), joka mahdollisti monipuolisen ja haastavan päättötyön tekemisen.

Tampereella 6.5.2005

Mikael Mäkitalo

## SISÄLLYSLUETTELO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SISÄLLYSLUETTELO .....</b>                                | <b>5</b>  |
| <b>MERKINNÄT .....</b>                                       | <b>7</b>  |
| <b>1 JOHDANTO .....</b>                                      | <b>9</b>  |
| <b>2 PERUSPULTTILIITOS .....</b>                             | <b>10</b> |
| 2.1 YLEISTÄ .....  | 10        |
| 2.2 PÄTEVYYSALUE .....                                       | 11        |
| 2.3 POHJALEVYN TEHOLLINEN LEVEYS .....                       | 12        |
| 2.4 BETONIN PURISTUSPINNAN KORKEUS .....                     | 13        |
| 2.5 POHJALEVYN MITOITUS .....                                | 14        |
| 2.6 PERUSPULTTIEN MITOITUS .....                             | 16        |
| 2.6.1 <i>Peruspulttien kestävyys lopputilanteessa</i> .....  | 16        |
| 2.6.2 <i>Peruspulttien kestävyys asennusaikana</i> .....     | 17        |
| 2.7 POHJALEVYN HITSIEN MITOITUS .....                        | 22        |
| <b>3 RISTIKON LIITOS KONSOLILLISEEN PUTKIPIILARIIN .....</b> | <b>25</b> |
| 3.1 PÄTEVYYSALUE .....                                       | 26        |
| 3.2 YLÄPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                        | 28        |
| 3.2.1 <i>Pulttien mitoittaminen</i> .....                    | 28        |
| 3.2.2 <i>Pilarin kestävyys</i> .....                         | 28        |
| 3.2.3 <i>Yläpaarten kestävyys</i> .....                      | 29        |
| 3.2.4 <i>Liitoksen laippojen kestävyys</i> .....             | 30        |
| 3.3 ALAPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                        | 32        |
| 3.3.1 <i>Pilarin ja alapaarten kestävyys</i> .....           | 32        |
| 3.3.2 <i>Uumasauvan kestävyys</i> .....                      | 34        |
| 3.4 HITSIT .....   | 35        |
| <b>4 RISTIKON LIITOS KONSOLITTOMAAN PUTKIPIILARIIN .....</b> | <b>37</b> |
| 4.1 PÄTEVYYSALUE .....                                       | 38        |
| 4.2 YLÄPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                        | 38        |
| 4.3 ALAPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                        | 38        |
| 4.4 HITSIT .....   | 40        |
| <b>5 RISTIKON LIITOS KESKEISEEN PUTKIPIILARIIN .....</b>     | <b>41</b> |
| 5.1 PÄTEVYYSALUE .....                                       | 42        |
| 5.2 YLÄPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                        | 42        |
| 5.2.1 <i>Pulttien mitoittaminen</i> .....                    | 42        |
| 5.2.2 <i>Yläpaarten kestävyys</i> .....                      | 43        |
| 5.2.3 <i>Pilarin kestävyys</i> .....                         | 47        |
| 5.2.4 <i>Liitoksen laippojen vetokestävyys</i> .....         | 50        |
| 5.2.5 <i>Yläpaarten päätylevyn kestävyys</i> .....           | 50        |
| 5.2.6 <i>Rivan kestävyys</i> .....                           | 52        |
| 5.3 ALAPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                        | 55        |
| 5.4 HITSIT .....   | 55        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>6</b> | <b>RISTIKON LIITOS KESKEISEEN I – PILARIIN.....</b>               | <b>57</b> |
| 6.1      | PÄTEVYYSALUE.....   | 58        |
| 6.2      | YLÄPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                                 | 58        |
| 6.3      | ALAPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                                 | 59        |
| 6.4      | HITSIT.....   | 62        |
| <b>7</b> | <b>SEKUNDÄÄRIRISTIKON LIITOS PRIMÄÄRIRISTIKKON, TYYPPI A.....</b> | <b>63</b> |
| 7.1      | PÄTEVYYSALUE.....   | 64        |
| 7.2      | YLÄPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                                 | 64        |
| 7.2.1    | <i>Sekundääriristikon päätylevyn kestävyys .....</i>              | <i>64</i> |
| 7.2.2    | <i>Rivan kestävyys.....</i>                                       | <i>65</i> |
| 7.2.3    | <i>Primääriristikon yläpaarten kestävyys .....</i>                | <i>65</i> |
| 7.3      | ALAPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                                 | 66        |
| <b>8</b> | <b>SEKUNDÄÄRIRISTIKON LIITOS PRIMÄÄRIRISTIKKON, TYYPPI B.....</b> | <b>67</b> |
| 8.1      | PÄTEVYYSALUE.....   | 68        |
| 8.2      | YLÄPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                                 | 68        |
| 8.2.1    | <i>Sekundääriristikon päätylevyn kestävyys .....</i>              | <i>68</i> |
| 8.2.2    | <i>Rivan kestävyys.....</i>                                       | <i>69</i> |
| 8.2.3    | <i>Primääriristikon yläpaarten kestävyys .....</i>                | <i>69</i> |
| 8.3      | ALAPÄÄN LIITOKSEN KESTÄVYYS .....                                 | 70        |
| 8.4      | HITSIT.....   | 70        |
| <b>9</b> | <b>YHTEENVETO.....</b>  | <b>71</b> |
|          | <b>LÄHTEET.....</b>   | <b>72</b> |

## MERKINNÄT

Ei sisällä kaikkia merkintöjä, osa merkinnöistä on mainittu tekstin yhteydessä.

|             |   |
|-------------|---|
| A           | poikkileikkauksen pinta-ala                                 |
| a           | hitsin a-mitta  |
| $A_s$       | jännityspoikkileikkausala                                   |
| $A_v$       | leikkauspinta-ala   |
| $A_{v,eff}$ | tehollinen leikkautumispinta-ala                            |
| b           | leveys  |
| $b_{ec}$    | paarteen tehollinen leveys leikkauskestävyyttä laskettaessa |
| $b_{eff}$   | tehollinen leveys   |
| c           | kantavan pinnan leveys                                      |
| $d_i$       | reiän halkaisija  |
| E           | teräksen kimmokerroin, $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$         |
| e           | epäkeskisyys, reunaetäisyys                                 |
| $F_{cr}$    | kriittinen voima  |
| $f_b$       | pilarin uuman nurjahduslujuus                               |
| $f_j$       | pintapaineen laskentalujuus                                 |
| $f_u$       | teräksen (perusmateriaalin) murtolujuus                     |
| $f_{ub}$    | pultin murtolujuus  |
| $f_y$       | teräksen myötölujuus  |
| $h_i$       | korkeus   |
| $k_F$       | pilarin uuman lommahduskerroin                              |
| l           | rivan leveys  |
| $l_y$       | pistekuorman tehollinen jakaantumisleveys                   |
| $m_i$       | apusuure  |
| $n_i$       | lukumäärä   |
| s           | pultin avainväli  |
| $s_m$       | suhde   |
| $s_s$       | pistekuorman jakaantumisleveys                              |
| t           | paksuus   |
| W           | taivutusvastus  |

|                   |                                   |
|-------------------|-----------------------------------|
| $y$               | betonin puristetun pinnan korkeus |
| $\alpha$          | kulma; suhde; tekijä              |
| $\beta_w$         | lujuuskerroin                     |
| $\chi$            | pienennyskerroin                  |
| $\varepsilon$     | venymä                            |
| $\lambda_i$       | hoikkuus                          |
| $\lambda_m$       | dimensioton hoikkuus              |
| $\phi$            | pultin halkaisija                 |
| $\delta$          | jännitys                          |
| $\delta_{i,vert}$ | vertailujännitys                  |
| $\tau$            | leikkausjännitys                  |



## 1 JOHDANTO

Euroopan unionin maissa rakenteiden mitoitus on aikaisemmin perustunut kansallisiin ohjeisiin ja määräyksiin. Mitoitus- ja kuormitusnormit ovat olleet maakohtaisesti säädeltyjä ja niissä on ollut hyvinkin suuria eroja. EU:n olemassaolo on tehnyt kuitenkin välttämättömäksi perustaa yhteiset rakentamismääräykset, joita kutsutaan euronormeiksi (European Norms = EN).

Yleiseurooppalaiset normit ovat parhaillaan koekäyttövaiheessa eli ns. ENV-vaiheessa. Normeihin liitetään kansallinen soveltamisasiakirja (NA = National Annex), jossa esitetään maakohtaiset poikkeukset. Varsinaiset euronormit tulevat voimaan muutaman käyttövuoden jälkeen.

Työn tavoitteena on selvittää SS-Teracon Oy:ssä usein käytettyjen teräsrakenteisten liitosten mitoitusperiaatteet ja laskentamenetelmät sekä helpottaa teräsrakennesuunnittelijoiden siirtymistä Eurooppalaisten normien mitoituskäytäntöön.

Liitosten mitoitus laaditaan yleiseurooppalaisen teräsrakennenormin, Eurocode 3:n mukaisesti. Työn kirjallinen osa pyritään laatimaan siten, että se toimii mahdollisen käsinlaskennan tukena.

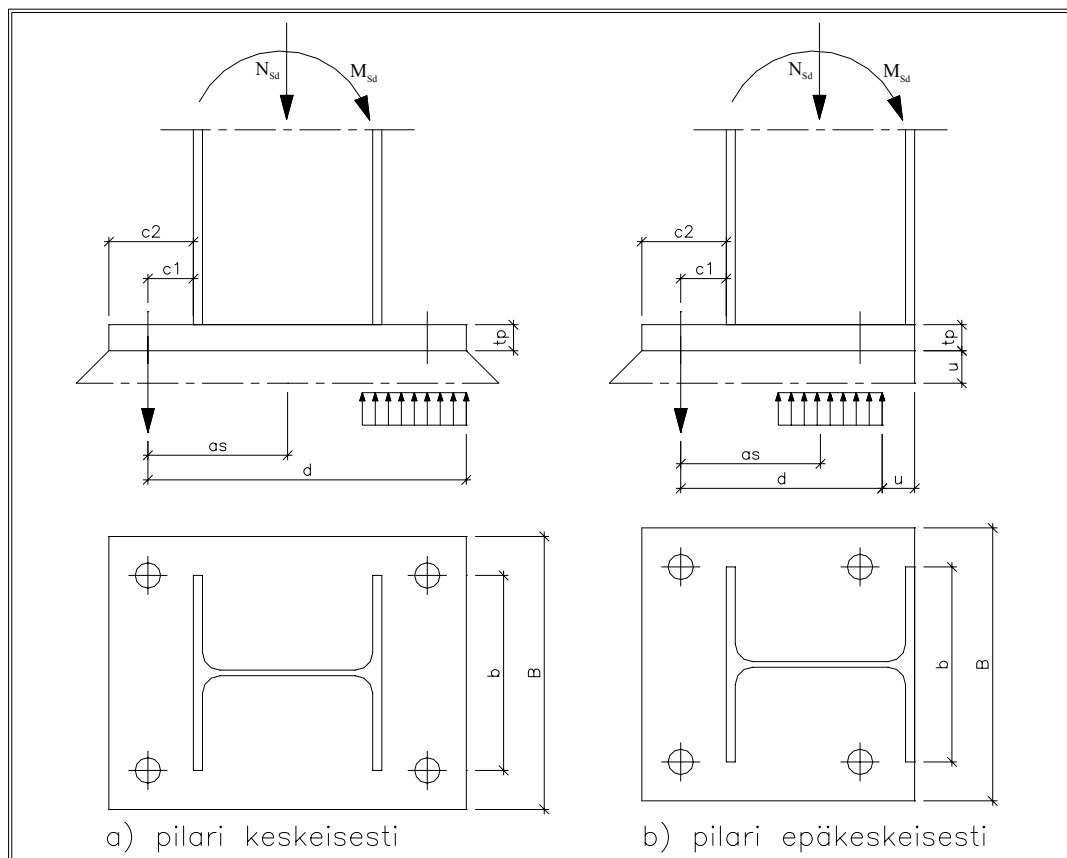
Liitosmitoitusohjeiden pohjalta laaditaan yritykselle mitoitusohjelmat. Mitoitusohjelmien on tarkoitus helpottaa projektien laskentaprosesseja ja hajauttaa laskentaa päärakennelaskijoilta detaljisuunnittelijoille.

## 2 PERUSPULTTILIITOS

### 2.1 Yleistä

Eurocode 3:ssa peruspulttiliitoksia koskevat ohjeet ovat melko puutteelliset ja niiden soveltaminen on vaikeaa. Euronormin antamia ohjeita peruspulttiliitokselle on sovellettu käyttämällä suomalaisten ohjeiden mukaista mitoittamista. /2/

Voimasuureiden laskennassa huomioidaan pohjalevyn puristettu reuna, kun taas Euronormin mukainen laskenta olettaa puristusresultantin sijaitsevan keskeisesti puristettuun laippaan nähden. Euronormin mukaisesti pohjalevy mitoitetään ainoastaan vetopuolen mukaan myötöviivamalleihin perustuen. Tutkintotyössä pitäydettiin myös mitoituksen osalta vanhojen ohjeiden mukaisessa yksinkertaisessa ulokkeeseen perustuvassa mitoituksessa.



**Kuva 2.1.** Peruspulttiliitoksessa vaikuttavat voimat.

Peruspultit ja harjateräspultit siirtävät pultin suuntaiset voimat ympäröivään betoniin harjatankeiden tartunnan avulla. Lyhyet pultit ankkuroituvat harjateräksen tartunnan ja ankkurointipään avulla. Pilarin normaalivoima ja taivutus siirtyvät pilariliitoksessa pilarin pohjalevystä pintapaineen ja pulttien vetorasitusten kautta perustuksille (ks. kuva 2.1). Kohtisuoraan tankoa vastaan olevat leikkausrasitukset siirretään betoniin levyn reunapuristuksen avulla. /8/

Sileät pyörötangoista tehdyt peruspultit ankkuroidaan betoniin taivuttamalla pultit u-muotoisiksi lenkeiksi tai käyttämällä niiden alapäässä erilaisia ankkurointikappaleita kuten L-teräksiä.

Peruspulttiryhmän asennustoleranssina käytetään tyypillisesti  $\pm 5$  mm. Suuren asennusvälyksen vuoksi reiät on peitettävä standardin mukaisen välyksen omaavilla peitelevyillä. /7, s. 265/

Leikkausvoiman siirtämiseksi tulisi aluslevyt hitsata pilarin pohjalevyyn, ellei liitos ole liukumista kestävä. Varsinkin liitoksissa, joissa pilareihin tukeutuu suuria lasiseiniä, on pohjalevyn liukuminen estettävä hitsaamalla. Yksittäisten pulttien keskinäisten välien pitämiseksi sallituissa rajoissa kiinnitetään pultit toisiinsa yleensä kulmaterästen avulla siten, että pultit muodostavat esivalmistetun pulttiryhmän ns. pulttikorin.

## 2.2 Pätevyysalue

Mitoitusohjeet ovat laadittu jäykistämättömälle pohjalevyille. Ohjeet soveltuvat sekä keskeisesti että epäkeskeisesti pohjalevyyn liittyvälle pilarille. Laskennassa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- a. Pileri on kaksoissymmetrinen ja kuuluu poikkileikkausluokkaan 1-3.
- b. Rakennneosien poikkileikkaus on vakio ja homogeeninen.
- c. Peruspulttien ankkurointi betoniin on oltava riittävä.
- d. Peruspulttien on lujuusluokka  $\leq 8.8$ .
- e. Liitosrakenteilla on oltava sama teräslaji.

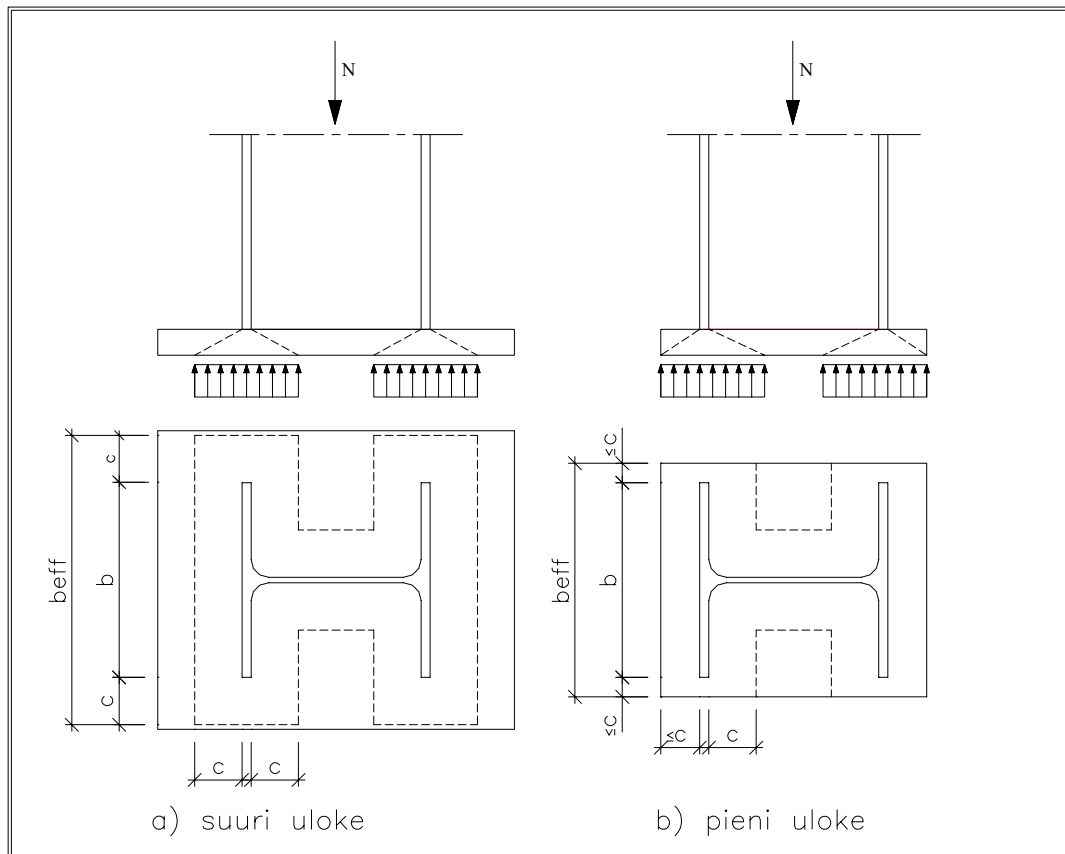
### 2.3 Pohjalevyn tehollinen leveys

Pohjalevyn tehollinen leveys rajoitetaan kuvan 2.2 mukaisesti. Pohjalevyn kantavan pinnan leveys ei saa ylittää arvoa: /4, s. 174/

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}} \quad (2.1)$$

Näin ollen pohjalevyn tehollinen leveys saadaan kaavasta:

$$b_{eff} = \begin{cases} B & \text{kun } 2c + b \geq B \\ 2c + b & \text{muulloin} \end{cases} \quad (2.2)$$



**Kuva 2.2.** Pohjalevyn kantavan pinnan leveys.

## 2.4 Betonin puristuspuunnan korkeus

Perustuksen pintapaineen laskentalujuus saadaan kaavasta: /4, s. 173/

$$f_j = \beta_j k_j f_{cd}, \quad (2.3)$$

missä  $\beta_j = 2/3$ , kun  $f_{yp} \geq 0,2K$  ja  $t_p \leq 0,2 \min[B, L]$

$k_j$  on keskittymistekijä;  $k_j = 1$  (tarkempi laskenta EC3, liite L)

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ , betonin sylinteripuristuslujuuden laskenta-arvo

$\gamma_c$  on betonin osavarmuusluku

Betonin sylinteripuristuslujuuden arvo  $f_{ck}$  saadaan taulukosta 2.1.

**Taulukko 2.1.** Betonin sylinteripuristuslujuuden riippuvuus lujuusluokasta. /1/

| Lujuusluokka | Lujuusluokka CEN | $f_{ck}/(\text{N}/\text{mm}^2)$ |
|--------------|------------------|---------------------------------|
| K30          | C25/30           | 25                              |
| K35          | C28/35           | 28                              |
| K40          | C32/40           | 32                              |
| K45          | C35/45           | 35                              |
| K50          | C40/50           | 40                              |
| K55          | C45/55           | 45                              |
| K60          | C50/60           | 50                              |
| K70          | C57/70           | 57                              |

Betonin puristuspuunnan korkeus määritetään tasapainoehtojen mukaan kuvasta 2.1:

$$\begin{aligned} M_{sd} + N_{sd} \cdot a_s &= N_c \cdot z \\ \Leftrightarrow M_{sd} + N_{sd} a_s &= b_{eff} y f_j (d - 0,5y) \\ \Leftrightarrow M_{sd} + N_{sd} a_s &= b_{eff} y f_j d - 0,5 b_{eff} f_j y^2 \\ \Leftrightarrow 0,5 b_{eff} f_j y^2 - b_{eff} y f_j d + [M_{sd} + N_{sd} a_s] &= 0 \\ \Leftrightarrow y &= \frac{b_{eff} f_j d \pm \sqrt{(-b_{eff} f_j d)^2 - 2 b_{eff} f_j (M_{sd} + N_{sd} a_s)}}{b_{eff} f_j} \end{aligned}$$

Näin ollen laskennassa käytettävä betonin puristuspuolelta saadaan kaavasta

$$y = \frac{b_{eff} f_j d - \sqrt{(-b_{eff} f_j d)^2 - 2b_{eff} f_j (M_{Sd} + N_{Sd} a_s)}}{b_{eff} f_j} \quad (2.4)$$

## 2.5 Pohjalevyn mitoitus

Pohjalevyssä vaikuttava taivutusmomentti vetopuolella saadaan kuvasta 2.1 seuraavasti:

$$m_{t.Sd} = F_t c_1, \quad (2.5)$$

missä  $F_t$  on peruspulteissa vaikuttava vetovoima

$c_1$  on vedetyn pultin etäisyys laipasta (ks. kuva 2.1)

Pohjalevy ajatellaan toimivaksi ulokepalkin tavoin. Tällöin pohjalevyn taivutusmomentti puristuspuolella saadaan seuraavasti: /2, s. 8/

Jos  $y \geq c_2$

$$m_{c.Sd} = \frac{1}{2} f_j c_2^2 b_{eff} \quad (2.6)$$

Muulloin

$$m_{c.Sd} = f_j y \left( c_2 - \frac{y}{2} \right) b_{eff} \quad (2.7)$$

Pohjalevy mitoitetaan taivutukselle. Vaadittu paksuus lasketaan kimmoteorian mukaista taivutusvastusta käyttäen. Pohjalevyn vaadittu paksuus saadaan johdettua kimmoisen momenttikapasiteetin kaavasta seuraavasti:

$$M_d = W_{el} \cdot f_{yd} \Leftrightarrow \frac{b_{eff} t_p^2}{6} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = M_d$$

$$\Rightarrow t_p = \sqrt{\frac{6M_d \gamma_{M0}}{b_{eff} f_y}}$$

Näin ollen pohjalevyn minimipaksuus vetopuolella saadaan kaavasta:

$$t_{p,t \min} = \sqrt{\frac{6m_{t.Sd} \gamma_{M0}}{b_{eff} f_y}} \quad (2.8)$$

Pohjalevyn minimipaksuus puristuspuolella

$$t_{p,c \min} = \sqrt{\frac{6m_{c.Sd} \gamma_{M0}}{b_{eff} f_y}} \quad (2.9)$$

Pohjalevyn minimipaksuuden on täytettävä ehto:

$$\frac{\max(t_{p,c \min}, t_{p,t \min})}{t_p} \leq 1,0 \quad (2.10)$$

Valssatun teräksen muodonmuutoskyky on paksuussuunnassa huonompi kuin pituus- ja leveyssuunnassa. Valssauspintaan vaikuttava kohtisuora vetojännitys voi aiheuttaa levyn paksuussuuntaista myötäämistä, joka ylittää perusaineen heikon muodonmuutoskyvyn. Tällöin alueelle syntyy lamellirepeämiä. /6, s. 22/

Lamellirepeytymisvaaran vuoksi tulee vetojännitys pohjalevyssä tarkistaa. Vetojännitys pohjalevyssä saadaan kaavasta:

$$\delta_p = \left| \frac{M_{Sd}}{W_c} - \frac{N_{Sd}}{A_c} \right| \quad (2.11)$$

Mikäli pohjalevy ei ole tehty teräksestä, jolle muun laadunvalvonnan ohella taataan pak-suussuuntaisella vetosauvalla mitatuksi murtokuroutumaksi vähintään 25 % (esim. Z - teräs), tulee vetojännitys pohjalevyssä rajoittaa arvoon: /2, s .4/

$$\delta_p \leq 0,8 \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.12)$$

## 2.6 Peruspulttien mitoitus

### 2.6.1 Peruspulttien kestävyys lopputilanteessa

Peruspulteissa vaikuttava vetovoima saadaan määritettyä kuvista 2.1 ja 2.2 tasapainoehtojen avulla. Peruspulteissa vaikuttava vetovoima saadaan näin ollen laskettua kaavasta:

$$F_t = b_{eff} \gamma f_j - N_{Sd} \quad (2.13)$$

SFS-ENV 1993-1-1 viitestandardin 3 mukaisten peruspulttien vetovoimakestävyyden mitoitussarvo voidaan määrittää kaavasta: /7, s. 206/

$$F_{t,Rd} = \frac{n \cdot 0,9 f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}}, \quad (2.14)$$

missä  $n$  on peruspulttien lukumäärä vetopuolella  
 $A_s$  on pultin jännityspoikkileikkauspinta-ala

Pultin jännityspoikkileikkausala saadaan kaavasta: /3 s.17/

$$A_s = 0,78\pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \quad (2.15)$$



Muissa leikattujen kierteiden tapauksissa, kuten pyöröteräksestä tehdyt peruspultit, jotka teräskonepaja tekee leikkaamalla, on yllä olevan kaavan mitoitusarvoa pienennettävä kertoimella 0,85 /7, s. 206/. Näin ollen vetovoimakestävyys leikatuille pyörötangoille saadaan kaavasta:

$$F_{t,Rd} = \frac{n \cdot 0,765 f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}}, \quad (2.16)$$

Peruspultin vetovoimakestävyys on täytettävä ehto:

$$\frac{F_t}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (2.17)$$

## 2.6.2 Peruspulttien kestävyys asennusaikana

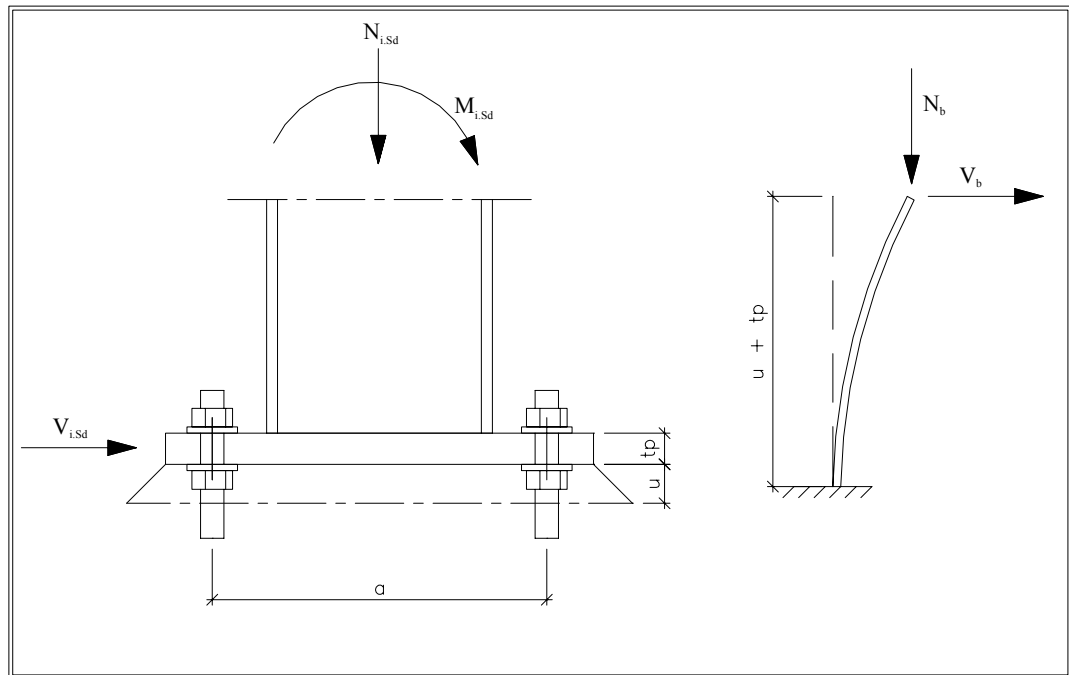
Asennusaikana pilari on täysin peruspulttien varassa. Peruspulteille tulee tällöin pystykuormista normaalivoima ja vaakakuormista taivutusmomentti ja leikkausvoima (ks. kuva 2.3). Betoniin valetun pultin normaalivoiman kapasiteetti on vedossa ja puristuksessa sama. Peruspultin voimasuuret asennusaikana saadaan kaavoista:

$$N_b = \frac{N_{i,Sd}}{2n} + \frac{M_{i,Sd}}{n \cdot a}, \quad (2.18)$$

$$V_b = \frac{V_{i,Sd}}{2n}, \quad (2.19)$$

$$M_b = \frac{V_{i,Sd}(u + t_p)}{2n}, \quad (2.20)$$

missä  $n$  on pulttien lukumäärä vetopuolella  
 $a$  on pulttien keskinäinen etäisyys  
 $u$  on jälkivalun paksuus



**Kuva 2.3.** Pulttien rasitukset asennusaikana.

Peruspultin kestävyys normaalivoimalle on vedossa ja puristuksessa sama. Standardin mukaisen peruspultin normaalivoimakestävyys saadaan kaavasta: /7, s. 206/

$$N_{Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (2.21)$$

Leikatun pyörötangosta tehdyn peruspultin normaalivoimakestävyys on /7, s. 206/

$$N_{Rd} = \frac{0,765 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (2.22)$$

Peruspultin normaalivoimakestävyden on täytettävä ehto:

$$\frac{N_b}{N_{Rd}} \leq 1,0 \quad (2.23)$$

Peruspulteille aiheutuu asennusaikana tuulesta taivutusta, joka ei saa ylittää peruspultin taivutuskestävyyttä. Peruspultin taivutuskestävyys mitoitusarvo lasketaan kaavasta: /7, s. 117/

$$M_{Rd} = \frac{W_b \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}, \quad (2.24)$$

missä  $W_b$  on pultin taivutusvastus;  $W_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$

Peruspultin taivutuskestävyyden tulee täyttää ehto:

$$\frac{M_b}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad (2.25)$$

Pultin leikkauskestävyys on aina määrävämpi kuin reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo pohjalevyn paksuuden ollessa  $\geq 10$  mm /4, s. 148/. Koska pohjalevynä käytetään yleensä aina vähintään 20 mm levyä, voidaan laskelmissa jättää huomioimatta reunapuristuskestävyyden vaikutus peruspultteihin.

Kun peruspulttina on pultti, joka valmistetaan SFS-ENV 1993-1-1 viitestandardin 3 mukaan, saadaan pultin leikkauskestävyys kaavasta: /7, s. 206/

$$V_{Rd} = 0,6 \cdot \frac{f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (2.26)$$

Muissa leikattujen kierteiden tapauksissa, jotka teräskonepaja tekee leikkaamalla, saadaan leikkauskestävyyden mitoitusarvo kaavasta: /7, s. 206/

$$V_{Rd} = 0,51 \cdot \frac{f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (2.27)$$

Pultin leikkauskestävyydelle on oltava voimassa ehto:

$$\frac{V_b}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad (2.28)$$

Peruspultin nurjahduskestävyys lasketaan kaavasta: /7, s. 131/

$$N_{c,Rd} = \chi \cdot A_s \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}}, \quad (2.29)$$

missä  $\chi = \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_m^2}}, 1,0\right)$

$$\lambda_m = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yb}}}$$

$$\lambda = \frac{l_{eff}}{i}; l_{eff} = 2,1 \cdot (u + t_p), i = \frac{\phi}{4}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{8,4(u + t_p)}{\phi}$$

$$\Phi = 0,5[1 + 0,49(\lambda_m - 0,2) + \lambda_m^2]$$

Peruspultti kestää taivutus ja leikkausvoiman yhteisvaikutuksen jos seuraava ehto on voimassa: /7, s. 121/

$$0,5V_{Rd} \geq V_b \wedge \frac{M_b}{M_{v,Rd}} \leq 1, \quad (2.30)$$

missä  $M_{v,Rd} = (1 - \rho)M_{Rd}$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_b}{V_{Rd}} - 1\right)^2$$

Päädystä olevissa reunapilareissa, joissa vaakavoimat siirretään siteen kautta perustuksille saattaa pilari tulla vedetyksi. Tällöin tulee tarkastaa pilarin peruspulttien kestävyys vetovoiman ja tuulesta tulevan taivutuksen yhteisvaikutukselle. Taivutuksen ja vetovoiman yhteisvaikutus tarkistetaan kaavalla: /7, s. 125/

$$\frac{N_b}{A_s \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_b}{W_b \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}}} \quad (2.31)$$

Kun liitokseen vaikuttaa keskeinen normaalivoima ja taivutusta aiheuttava vaakavoima, tarkistetaan peruspulttien kestävyys normaalivoiman ja taivutuksen yhteisvaikutukselle kaavalla: /7, s. 142/

$$\frac{N_b}{\chi \cdot \pi \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} \cdot A_b} + \frac{k \cdot M_b}{\frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} \cdot W_b} \leq 1,0, \quad (2.32)$$

missä  $k = 1 + \frac{1,2\lambda_m N_b}{\chi \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} f_{yb}}$

$A_b = \frac{\phi^2}{4}$ , peruspultin poikkileikkauspinta-ala

$W_b = \frac{\pi \cdot \phi^3}{32}$ , peruspultin taivutusvastus

## 2.7 Pohjalevyn hitsien mitoitus

Jännitys laipan keskilinjalla saadaan kaavasta:

$$\delta_{x,f} = \frac{M_{sd}}{I_y} \cdot \frac{h - t_f}{2} - \frac{N_{sd}}{A_c}, \quad (2.33)$$

missä  $I_y$  on pilarin jäyhyysmomentti

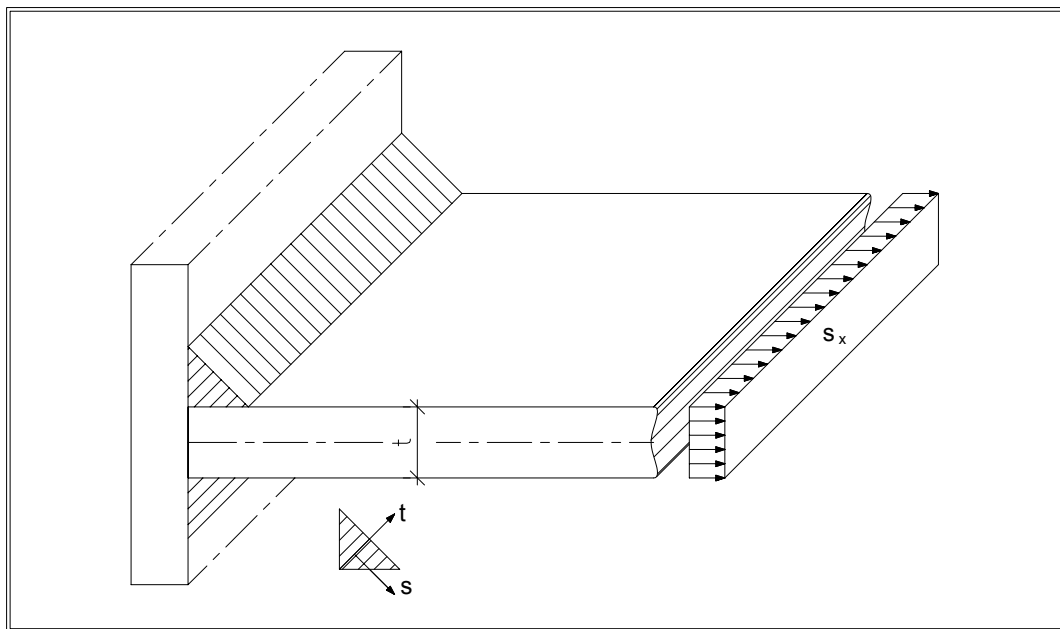
$h$  on pilarin korkeus

$t_f$  on laipan paksuus

$A_c$  on pilarin poikkileikkausala

Jännitys uuman ja laipan liittymäkohdassa on

$$\delta_{x,f} = \frac{M_{sd}}{I_y} \cdot \left( \frac{h}{2} - t_f \right) - \frac{N_{sd}}{A_c} \quad (2.34)$$



**Kuva 2.4.** Pohjalevyn hitsissä vaikuttavat jännitykset.

Laipan kaksoispienhitsin jännitys lasketaan kaavasta: /6, s. 31/

$$\delta_f = \frac{\delta_{x,f}}{2\sqrt{2} \cdot a_f} \cdot t_f \quad (2.35)$$

$$\tau_f = \delta_f = \frac{\delta_{x,f}}{2\sqrt{2} \cdot a_f} \cdot t_f \quad (2.36)$$

Laipan hitsin vertailujännitys on /7, s M/1/

$$\delta_{vert,f} = \sqrt{\delta_f^2 + 3\tau_f^2} \quad (2.37)$$

Uuman kaksoispienhitsin jännitys lasketaan kaavalla: /6, s. 31/

$$\delta_w = \frac{\delta_{x,w}}{2\sqrt{2} \cdot a_w} \cdot t_w \quad (2.38)$$

$$\tau_w = \delta_w = \frac{\delta_{x,w}}{2\sqrt{2} \cdot a_w} \cdot t_w \quad (2.39)$$

Uuma hitsin vertailujännitys saadaan kaavasta: /7, s. M/1/

$$\delta_{vert,w} = \sqrt{\delta_w^2 + 3\tau_w^2} \quad (2.40)$$

Pienahitsin kestävyys on riittävä kun seuraavat ehdot ovat voimassa /7, s. M/1/

$$\delta_{vert} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}}, \quad (2.41)$$

$$\delta \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}, \quad (2.42)$$

missä  $\beta_w$  on lujuuskerroin  
 $f_u$  on heikoimman liitettävän osan vetomurtolujuus

Kerroin  $\beta_w$  ottaa huomioon hitsiaineen ja perusaineen erilaiset lujuudet taulukon 2.2 mukaisesti.

**Taulukko 2.2.** Lujuuskertoimen  $\beta_w$  riippuvuus teräslajista. /6, s.6/

| Teräslaji | $f_u$ /(N/mm <sup>2</sup> ) | $\beta_w$ |
|-----------|-----------------------------|-----------|
| Fe 360    | 360                         | 0,8       |
| Fe 430    | 430                         | 0,85      |
| Fe 510    | 510                         | 0,9       |

Teräksille, joiden myötöraja on suurempi kuin teräksen Fe 52, mutta korkeintaan 400 N/mm<sup>2</sup>, käytetään arvoa  $\beta_w = 1,0$ . Lujempia teräksiä varten hankitaan selvitys perusaineen ja hitsiaineen lujuussuhteista. /6, s. 6/

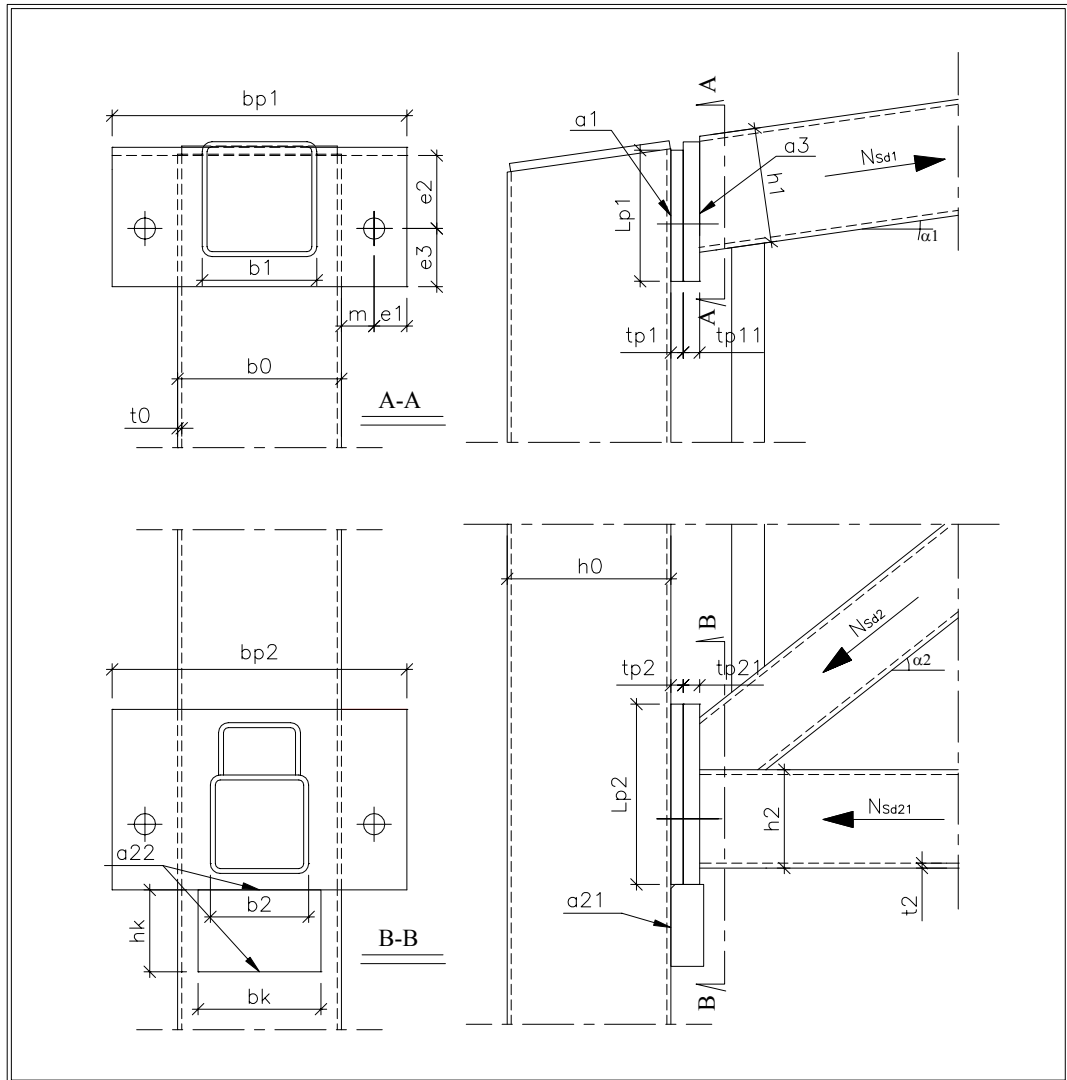
Staattisesti määräämättömissä rakenteissa hitsin koko määräytyy muodonmuutoskyvyn perusteella eli hitsit mitoitetaan vähintään niin lujiksi, että heikompi liitettävistä osista myötää ennen hitsin murtumista /6, s. 11/. Tällöin hitsin kestävyuden mitoitusarvon on oltava vähintään 80 % heikoimman liitettävän osan kestävyuden mitoitusarvosta /7, s. 230/ eli

$$\delta_x \leq 0,8 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{Mw}} \quad (2.43)$$

Hitsin laskentavoimat määritetään käyttämällä jännityksenä hitsin laskennassa kaavan 2.43 mukaista arvoa. Käytännössä hitsi on lähes aina staattisesti määräämättömän rakenteen osana lukuun ottamatta puhtaasti mastoina toimivia pilareita. Hitsin käyttöaste määräytyy kuitenkin todellisten jännitysten mukaan.



### 3 RISTIKON LIITOS KONSOLILLISEEN PUTKIPILARIIN



**Kuva 3.1.** Ristikön liitos konsolilla varustettuun putkipilariin.

Alapään konsoliliitoksessa voimat välittyvät suoraan ristikon päätylevyltä konsolille, koska pulteissa ovat välykset (asennustoleranssit). Näin ollen alapään pulteille ei synny juurikaan rasituksia.

Laskennassa käytettävät voimasuureet saadaan määritettyä kuvasta 3.1 seuraavasti:

Vaakavoimat

$$H_{Sd,1} = N_{Sd,1} \cdot \cos \alpha_1 \quad (3.1)$$

$$H_{Sd,2} = N_{Sd,21} + N_{Sd,2} \cdot \cos \alpha_2 \quad (3.2)$$

Leikkausvoimat

$$V_{Sd,2} = N_{Sd,2} \cdot \sin \alpha_2 \quad (3.3)$$

### 3.1 Pätevyysalue

Mitoitusohjeet on laadittu konsolillisen putkipilarin ja ristikon liitokselle Laskennassa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- a. Pilari on kaksoissymmetrinen ja kuuluu poikkileikkausluokkaan 1-3.
- b. Rakenneosien poikkileikkaus on vakio ja homogeeninen.
- c. Pulttien lujuusluokka  $\leq 8.8$ .
- d. Liitosrakenteilla on oltava sama teräslaji.
- e. Alapää tukeutuu konsolin varaan.

Lisäksi liitoksessa on oltava seuraavat ehdot voimassa, jotta kaavat olisivat päteviä: /9/

Alapäärre:

$$\frac{h_2}{b_0}, \frac{b_2}{b_0} \geq 0,25 \quad (E3.1)$$

$$0,5 \leq \frac{h_2}{b_2} \leq 2 \quad (E3.2)$$

$$\frac{b_2 + h_2}{t_2} \geq 0,25 \quad (E3.3)$$

$$\frac{b_2}{t_2}, \frac{h_2}{t_2} \leq 35 \quad (\text{E3.4})$$

$$\frac{b_2}{t_2}, \frac{h_2}{t_2} \leq 1,25 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{E3.5})$$

Pilari:

$$0,5 \leq \frac{h_0}{b_0} \leq 2 \quad (\text{E3.6})$$

$$\frac{b_0}{t_0}, \frac{h_0}{t_0} \leq 35 \quad (\text{E3.7})$$

$$\frac{b_0 + h_0}{t_0} \geq 25 \quad (\text{E3.8})$$

Alapään liitoksen levyt:

$$L_{p2} \geq h_2 \quad (\text{E3.9})$$

Alapaarteeseen liittyvä uumasauva:

$$\frac{b_3}{b_0}, \frac{h_3}{b_0} \geq 0,25 \quad (\text{E3.10})$$

$$0,5 < \frac{h_3}{b_3} \leq 2,0 \quad (\text{E3.11})$$

$$\frac{b_3 + h_3}{t_3} \geq 0,25 \quad (\text{E3.12})$$

$$\frac{b_3}{t_3}, \frac{h_3}{t_3} \leq 35 \quad (\text{E3.13})$$

### 3.2 Yläpään liitoksen kestävyys

#### 3.2.1 Pulttien mitoittaminen

Yläpään pulttien vetokestävyys lasketaan kaavasta: /7, s. 206/

$$F_{t.Rd} = \frac{n_1 \cdot 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}}, \quad (3.4)$$

missä  $A_s$  on yläpään pultin jännityspoikkileikkausala,  $A_s = 0,78\pi \frac{\phi_1^2}{4}$

$f_{ub}$  on pultin murtolujuus

$n_1$  on yläpään pulttien lukumäärä

#### 3.2.2 Pilarin kestävyys

Pilarin leikkauskestävyys saadaan kaavasta: /7, s.118/

$$N_{c.Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}, \quad (3.5)$$

missä  $A_v = \frac{A_0 h_0}{b_0 + h_0}$ ; leikkauspinta-ala

Leikkauskestävyyden on täytettävä ehto

$$\frac{H_{Sd.1}}{N_{c.Rd}} \leq 1,0 \quad (3.6)$$

### 3.2.3 Yläpaarteen kestävyys

Yläpaarteessa vaikuttaa vetojännitys. Vedetty poikkileikkaus toimii hoikkuudesta riippumatta kokonaan tehollisena, joten poikkileikkauksen muodolla ei ole vaikutusta vetokestävyyteen. Yläpaarteen vetokestävyys saadaan kaavasta:

$$N_{Rd.1} = \frac{A_1 f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (3.7)$$

missä  $A_1$  on yläpaarteen poikkileikkausala

Vetokuormitetun putkipalkin on täytettävä mitoitusehto:

$$\frac{N_{Sd.1}}{N_{Rd.1}} \leq 1,0 \quad (3.8)$$

Lamellirepeytymävaaran vuoksi tulee yläpaarteen päätytylevyn vetojännitys tutkia. Vetojännitys yläpaarteen päätylevyissä lasketaan kaavalla:

$$\delta = \frac{H_{Sd.1}}{A_1}, \quad (3.9)$$

missä  $A_1$  on yläpaarteen poikkileikkausala

Vetojännitys liitoksessa tulee rajoittaa arvoon  $0,8f_{yd}$  ellei levy ole tehty Z-teräksestä, jolle sallitaan enintään perusmateriaalin  $f_{yd}$  suuruinen jännitys.

### 3.2.4 Liitoksen laippojen kestävyys

Laippojen ja ruuvien kestävyyttä voidaan arvioida laskemalla liitoksen kestävyys T-kappaleiden avulla. T-kappaleen muodostavat pilari ja laippa sekä yläpaarre ja laippa. T-kappaleen mahdollisia murtumismalleja on kolme (ks. kuva 3.2), joista T-osan laipan vetokestävyudeksi valitaan pienin seuraavista arvoista: /9, s. 97/

Malli 1: Laipan täydellinen myötääminen /7, s. J/22/

$$F_{T.Rd.1} = \frac{4M_{T.Rd}}{m} \quad (3.10)$$

Malli 2: Pultin murtuminen laipan myötäessä /7, s. J/22/

$$F_{T.Rd.2} = \frac{2M_{T.Rd} + \min(e_1, e_2, e_3) \cdot 2B_{t.Rd}}{m + \min(e_1, e_2, e_3)} \quad (3.11)$$

Malli 3: Vain pultin murtuminen

$$F_{T.Rd.3} = 2B_{t.Rd} \quad (3.12)$$

Missä 
$$M_{T.Rd} = \frac{0,25 \cdot L_{eff} \cdot f_y \cdot \min(t_{p1}, t_{p11})^2}{\gamma_{M0}}$$

Pultti-levyliitoksen vetokestävyuden  $B_{t.Rd}$  mitoitusarvoksi tulee ottaa pienempi kaavan 4.4 mukaisesta pultin vetovoimakestävyuden mitoitusarvosta  $F_{t.Rd}$  (kaava 3.4) ja pultin kannan ja/tai mutterin lävistymiskestävyuden  $B_{p.Rd}$  mitoitusarvosta eli

$$B_{t.Rd} = \min\left(\frac{B_{p.Rd}}{2}, \frac{F_{t.Rd}}{2}\right)$$

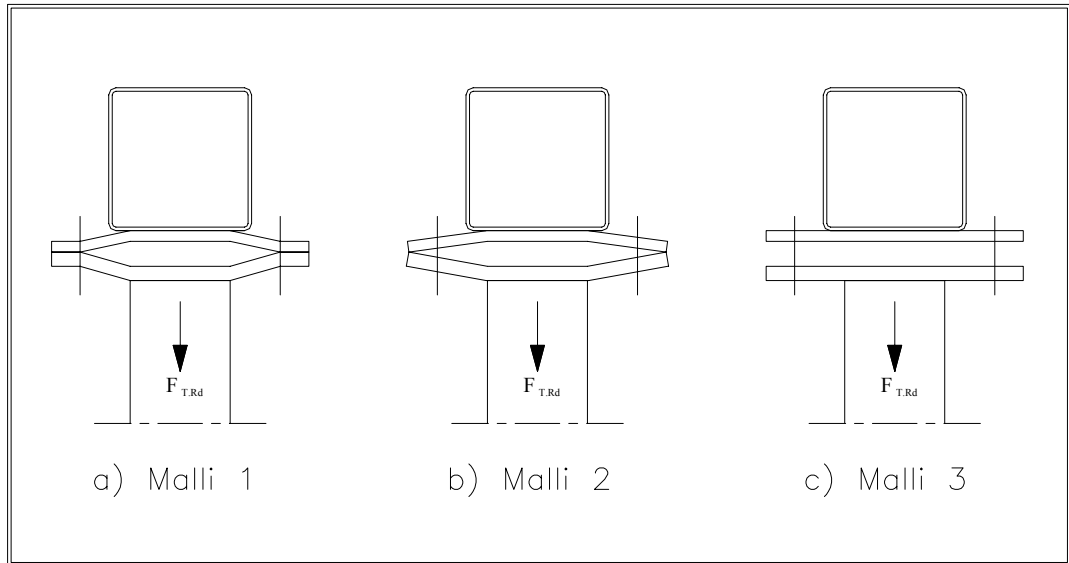
Lävistymiskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavasta: /7 s.205/

$$B_{p,Rd} = \frac{n_1 \cdot 0,9\pi s_1 \cdot \min(t_{p1}, t_{p11}) f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (3.13)$$

missä  $s_1$  on ruuvien avainväli

T-osan laipan käyttöasteen on täytettävä ehto:

$$\frac{H_{Sd.1}}{\min(F_{T.Rd.1}, F_{T.Rd.2}, F_{T.Rd.3})} \leq 1,0 \quad (3.14)$$



**Kuva 3.2.** T-kappaleen murtomallit. Malli 1: laipan täydellinen myötääminen, malli 2: pultin murtuminen laipan myötäessä ja malli 3: pultin murtuminen.

### 3.3 Alapään liitoksen kestävyys

#### 3.3.1 Pilarin ja alapaarteen kestävyys

Pilarin pinnan kestävyys myötäämistä vastaan saadaan kaavasta /9, s. 316/

$$N_{Rd.c1} = \frac{f_y(t_{p2} + t_{p21})^2}{1 - \frac{b_2}{b_{p2}}} \cdot \left( 2 \cdot \frac{h_2}{b_{p2}} + 4 \sqrt{1 - \frac{b_2}{b_{p2}}} \right) \cdot \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \cdot \gamma_{M0}} \quad (3.15)$$

Kestävyys pilarin uuman lommahdusta tai myötöä vastaan lasketaan kaavasta /9, s. 316/

$$N_{Rd.c2} = f_b \cdot t_0(2h_2 + 10t_0) \cdot \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \cdot \gamma_{M0}}, \quad (3.16)$$

missä  $f_b = \chi \cdot f_y$

$$\chi = \min \left( \frac{1}{s_m + \sqrt{s_m^2 - \lambda_m^2}}, 1 \right)$$

$$s_m = 0,5[1 + 0,49(\lambda_m - 0,2) + \lambda_m^2]$$

$$\lambda_m = 3,46 \left( \frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Pilarin leikkauslävistymiskestävyys saadaan kaavasta: /9, s. 316/

$$N_{Rd.c3} = \frac{f_y(t_{p2} + t_{p21})}{\sqrt{3}} (2h_2 + 2b_{ec}) \cdot \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \cdot \gamma_{M0}}, \quad (3.17)$$

missä  $b_{ec} = \min \left[ b_2, \frac{10(t_{p2} + t_{p21})b_2}{b_{p2}} \right]$ ; alapaarteen tehollinen leveys



Ristikon alapaarteen kestävyys murtumista vastaan lasketaan kaavasta: /9, s. 316/

$$N_{Rd.2} = f_y t_2 (2h_2 - 4t_2 + 2b_{eff}) \cdot \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \cdot \gamma_{M0}}, \quad (3.18)$$

$$\text{missä } b_{eff} = \min \left[ b_2, \frac{10b_2(t_{p2} + t_{p21})^2}{b_{p2} \cdot t_2} \right]$$

Käyttöaste liitoksen murtumista vastaan on oltava:

$$\frac{H_{Sd.2}}{\max(N_{Rd.c1}, N_{Rd.c2}, N_{Rd.c3}, N_{Rd.2})} \leq 1,0 \quad (3.19)$$

Lisäksi alapaarteen kestävyys tarkistetaan liitoksessa vaikuttavalle leikkausvoimalle.

Koska puolet uumasauvasta liittyy alapaarteeseen, välittyy paarteeseen likimain  $0,5V_{sd.2}$  suuruinen leikkausrasitus. Alapaarteen leikkauskestävyys saadaan kaavasta /7, s. 118/:

$$V_{v.Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}, \quad (3.20)$$

$$\text{missä } A_v = \frac{A_2 h_2}{b_2 h_2}$$

Leikkauskestävyyden tulee täyttää ehto:

$$\frac{0,5V_{Sd}}{V_{v.Rd}} \leq 1,0 \quad (3.21)$$

### 3.3.2 Uumasauvan kestävyys

Uumasauvan murtumiskestävyys riippuu limityksen suhteellisesta suuruudesta. Limityksen suhteellinen suuruus lasketaan kaavasta: /9, s. 325/

$$\lambda_{ov} = \frac{q \sin \alpha_2}{h_3}, \quad (3.22)$$

missä  $q = \frac{h_0}{2} + t_{p2} + t_{p21}$

Kun  $0,25 \leq \lambda_{ov} < 0,5$ , saadaan uumasauvan kestävyys murtumista vastaan kaavasta: /9, s. 325/

$$N_{3,Rd} = f_y t_3 \left[ 2\lambda_{ov} (2h_3 - 4t_3) + b_{eff} + b_{e(ov)} \right] \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \gamma_{M0}} \quad (3.23)$$

Kun  $0,5 \leq \lambda_{ov} < 0,8$

$$N_{3,Rd} = f_y t_3 \left[ 2h_3 - 4t_3 + b_{eff} + b_{e(ov)} \right] \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \gamma_{M0}} \quad (3.24)$$

Missä  $b_{eff} = \min \left[ \frac{10b_3 t_2^2}{b_2 t_3}, b_3 \right]$

$$b_{e(ov)} = \min \left[ \frac{10b_3 (t_{p2} + t_{p21})^2}{b_0 t_3}, b_3 \right]$$

### 3.4 Hitsit

*Pilariin liittyvä yläpään liitoslevy*

Jännitys yläpään liitoksen hitsissä voidaan määrittää kaavalla: /6, s. 31/

$$\delta_1 = \tau_1 = \frac{H_{sd,1}}{\sqrt{2} \cdot a_1 \cdot 2(b_0 + L_{p1})} \quad (3.25)$$

*Yläpaarteen päätylevy*

Jännitys yläpaarteen liitoksessa saadaan kaavasta:

$$\delta_3 = \tau_3 = \frac{H_{sd,1}}{\sqrt{2} \cdot a_3 \cdot 2(b_1 + h_1 \cos \alpha_1)} \quad (3.26)$$

Hitsin vertailujännitys lasketaan kaavasta: /7, s. M/1/

$$\delta_{i,vert} = \sqrt{\delta_i^2 + 3\tau_i^2} \quad (3.27)$$

*Konsoli*

Konsolin hitsiin vaikuttaa pystykuormista aiheutuva hitsin suuntainen leikkausjännitys ja tukireaktion epäkeskisyydestä aiheutuva normaalivoima. Leikkausjännitys lasketaan konsolin hitsissä siten, että leikkausrasituksen ottaa vastaa vain rasituksen suuntaiset sivut ( $l = 2h_k$ ). Näin ollen leikkausjännitys konsolin hitsissä saadaan kaavasta: /6, s. 28/

$$\tau_{21} = \frac{V_{sd,2}}{2h_k \cdot a_{2,1}} \quad (3.28)$$

Kosolin hitsin suuntaisen leikkausvoiman vertailujännitys lasketaan kaavasta: /7, s. M/1/

$$\delta_{2,vert} = \tau_{21} \sqrt{3} \quad (3.29)$$

Tukireaktion epäkeskisyyden aiheuttama jännitys konsolin hitseille saadaan kaavasta:

$$\delta_{22} = \tau_{22} = \frac{V_{sd,2} \left( t_{p2} + \frac{t_{p21}}{2} \right)}{a_{2,2} b_k h_k \sqrt{2}} \quad (3.30)$$

Vertailujännitys hitsille saadaan kaavasta 2.40. Hitsien kestävyys on riittävä kun ehdot 2.41 ja 2.42 ovat voimassa (ks. kappale 2.7 Pohjalevyn hitsien mitoitus).

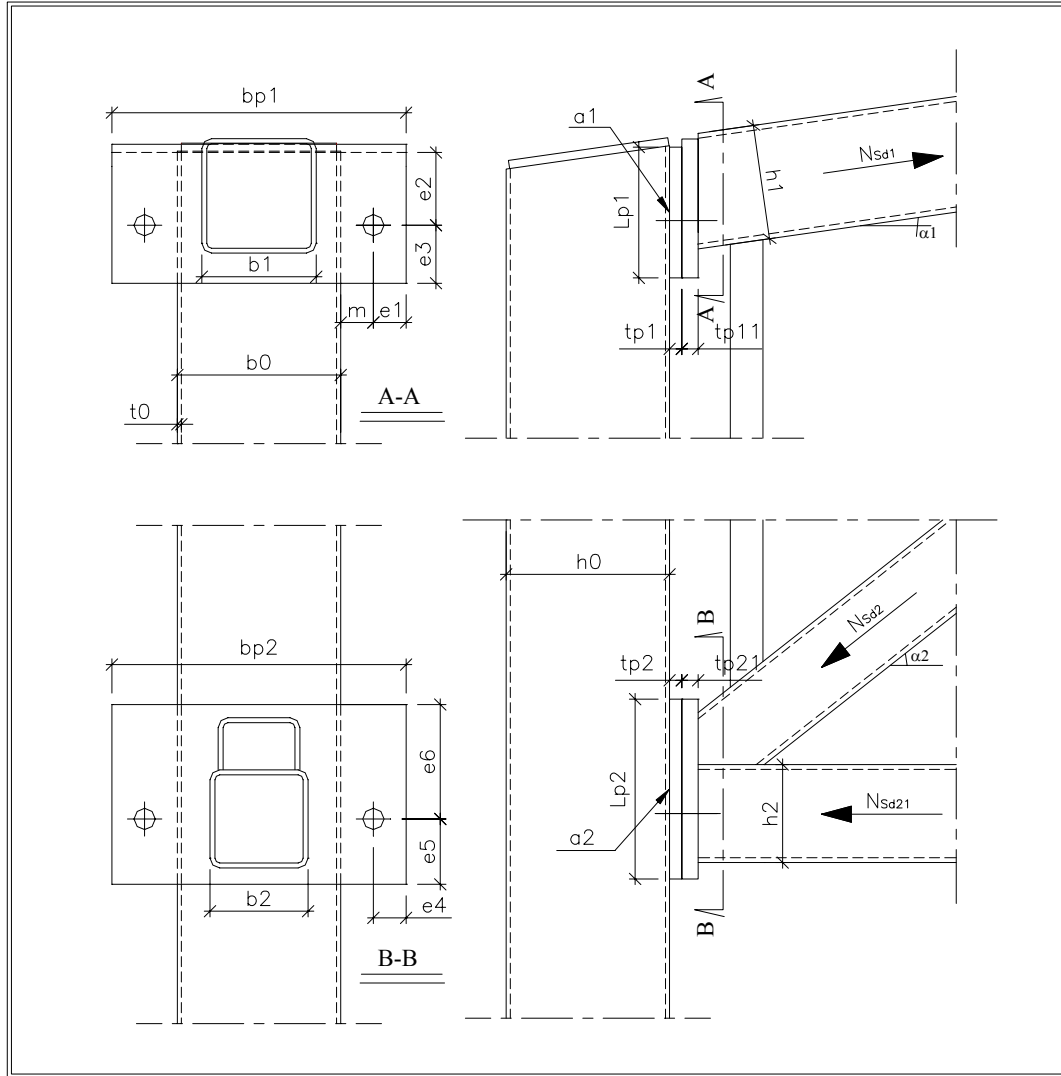
#### *Uumasauvan ja alapaarteen päätylevy*

Putkipalkkiristikoiden liitoksissa muodostuu liitoksen alueelle paikallisia jännityshuippuja. Uumasauvojen ja paarteiden myötääminen tasaa kuitenkin jännityshuippuja. Tämän vuoksi alapaarteen ja uumasauvan liitoksen hitsi päätylevyyn mitoitetaan tasalujaksi sauvojen kanssa. Hitsi on tasaluja kun se täyttää ehdon /9, s. 190/:

$$a = 1,07t \quad (f_y = 355 \text{ N} / \text{mm}^2) \quad (3.31)$$

Limitetyssä liitoksessa uumasauvan alapuolinen osa on myös hitsattava täyslujuksi.

#### 4 RISTIKON LIITOS KONSOLITTOMAAN PUTKIPILARIIN



**Kuva 4.1.** Ristikon liitos konsolittomaan putkipilariin.

#### 4.1 Pätevyysalue

Mitoitusohjeet ovat laadittu konsolittoman putkipilarin ja ristikon liitokselle. Laskennassa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- a. Pileri on kaksoissymmetrinen ja kuuluu poikkileikkausluokkaan 1-3.
- b. Rakenneosien poikkileikkaus on vakio ja homogeeninen.
- c. Pulttien lujuusluokka  $\leq 8.8$ .
- d. Liitosrakenteilla on oltava sama teräslaji.

Lisäksi liitoksessa on oltava voimassa ehdot E3.1 – E3.13.

#### 4.2 Yläpään liitoksen kestävyys

Yläpään pulttien kestävyys mitoitetaan kaavan 3.4 mukaan. Yläosan liitoksen kestävyys lasketaan samoin kuin kappaleessa 3.4.

#### 4.3 Alapään liitoksen kestävyys

Alapään liitoksessa vaikuttavat voimat välittyvät leikkausrasituksena pulteille. Pulttien leikkauskestävyys (kierteet leikkautumistasossa) saadaan kaavasta: /7, s. 206/

$$F_{v.Rd} = \frac{n_2 \cdot 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (4.1)$$

missä  $A_s$  on yläpään pultin jännityspoikkileikkausala,  $A_s = 0,78\pi \frac{\phi_1^2}{4}$

Pultin leikkauskestävyyden on täytettävä ehto:

$$\frac{V_{Sd.2}}{F_{v.Rd}} \leq 1,0 \quad (4.2)$$

Pilarin ja ristikon alapaarteen kestävyys tarkistetaan kaavoilla 3.13 - 3.17. Alapaarteeseen liittyvä uumasauva mitoitetaan kuten kappaleessa 3.5.2. Alapään liitokseen kohdistuu leikkauskuormitus, joka ei saa ylittää liitoksen palamurtumiskestävyyden ja reunapuristuskestävyyden mitoitusarvoa. Alapaarteen liitoslevyjen palamurtumiskestävyys tarkistetaan kaavalla /7, s. 197/

$$V_{eff.Rd} = \frac{A_{v,eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}, \quad (4.3)$$

missä  $A_{v,eff}$  on tehollinen leikkautumispinta - ala

Tehollinen leikkauspinta-ala lasketaan kaavasta: /7, s. 197/

$$A_{v,eff} = \min(t_{p2}, t_{p21}) \cdot L_{veff}, \quad (4.4)$$

missä  $L_{veff} = \min(L_1 + L_2, L_3)$

$$L_1 = \min(e_5, 5\phi_2)$$

$$L_2 = (e_4 - 0,5d_2) \cdot \frac{f_u}{f_y}$$

$$L_3 = \min \left[ e_5 + e_6, (e_5 + e_6 - n_2 d_2) \cdot \frac{f_u}{f_y} \right]$$

Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvon on täytettävä ehto:

$$\frac{V_{Sd.2}}{V_{eff.Rd}} \leq 1,0 \quad (4.5)$$

Alapaarteen liitoslevyn reunapuristuskestävyys lasketaan kaavasta: /7, s. 206/

$$F_{b.Rd} = n_2 \cdot 2,5\alpha \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} \phi_2 \cdot \min(t_{p2}, t_{p21}), \quad (4.6)$$

$$\text{missä } \alpha = \min\left(\frac{e_s}{3d_2}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$$

#### 4.4 Hitsit

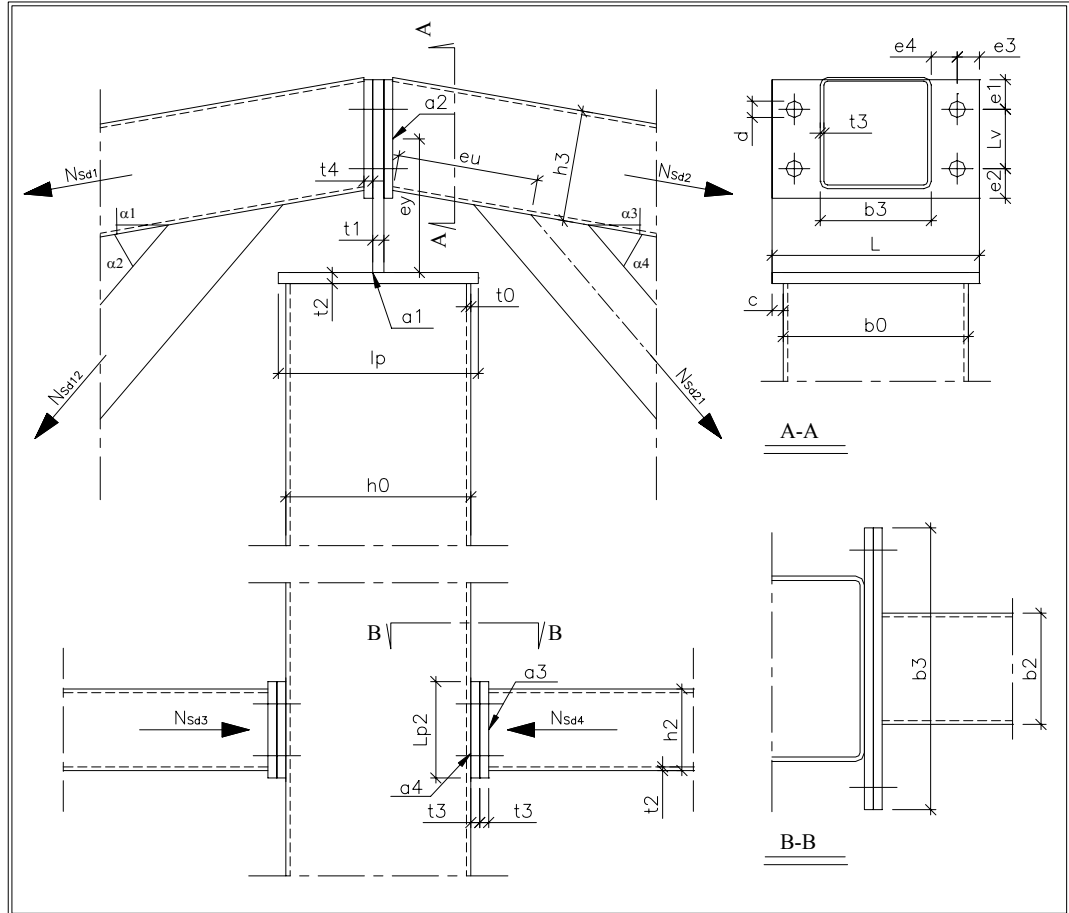
Yläpään liitoksen ja yläpaarteen hitsien jännitykset saadaan kaavoista 3.18 - 3.20. Pilariin liittyvän levyn hitsi mitoitetaan olettaen, että leikkausrasitus välittyy vain rasituksen suuntaisiin sivuihin ( $l = 2L_{p2}$ ). Alapään liitoksen jännitykset pilariin liittyvän levyn hitsissä lasketaan kaavasta: /6, s. 28 /

$$\tau_2 = \frac{V_{sd,2}}{2L_{p2} \cdot a_2} \quad (4.7)$$

Hitsin vertailujännitys saadaan kaavan 3.22 mukaisesti. Hitsien kestävyys on riittävä kun ehdot 2.41 ja 2.42 ovat voimassa (ks. kappale 2.7 Pohjalevyn hitsien mitoitus). Alapaarteen ja uumasauvan hitsi päätylevyyden mitoitetaan täyslujaksi (ks. kaava 3.23).



5 RISTIKON LIITOS KESKEISEEN PUTKIPILARIIN



**Kuva 5.1.** Ristikön liitos keskeiseen putkipilariin.

Laskennassa käytettävät voimasuureet saadaan määritettyä kuvasta 5.1 seuraavasti:

Vaakavoimat

$$H_{Sd,1} = N_{Sd,1} \cdot \cos \alpha_1 + N_{Sd,12} \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (5.1)$$

$$H_{Sd,2} = N_{Sd,2} \cdot \cos \alpha_3 + N_{Sd,21} \cdot \cos(\alpha_3 + \alpha_4) \quad (5.2)$$

$$H_{Sd} = \max(H_{Sd,1}, H_{Sd,2}) \quad (5.3)$$

Leikkausvoimat

$$V_{Sd.1} = N_{Sd.1} \cdot \sin \alpha_1 + N_{Sd.12} \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (5.4)$$

$$V_{Sd.2} = N_{Sd.2} \cdot \sin \alpha_3 + N_{Sd.21} \cdot \sin(\alpha_3 + \alpha_4) \quad (5.5)$$

$$T_{Sd} = V_{Sd.1} + V_{Sd.2} \quad (5.6)$$

## 5.1 Pätevyysalue

Mitoitusohjeet on laadittu keskipilarin ja ristikon liitokselle. Laskennassa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- a. Pileri on kaksoissymmetrinen ja kuuluu poikkileikkausluokkaan 1-3.
- b. Rakenneseien poikkileikkaus on vakio ja homogeeninen.
- c. Pulttien lujuusluokka on oltava 8.8 tai 10.9.
- d. Liitosrakenteilla on oltava sama teräslaji.
- e. Pilarin päähän liittyvän rivin leveys  $\geq$  pilarin leveys.
- f. Yäparre kuuluu poikkileikkausluokkaa 1-2.

Lisäksi liitoksessa on oltava voimassa ehdot E3.1 – E3.13.

## 5.2 Yläpään liitoksen kestävyys

### 5.2.1 Pulttien mitoittaminen

Pulttien leikkauskestävyys (kierteet leikkautumistasossa) lasketaan kaavasta: /7, s. 206/

$$F_{v.Rd} = \frac{n_1 \cdot 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (5.7)$$

missä  $A_s$  on yläpään pultin jännityspoikkileikkausala,  $A_s = 0,78\pi \frac{\phi_1^2}{4}$

Käyttöaste leikkauskestävyydelle on oltava:

$$\frac{\max(V_{Sd.1}, V_{Sd.2})}{F_{v.Rd}} \leq 1,0 \quad (5.8)$$

Pulttien vetokestävyys saadaan kaavasta: /7, s. 206/

$$F_{t.Rd} = \frac{n_1 \cdot 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (5.9)$$

Pulttien vetokestävyyden on täytettävä ehto:

$$\frac{H_{Sd}}{F_{t.Rd}} \leq 1,0 \quad (5.10)$$

Koska yläpään pultteihin vaikuttaa samanaikainen leikkaus- ja vetokestävyys on liitoksen täytettävä myös ehto: /7, s. 205/

$$\frac{\max(V_{Sd.1}, V_{Sd.2})}{F_{v.Rd}} + \frac{H_{Sd}}{F_{t.Rd} \cdot 1,4} \leq 1,0 \quad (5.11)$$

## 5.2.2 Yläpaarteen kestävyys

*Vetokestävyys*

Yläpaarteessa vaikuttaa veto- ja leikkausrasitus. Yläpaarteen kestävyys vedolle saadaan kaavasta/7, s. 115/:

$$N_{Rd.1} = \frac{A_3 f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.12)$$

Kaavan tulee täyttää ehto:

$$\frac{N_{Rd.1}}{N_{Sd.2} + N_{Sd.21} \cos \alpha_4} \leq 1,0 \quad (5.13)$$

Yläpaarteen plastinen leikkauskestävyys lasketaan kaavalla: /7, s. 114/

$$V_{pl.Rd.1} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}, \quad (5.14)$$

missä  $A_v = \frac{A_3 h_3}{b_3 + h_3}$

$A_3$  on yläpaarteen poikkileikkausala

$b_3$  on yläpaarteen leveys

$h_3$  on yläpaarteen korkeus

*Leikkauslommahduskestävyys*

Lisäksi tulee tarkistaa yläpaarteen leikkauslommahduskestävyys jos /7, s. 120/

$$\frac{(h_3 - 2t_3)}{t_3} \leq 69 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (5.15)$$

Käytettäessä yksinkertaista ylikriittiseen tilaan perustuvaa menetelmää saadaan yläpaarteen leikkauslommahduskestävyys kaavasta: /9, s. 27/

$$V_{ba.Rd.1} = 2(h_3 - 3t_3)t_3 \frac{\tau_{ba}}{\gamma_{M1}} \quad (5.16)$$

Leikkauslommahdusjännitys  $\tau_{ba}$  saadaan seuraavasti: /7, s. 146/

Kun  $\lambda_w \leq 0,8$

$$\tau_{ba} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \quad (5.17)$$

Kun  $0,8 < \lambda_w < 1,2$

$$\tau_{ba} = [1 - 0,625(\lambda_w - 0,8)] \frac{f_y}{\sqrt{3}} \quad (5.18)$$

Kun  $\lambda_w \geq 1,2$

$$\tau_{ba} = \frac{0,9\sqrt{3}}{\lambda_w f_y} \quad (5.19)$$

Missä  $\lambda_w = \frac{h_3 - 3t_3}{86,4t_3 \sqrt{\frac{235}{f_y}}}$

Yläpaarteen leikkauskestävyyden on täytettävä ehto:

$$\frac{V_{Sd} \cos \alpha_3}{\min(V_{pl.Rd.1}, V_{ba.Rd})} \leq 1,0 \quad (5.20)$$

*Taivutuskestävyys*

Vetodiagonaalin sijainti paarteeseen aiheuttaa yläpaarteeseen taivutusmomentin. Kestävyys taivutusmomenttia vastaan saadaan kaavasta:

$$M_{Rd.1} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.21)$$

Yläpaarre kestää taivutusmomentin kun

$$\frac{e_u V_{Sd.2} \cos \alpha_3}{M_{Rd.1}} \leq 1,0, \quad (5.22)$$

missä  $e_u$  on uumasauvan epäkeskisyys

Leikkausvoiman vaikutus taivutuskestävyyteen tulee huomioida kun paarteessa vaikuttava leikkausvoima on yli puolet yläpaarteeseen leikkauskestävyydestä

( $V_{Sd} > 0,5 \min[V_{pl.Rd.1}, V_{ba.Rd.1}]$ ). Yläpaarteeseen taivutuskestävyys on tällöin /9, s. 37/

$$M_{V.Rd} = \frac{\left( W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{8t_3} \right) f_y}{\lambda_{M0}}, \quad (5.23)$$

missä  $\rho = \left( \frac{2V_{Sd.2}}{\min(V_{pl.Rd.1}, V_{ba.Rd.1})} \right)^2$

*Yhteisvaikutus*

Vetovoiman, leikkausvoiman ja taivutusmomentin yhteisvaikutus tutkitaan kaavalla /9, s. 40/

$$\left( \frac{e_u V_{Sd.2} \cos \alpha_3}{M_{N.Rd}} \right)^\alpha \leq 1,0, \quad (5.24)$$

$$\text{missä } \alpha = \frac{1,66}{1 - 1,13 \left( \frac{N_{Sd.2} + N_{Sd.21} \cos \alpha_4}{N_{V.Rd}} \right)}$$

$$M_{N.Rd} = \min \left[ 1,26 M_{V.Rd} \left( 1 - \frac{(N_{Sd.2} + N_{Sd.21} \cos \alpha_4)}{N_{V.Rd}} \right), M_{V.Rd} \right]$$

$$N_{V.Rd} = (A - \rho A_v) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rho = \left( \frac{2V_{Sd.2} \cos \alpha_3}{\min(V_{pl.Rd.1}, V_{ba.Rd.1})} - 1 \right)$$

### 5.2.3 Pilarin kestävyys

Pistekuorma leviää pilarissa kaltevuussuhteessa 1:α, missä /5, s. 50/

$$\alpha = 1 + \sqrt{m_1 + m_2} \quad (5.25)$$

Apusuureet  $m_1$  ja  $m_2$  saadaan kaavoista: /5, s. 26/

$$m_2 = 0,02 \left( \frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{kun } \bar{\lambda}_F = 0,5, \text{ muulloin } m_2 = 0 \quad (5.26)$$

$$m_1 = \frac{b_f}{t_w} \quad (5.27)$$

Laskennassa käytetään varmalla puolella olevaa olettamusta, että  $m_2 = 0$ . Lauseke 5.12 voidaan sieventää muotoon:

$$\alpha = 1 + \sqrt{\frac{b_f}{t_0}} \quad (5.28)$$

Pistekuorman tehollinen jakaantumisleveys lasketaan kaavasta: /5, s. 27/

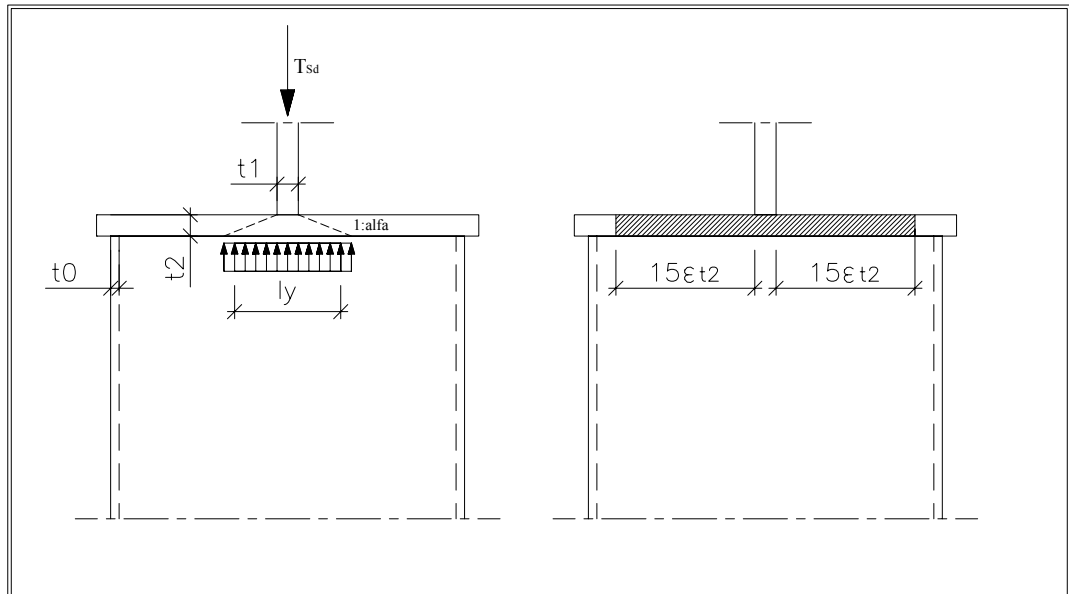
$$l_{y,0} = s_s + 2t_2 \left( 1 + \sqrt{\frac{b_f}{t_0}} \right) \quad (5.29)$$

Tarkastetaan jännitykset putkipilarin seinämissä. Suurilla pilaripoikkileikkauksilla päätylevy ei pysty välittämään pistekuormaa täydellä jakaantumisleveydellä, koska levy joustaa eikä toimi täydellisesti jäykkänä levynä. Tämän takia  $b_f$  tulee rajoittaa arvoon  $15\epsilon t_1$  uuman sisäpuolelta mitattuna (ks. kuva 5.2). Näin ollen laskennassa käytettävä leveys  $b_f$  saa muodon:

$$b_f = \min(b_0, 30\epsilon t_2 + t_1), \quad (5.30)$$

missä  $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ ,

- $b_0$  on pilarin leveys,
- $l$  on rivin leveys ja
- $t_2$  on päätylevyn paksuus



**Kuva 5.2.** Jännitys uumassa.



Koska kuorman jakaantumisleveys  $s_s = t_1$  ja  $b_f$  kaavan 5.30 mukainen, saa kaava 5.29 muodon:

$$l_{y.0} = t_1 + 2t_2 \left( 1 + \sqrt{\frac{\min\left(\frac{b_0}{2}, \frac{l}{2}, 15\epsilon t_2\right)}{t_0}} \right) \quad (5.31)$$

Pilarin uuman kestävyys lasketaan teholliselle pituudelle  $L_{eff}$ , missä /5, s. 25/

$$L_{eff} = \chi_F l_{y.0} \quad (5.32)$$

Kokeellisesti sijoittaen prEN 1993-1-5 kuvan 6.1/tyypin b kaavaan voidaan kuitenkin osoittaa, että kun jäykisteiden väli  $a < h_w$  on aina  $\chi_F = 1$ . Koska tässä tapauksessa  $a$  (uunien välinen etäisyys)  $\ll h_w$  (pilarin pituus) saadaan, että  $L_{eff} = l_y$ . Näin ollen uuman kestävyden mitoitusarvoksi saadaan: /5, s. 25/

$$F_{Rd.h} = \frac{2l_{y.0}t_0f_y}{\gamma_{M1}} \quad (5.33)$$

Pistekuormakestävyden on täytettävä ehto:

$$\frac{T_{Sd}}{F_{Rd.h}} \leq 1,0 \quad (5.34)$$

#### 5.2.4 Liitoksen laippojen vetokestävyys

Yläpään liitoksen laippojen ja pulttien vetokestävyys määritetään T-kappaleiden avulla käyttämällä kaavoja 3.10 - 3.14. Jos vetojännitys yläpaarteessa on suuri, tulee liitoksen kestävyys tutkia tarkempia menetelmiä käyttämällä tai vahvistaa T-liitos vahvikelevyillä.

T-laippa metodissa oletetaan, että myötöviiva muodostuu putkipalkin seinämän kohdalle. Suurilla jännityksillä tämä johtaa kuitenkin vääriin tuloksiin, koska plastinen nivel muodostuu tällöin putkipalkin uumien sisäpuolelle, jolloin liitoksen sisäinen momenttivarsi kasvaa. Plastisen nivelen ja liitokseen syntyvien myötöviivojen tarkka määrittäminen vaatisi vetomurtokokeita tai tarkempia analyysejä.

#### 5.2.5 Yläpaarteen päätylevyn kestävyys

*Yläpaarteen päätylevyn vetojännitys*

Vetojännitys yläpaarteen päätylevyssä lasketaan kaavasta:

$$\delta = \frac{H_{sd}}{A_1}, \quad (5.35)$$

missä  $A_1$  on yläpaarteen poikkileikkausala

Mikäli päätylevy ei ole tehty Z-teräksestä, tulee vetojännitys täyttää kaavan 2.12 mukainen ehto, jotta jännitys ei aiheuttaisi levyn paksuussuuntaista myötäämistä eli lamellirepeytymistä.

*Yläpaarteen päätylevyn palamurtumiskestävyys*

Yläpaarteen päätylevyn palamurtumiskestävyys mitoitusarvo saadaan kaavasta: /7, s. 197/

$$V_{eff.Rd} = \frac{A_{v,eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}, \quad (5.36)$$

missä  $A_{v,eff}$  on tehollinen leikkautumispinta-ala

Tehollinen leikkauspinta-ala lasketaan kaavalla: /7, s. 197/

$$A_{v,eff} = t_4 \cdot L_{veff}, \quad (5.37)$$

missä  $L_{veff} = \min(L_v + L_1 + L_2, L_3)$

$$L_1 = \min(e_2, 5\phi)$$

$$L_2 = (e_3 - 0,5d) \cdot \frac{f_u}{f_y}$$

$$L_3 = \min \left[ L_v + e_1 + e_2, (L_v + e_1 + e_2 - n_1 d) \cdot \frac{f_u}{f_y} \right]$$

Päätylevyn palamurtumiskestävyys on täytettävä ehto:

$$\frac{\max(V_{sd.1}, V_{sd.2})}{V_{eff.Rd}} \leq 1,0 \quad (5.38)$$

*Yläpaarteen päätylevyn reunapuristuskestävyys*

Yläpaarteen päätylevyn reunapuristuskestävyys lasketaan kaavasta: /7, s. 206/

$$F_{b.Rd} = n_1 \cdot 2,5\alpha \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} \phi_2 \cdot t_4, \quad (5.39)$$

missä  $\alpha = \min\left(\frac{e_2}{3d}, \frac{L_v}{3d} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right)$

Päätylevyn reunapuristuskestävyydelle on oltava voimassa ehto:

$$\frac{\max(V_{Sd.1}, V_{Sd.2})}{F_{b.Rd}} \leq 1,0 \quad (5.40)$$

5.2.6 Rivin kestävyys

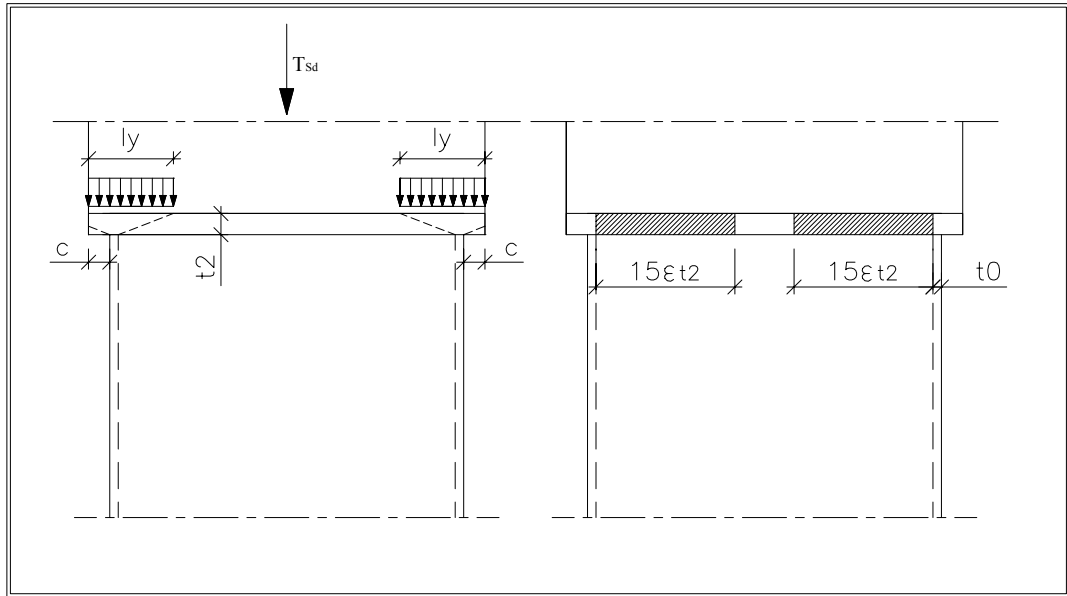
*Rivin puristuskestävyys*

Kuorman jakaantumisleveys kiinnitysriville saadaan kaavan 5.29 ja kuvan 5.2 mukaan seuraavasti:

$$L_{y.1} = t_0 + 2t_2 \left( 1 + \sqrt{\frac{b_{f.p1}}{t_1}} \right), \quad (5.41)$$

Tarkastellaan jännitysten jakaantumista putken seinämästä riville (ks. kuva 5.3). Tällöin leveys  $b_f$  saa muodon:

$$b_{f.p1} = \min\left[\frac{l_p}{2}, 15\epsilon t_2 + t_0\right] \quad (5.42)$$



**Kuva 5.3.** Jännitykset rivassa.

Koska tehollinen kuormitusleveys riippuu ulokkeesta  $c$  (ks. kuva 5.1), saadaan todellinen kuormituksen jakaantuminen kaavasta:

$$l_{y.1} = \begin{cases} L_{y.1} \text{ kun } \frac{L_{y.1}}{2} \leq c \\ \frac{L_{y.1}}{2} + c \text{ muulloin} \end{cases} \quad (5.43)$$

Rivan kestävyden mitoitusarvoksi saadaan:

$$F_{Rd.p1} = \frac{f_y l_{y.1} t_1}{\gamma_{M1}} \quad (5.44)$$

Käyttöaste rivan puristuskestävyydelle on oltava:

$$\frac{0,5T_{Sd}}{F_{Rd.p1}} \leq 1,0 \quad (5.45)$$

*Rivan leikkauskestävyys*

Levyyn syntyy leikkausta kun pilarin eri puolilla olevissa ristikoissa on erisuuruiset sauvavoimat. Levyyn syntyvä leikkausrasitus on levyn eri puolilla vaikuttavien vaakavoimien erotus. Rivan leikkauskestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavasta: /7, s. 118/

$$V_{Rd.p1} = t_1 l \frac{f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} \quad (5.46)$$

Käyttöasteen leikkauskestävyydelle on oltava:

$$\frac{|H_{Sd.1} - H_{Sd.2}|}{V_{Rd.p1}} \leq 1,0 \quad (5.47)$$

*Rivan taivutuskestävyys*

Koska pilarin päähän liittyvän levyn alapää mitoitetaan jäykäksi, aiheuttaa pilarin eri puolilla vaikuttavat erisuuruiset vaakavoimat kiinnitysriipaan taivutusmomentin. Rivan kestävyys taivutusmomentille saadaan määritettyä kaavasta: /7, s. 116/

$$M_{Rd.p1} = \frac{Wf_y}{\gamma_{M0}}, \quad (5.48)$$

missä  $W$  on rivan taivutusvastus,  $W = \frac{lt_1^2}{6}$

Rivan taivutuskestävyyden tulee täyttää ehto:

$$\frac{e_y |H_{Sd.1} - H_{Sd.2}|}{M_{Rd.p1}} \leq 1,0 \quad (5.49)$$

### 5.3 Alapään liitoksen kestävyys

Pilarin ja ristikon alapaarten kestävyys tarkistetaan kaavoilla 3.15 - 3.18. Käyttöaste murtumista vastaan on oltava:

$$\frac{\max(N_{Sd.3}, N_{Sd.4})}{N_{Rd.c}} \leq 1,0, \quad (5.50)$$

missä  $N_{Rd.c}$  on pienin kaavojen 3.15 - 3.18 antamista kestävyysien mitoitusarvoista. Koska pilariin vaikuttaa myös taivutusmomentti, on tarkistettava pilarin kestävyys alapaarteilta tulevalle pisteuormalle ja ulkoisen taivutusmomentin yhteisvaikutukselle: /7, s. 165/

$$\frac{\max(N_{Sd.3}, N_{Sd.4})}{\min(N_{Rd.c1}, N_{Rd.c2}, N_{Rd.c3})} + \frac{|H_{Sd.1} - H_{Sd.2}| h_r}{W_y f_y \frac{1}{\gamma_{M0}}} \leq 1,4 \quad (5.51)$$

### 5.4 Hitsit

*Yläpaarten päätylevyn hitsi*

Yläpaarten päätylevyssä vaikuttaa leikkaus- ja vetojännitys. Jännityskomponentit yläpaarten päätylevyssä saadaan kaavoista:

$$\delta_{\perp.2} = \tau_{\perp.2} = \frac{H_{Sd.1}}{2(h_3 \cos \alpha_3 + b_3) \sqrt{2} \cdot a_2} \quad (5.52)$$

$$\tau_{\parallel.2} = \frac{V_{Sd.2}}{a_2 2h_3 \cos \alpha_3} \quad (5.53)$$

$$\delta_{2,vert} = \sqrt{\tau_{\perp.2}^2 + 3(\tau_{\perp.2}^2 + \tau_{\parallel.2}^2)} \quad (5.54)$$

Yläpaarten hitsin jännityksien on täytettävä ehdot 2.41 ja 2.42.

*Rivan hitsi*

Rivan hitsiin vaikuttavat jännitykset lasketaan liitokseen vaikuttavan normaalivoiman ja leikkausvoiman kautta eli

$$\delta_1 = \tau_1 = \frac{1}{a_1 2l\sqrt{2}} \left( |H_{sd.1} - H_{sd.2}| + V_{sd} \right) \quad (5.55)$$

Mitoitus on varmalla puolella, koska puristetussa T-liitoksessa puristuskuormituksen aiheuttamaa liitoksen ilmaraon pienentymistä ja hitsin muokkaantumista ei tarvitsisi huomioida. Eli toisin sanoen hitsin a-mitan riittävyyden tarkistus voitaisiin suorittaa pelkän leikkauskuormituksen perusteella. /6, s. 23/

Rivan hitsin vertailujännitys lasketaan kaavasta 3.27. Hitsin kestävyys on riittävä kun ehdot 2.41 ja 2.42 ovat voimassa (ks. kappale 2.7 Pohjalevyn hitsien mitoitus).

*Alapaarteen päätylevyn hitsi*

Koska alapaarteessa vaikuttaa suuria voimia, mitoitetaan hitsi tasalujaksi ristikon sauvojen kanssa käyttämällä kaavaa 3.31.

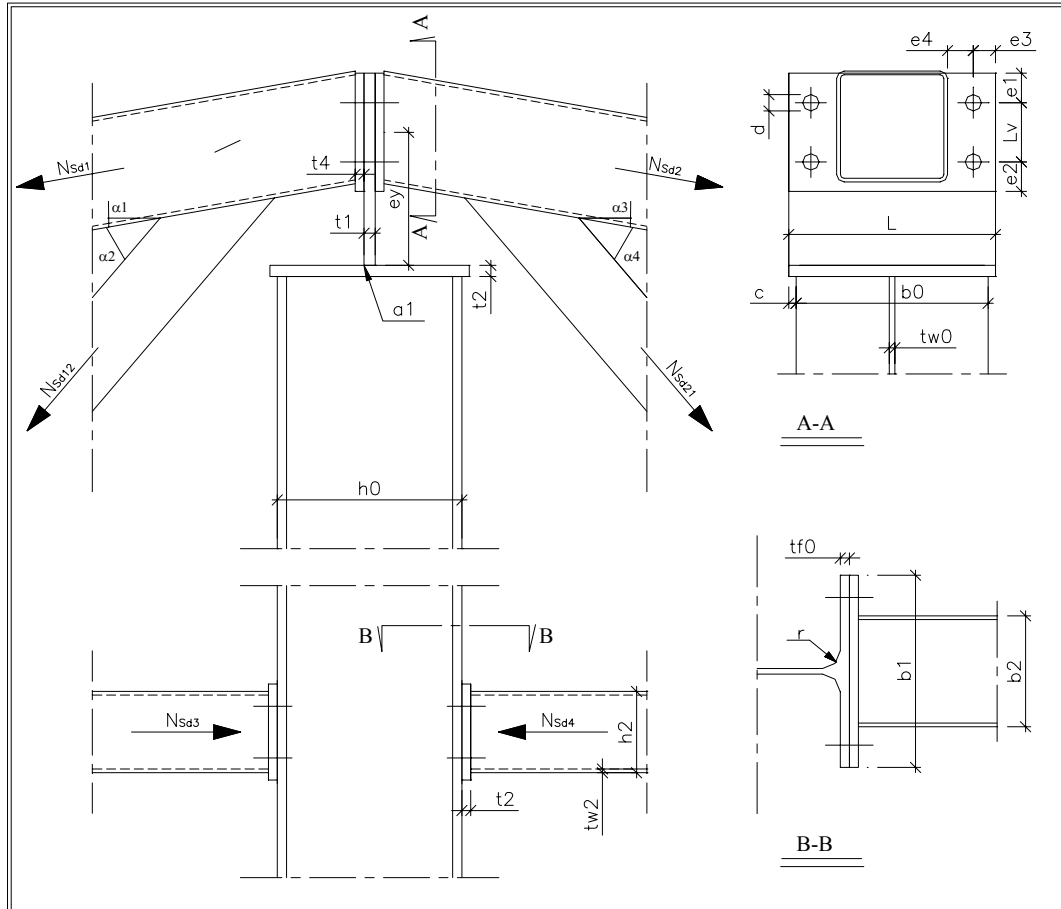
*Alapään liitoslevyn hitsi*

Alapaarteen puristusvoima välittyy pilarille pilariin liittyvän levyn hitsin kautta. Hitsin jännitykset saadaan kaavasta:

$$\delta_1 = \tau_1 = \frac{N_{sd.4}}{\sqrt{2} \cdot a_1 \cdot 2(b_0 + L_{p1})} \quad (5.56)$$



**6 RISTIKON LIITOS KESKEISEEN I – PILARIIN**



**Kuva 6.1.** Ristikon liitos keskeiseen I-pilariin.

Liitoksessa vaikuttavat vaaka- ja leikkausvoimat lasketaan kaavoista 5.1 - 5.6.

## 6.1 Pätevyysalue

Mitoitusohjeet on laadittu keskipilarin ja ristikon liitokselle. Laskennassa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- a. Piloni on kaksoissymmetrinen ja kuuluu poikkileikkausluokkaan 1-3.
- b. Rakenneseosien poikkileikkaus on vakio ja homogeeninen.
- c. Pulttien lujuusluokka on oltava 8.8 tai 10.9.
- d. Liitosrakenteilla on oltava sama teräslaji.
- e. Pilonin päähän liittyvän rivin leveys  $\geq$  pilonin leveys.
- g. Profiilien on oltava kuumavalssattuja.

## 6.2 Yläpään liitoksen kestävyys

Liitoksen yläpään pulttien kestävyys tarkistetaan kaavoilla 5.7 - 5.11.

*Uuman kestävyys puristukselle*

Pistekuorman tehollinen jakaantumisleveys pilonin uumalle saadaan kaavasta 5.29. Koska kuorma jakaantuu pilonin päätylevylle leveydellä  $t_1$  saa kaava muodon:

$$l_{y,0} = t_1 + 2t_2 \left( 1 + \sqrt{\frac{b_0}{t_{w0}}} \right) \quad (6.1)$$

Pilonin uuman kestävyys saadaan kaavasta:

$$F_{Rd,o} = \frac{l_{y,0} t_w f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.2)$$

Kaavan 6.2 on täytettävä ehto:

$$\frac{V_{Sd}}{F_{Rd,0}} \leq 1,0 \quad (6.3)$$

*Rivan kestävyys puristukselle*

Pistekuorman tehollinen jakaantumisleveys rivalle saadaan kaavasta:

$$l_{y,1} = t_{w0} + 2t_2 \left( 1 + \sqrt{\frac{h_0}{t_1}} \right) \quad (6.4)$$

Rivan kestävyys puristusrasitukselle saadaan kaavasta 5.44. Kestävyyden on täytettävä ehto:

$$\frac{V_{Sd}}{F_{Rd,1}} \leq 1,0 \quad (6.5)$$

Yläpään liitos tulee tutkia lisäksi kappaleiden 5.4.1 ja 5.4.2 mukaisesti sekä kaavoilla 5.46 - 5.51.

### **6.3 Alapään liitoksen kestävyys**

*Alapaarteen puristuskestävyys*

Kuorman jakaantumisleveys I - pilarilta paarteelle saadaan kaavasta: /4, s. 91/

$$s_{s,2} = t_{w0} + t_{f0} + 2(2 - \sqrt{2})r \quad (6.6)$$

missä  $t_{w1}$  on pilarin uuman paksuus  
 $t_{f1}$  on pilarin laipan paksuus  
 $r$  on pilarin nurkan sisäpuolinen pyöristyssäde

Tehollinen jakaantumisleveys paarteelle saadaan kaavasta 5.29 seuraavasti:

$$l_{y,2} = s_{s,2} + 2t_3 \left( 1 + \sqrt{\frac{b_{f,2}}{t_{w0}}} \right) \quad (6.7)$$

missä  $b_{f,2} = \min(30\epsilon t_3, b_2)$

Alapaarteen puristuskestävyydeksi saadaan kaavan 5.33 mukaisesti

$$F_{Rd,2} = \frac{f_y l_{y,2} t_{w2}}{\gamma_{M0}} \quad (6.8)$$

Alapaarteen puristuskestävyyden mitoitusarvon on täytettävä seuraava ehto:

$$\frac{\max(N_{Sd,3}, N_{Sd,4})}{F_{Rd,2}} \leq 1,0 \quad (6.9)$$

*Pilarin kestävyys paikalliselle lommahdukselle*

Puristusvoiman jakaantuu alapaarteen päätylevyssä seuraavasti

$$s_{s,0} = t_{w2} + 2t_3, \quad (6.10)$$

missä  $t_{w2}$  on alapaarteen seinämävahvuus  
 $t_3$  on alapaarteen päätylevyn paksuus

Näin ollen tehokas jakaantumisleveys pilarille on

$$l_{y,0} = s_{s,0} + 2t_{f0} \left( 1 + \sqrt{\frac{b_2}{t_{w0}}} \right) \quad (6.11)$$

Laskennassa käytettävä tehollinen leveys  $L_{eff}$  saadaan kaavan 5.32 mukaisesti. Koska pilarin uumassa ei ole jäykisteitä on pilarin uuman lommahduskerroin  $k_F = 3,5$ . Kriittinen voima pilarin uumalle on /4, s. 91/

$$F_{cr} = \frac{0,9k_F E t_w^3}{h_w} \quad (6.12)$$

Reduktiotekijä teholliselle leveydelle saadaan kaavasta: /5, s. 26/

$$\chi_F = \min \left( \frac{0,5}{\lambda_F}, 1 \right), \quad (6.13)$$

missä  $\lambda_F = \sqrt{\frac{l_{y,0} t_{w0} f_y}{F_{cr}}}$

Pilarin paikallinen puristuskestävyys saadaan kaavasta: /5, s. 25/

$$F_{Rd,0} = L_{eff} t_{w0} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (6.14)$$

missä  $L_{eff} = \chi_F l_{y,0}$

Mitoitusehdoksi saadaan: /5 s. 27/

$$\frac{0,5 \max(N_{Sd,3}, N_{Sd,4})}{F_{Rd,0}} \leq 1,0 \quad (6.15)$$

*Normaalivoiman, taivutusmomentin ja pistekuorman yhteisvaikutusehto*

Liitoksessa vaikuttavien normaalivoiman, taivutusmomentin ja pistekuorman yhteisvaikutusehto tarkastetaan kaavan mukaisesti /5, s. 28/

$$\frac{0,5 \max(N_{Sd.3}, N_{Sd.4})}{F_{Rd.0}} + 0,8 \left( \frac{V_{Sd}}{A_c f_y \frac{1}{\gamma_{M0}}} + \frac{|H_{Sd.1} - H_{Sd.2}| h_r}{W_y f_y \frac{1}{\gamma_{M0}}} \right) \leq 1,4 \quad (6.16)$$

missä  $A_c$  on pilarin poikkileikkausala

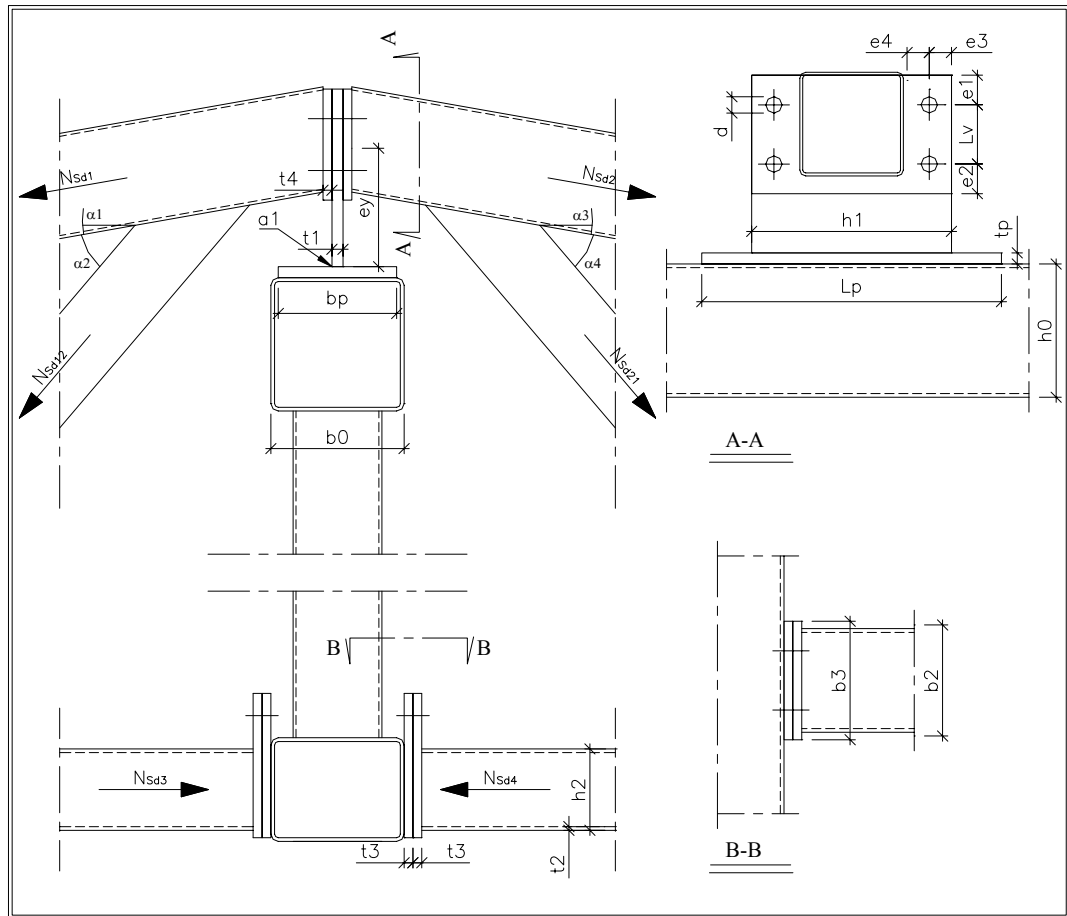
$W_y$  on pilarin taivutusvastus y-akselin ympäri

$h_r$  on ristikon korkeus

## 6.4 Hitsit

Rivan hitsin kestävyys tarkastetaan kuten kohdassa 5.6.

7 SEKUNDÄÄRIRISTIKON LIITOS PRIMÄÄRIRISTIKKOOON, TYYPPI A



**Kuva 7.1.** Sekundääriristikon liitos primääriristikkoon, tyyppi A.

Liitoksessa vaikuttavat vaaka- ja leikkausvoimat lasketaan kaavoista 5.1 - 5.6.

## 7.1 Pätevyysalue

Mitoitusohjeet on laadittu sekundääriristikon ja primääriristikon liitokselle. Laskennassa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- a. Poikkileikkaukset ovat kaksoissymmetrisiä.
- b. Poikkileikkaukset kuuluvat poikkileikkausluokkaan 1-3.
- c. Rakenneosien poikkileikkaus on vakio ja homogeeninen.
- d. Pulttien lujuusluokka on oltava 8.8 tai 10.9.
- e. Liitosrakenteilla on oltava sama teräslaji.
- f. Primääriristikon paarteeseen liittyvän rivin leveys  $\geq$  paarteen leveys.
- g. Profiilien on oltava kuumavalssattuja.
- h. primääriristikon yläpaarre on vahvistettu.

Lisäksi liitoksessa on oltava voimassa ehdot E3.1 – E3.9.

## 7.2 Yläpään liitoksen kestävyys

Liitoksen yläpään pulttien kestävyys tarkistetaan kaavoilla 5.7 - 5.11.

### 7.2.1 Sekundääriristikon päätylevyn kestävyys

Lamellirepeytymävaaran vuoksi yläpaarteen vetojännityksen on täytettävä kaavan 2.12 mukainen ehto, ellei levyille muun laadunvalvonnan ohella taataan paksuussuuntaisella vetosauvalla mitatuksi murtokuroutuman arvoksi vähintään 25 %.

Lisäksi liitoksen tulee täyttää kaavojen 5.36 - 5.40 mukaiset ehdot. Laippojen kestävyys tarkistetaan T-kappaleiden avulla kappaleen 5.4.3 mukaisesti.



### 7.2.2 Rivin kestävyys

Primääriristikon yläpaarteeseen liittyvän rivin kestävyys tarkistetaan leikkaus- ja taivutusvoimalle (kaavat 5.48 - 5.51) ja yläpaarteen päätylevy reunapuristus- ja palamurtumiskestävyydelle (kaavat 5.36 - 5.40)

Pystyvoimat aiheuttavat primääriristikon yläpaarteeseen liittyvään levyyn tasaisen puristuksen. Levyn puristuskestävyys saattaa liitoksessa tulla mitoittavaksi kun  $2t_0 > t_1$ . Rivin puristuskestävyys lasketaan kaavasta: /7, s. 116/

$$F_{Rd,p1} = \frac{f_y h_1 t_1}{\gamma_{M0}} \quad (7.1)$$

Rivin puristuskestävyyden on täytettävä ehto:

$$\frac{V_{Sd}}{F_{Rd,p1}} \leq 1,0 \quad (7.2)$$

Rivin hitsin kestävyys ristikon paarteessa tarkastetaan kuten kohdassa 5.6.

### 7.2.3 Primääriristikon yläpaarteen kestävyys

Primääriristikon yläpaarteen kestävyys pinnan myötäämistä vastaan saadaan kaavasta: /9, s. 313/

$$N_{Rd,21} = \frac{f_y t_p^2}{1 - \frac{t_1}{b_p}} \left( 2 \frac{h_1}{b_p} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_1}{b_p}} \right) \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \gamma_{M0}} \quad (7.3)$$

Primääriristikon yläpaarteen kestävyys uuman lommahdusta tai myötöä vastaan saadaan kaavasta: /9, s. 317/

$$N_{Rd.22} = f_b t_0 (2h_1 + 10t_0) \frac{1,1}{\lambda_{Mj} \gamma_{M0}}, \quad (7.4)$$

missä  $f_b$  on paarteen uuman lommahduslujuus

Paarteen uuman lommahduslujuus saadaan laskettua käyttäen T-liitoksen kaavaa. Pilarin uuman nurjahduslujuus saadaan kaavasta: /9, s. 317/

$$f_b = \chi \cdot f_y \quad (7.5)$$

$$\text{missä } \chi = \min\left(\frac{1}{s_m + \sqrt{s_m^2 - \lambda_m^2}}, 1\right) \quad (7.6)$$

$$s_m = 0,5[1 + 0,49(\lambda_m - 0,2) + \lambda_m^2] \quad (7.7)$$

$$\lambda_m = 3,46\left(\frac{h_0}{t_5} - 2\right) \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (7.8)$$

Primääriristikon yläpaarteen kestäminen leikkauslävistymistä vastaan saadaan kaavasta: /9, s. 317/

$$N_{Rd.23} = \frac{f_y t_p}{\sqrt{3}} (2h_1 + 2b_{ep}) \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \gamma_{M0}} \quad (7.9)$$

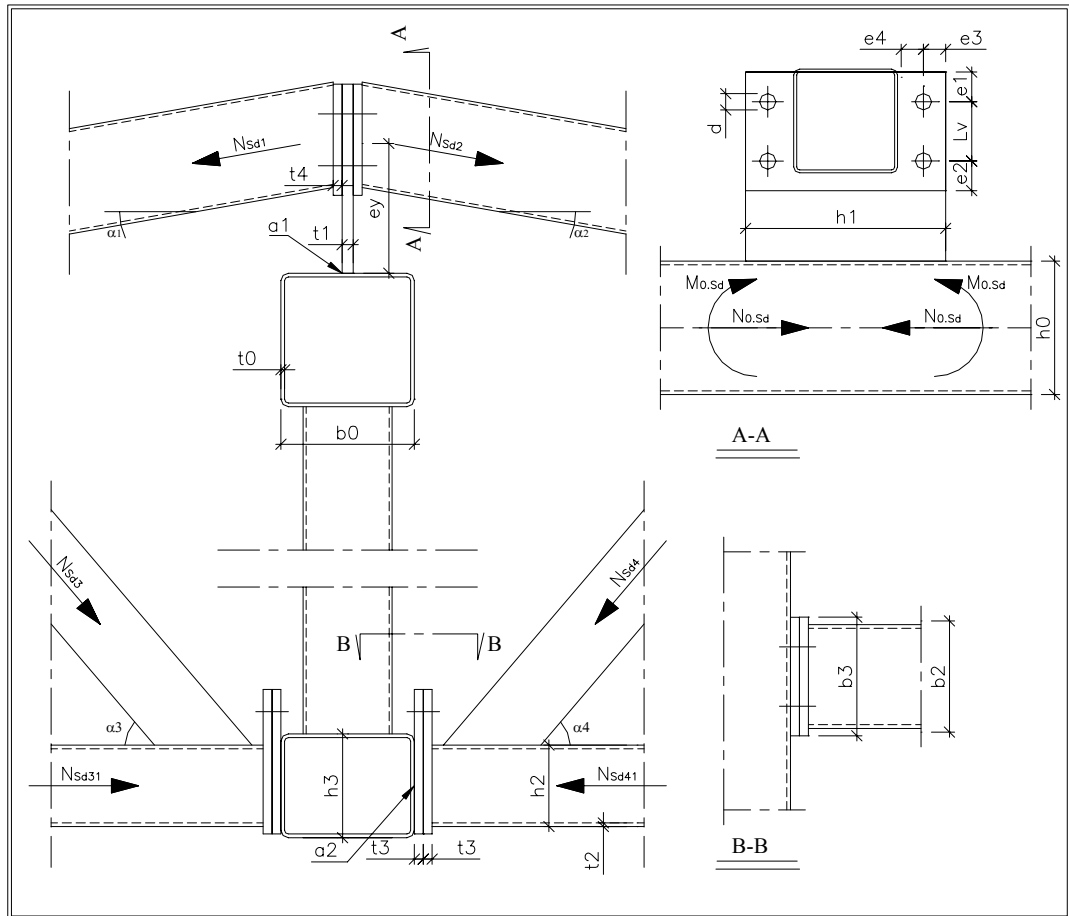
Käyttöaste liitoksen murtumista vastaan on oltava:

$$\frac{V_{Sd.2}}{\max(N_{Rd.21}, N_{Rd.22}, N_{Rd.23})} \leq 1,0 \quad (7.10)$$

### 7.3 Alapään liitoksen kestävyys

Alapään liitoksen kestävyys tarkistetaan kaavoilla 3.15 - 3.18. Liitoksen on täytettävä kaavan 5.50 mukainen ehto.

## 8 SEKUNDÄÄRIRISTIKON LIITOS PRIMÄÄRIRISTIKKOOON, TYYPPI B



**Kuva 8.1.** Sekundääriristikon liitos primääriristikkoon, tyyppi B.

Laskennassa käytettävät voimasuureet saadaan määritettyä kuvasta 8.1 seuraavasti:

Vaakavoimat

$$H_{Sd.1} = N_{Sd.1} \cdot \cos \alpha_1 \quad (8.1)$$

$$H_{Sd.2} = N_{Sd.2} \cdot \cos \alpha_2 \quad (8.2)$$

$$H_{Sd.3} = N_{Sd.31} + N_{Sd.3} \cdot \cos \alpha_3 \quad (8.3)$$

$$H_{Sd.4} = N_{Sd.41} + N_{Sd.4} \cdot \cos \alpha_4 \quad (8.4)$$

Leikkausvoimat

$$V_{Sd.1} = N_{Sd.1} \cdot \cos(90^\circ - \alpha_1) \quad (8.5)$$

$$V_{Sd.2} = N_{Sd.2} \cdot \cos(90^\circ - \alpha_2) \quad (8.6)$$

$$V_{Sd.3} = N_{Sd.3} \cdot \cos(90^\circ - \alpha_3) \quad (8.7)$$

$$V_{Sd.4} = N_{Sd.4} \cdot \cos(90^\circ - \alpha_4) \quad (8.8)$$

## 8.1 Pätevyysalue

Mitoitusohjeet on laadittu sekundääriristikon ja primääriristikon liitokselle. Laskennassa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- a. Poikkileikkaukset ovat kaksoissymmetrisiä.
- b. Poikkileikkaukset kuuluvat poikkileikkausluokkaan 1-3.
- c. Rakenneosien poikkileikkaus on vakio ja homogeeninen.
- d. Pulttien lujuusluokka on oltava 8.8 tai 10.9.
- e. Liitosrakenteilla on oltava sama teräslaji.
- f. Primääriristikon paarteeseen liittyvän rivin leveys  $\geq$  paarteen leveys.
- g. Profiilien on oltava kuumavalssattuja.

Lisäksi liitoksessa on oltava voimassa ehdot E3.1 – E3.13.

## 8.2 Yläpään liitoksen kestävyys

Liitoksen yläpään pulttien kestävyys tarkistetaan kaavoilla 5.7 - 5.11.

### 8.2.1 Sekundääriristikon päätylevyn kestävyys

Sekundääriristikon päätylevy mitoitetaan kuten kohdassa 7.4.1

### 8.2.2 Rivan kestävyys

Rivan puristuskestävyys ei tule liitoksessa määrääväksi, koska parre heikompana murtuu ennen liitoksen murtumista. Liitoksen on täytettävä kaavojen 5.46 - 5.51 ja 3.10 - 3.14 mukaiset ehdot.

### 8.2.3 Primääriristikon yläpaarteen kestävyys

Primääriristikon yläpaarteen kestävyys pinnan myötäämistä vastaan saadaan kaavasta: /9, s. 313/

$$N_{Rd,21} = \frac{f_y t_0^2}{1 - \frac{t_1}{b_0}} \left( 2 \frac{h_1}{b_0} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_1}{b_0}} \right) k_m \frac{1,1}{\gamma_{Mj} \gamma_{M0}} \quad (8.9)$$

Liitoksen kestävyuden pienennyskerroin  $k_m$  saadaan puristetussa yläpaarteessa kaavalla: /9, s. 313/

$$k_m = \min[1.3(1 - n), 1], \quad (8.10)$$

$$\text{missä } n = \frac{\gamma_{M0} \gamma_{Mj}}{1,1} \left( \frac{N_{0.Sd}}{A_0 f_y} + \frac{M_{0.Sd}}{W_0 f_y} \right)$$

Kaavan 9.9 on täytettävä ehto:

$$\frac{V_{Sd,1} + V_{Sd,2}}{N_{Rd,21}} \leq 1,0 \quad (8.11)$$

Jos kaavan 8.11 mukainen ehto ylittyy, voidaan liitoksessa käyttää vahvikelevyä. Vahvikelevyä käytettäessä liitoksen kestävyys lasketaan kaavoilla 7.3 -7.10.

### 8.3 Alapään liitoksen kestävyys

Alapään liitoksen kestävyys lasketaan kaavoilla 3.15 – 3.18. Liitoksen on täytettävä ehto:

$$\frac{\max(H_{Sd.3}, H_{Sd.4})}{\max(N_{Rd.c1}, N_{Rd.c2}, N_{Rd.c3}, N_{Rd.2})} \leq 1,0 \quad (8.12)$$

Lisäksi alapaarteen kestävyys on tarkistettava liitoksessa vaikuttavalle leikkausvoimalle ja uumasauvan epäkeskisyydestä aiheutuvalle taivutusmomentille sekä näiden yhteisvaikutukselle kappaleen 5.4.1 mukaisesti.

### 8.4 Hitsit

Yläpaarteessa vaikuttavat jännityskomponentit saadaan kaavoista 5.52 - 5.54. Rivan hitsin jännitys ristikon paarteessa voidaan laskea kaavasta:

$$\delta_1 = \tau_1 = \frac{|H_{Sd.1} - H_{Sd.2}|}{a_1 2h_1 \sqrt{2}} \quad (8.13)$$

Alapaarteen ja päätylevyn liitos mitoitetaan täyslujaksi (ks. kaava 3.31). Voiman suuntaiset sivut ( $2h_3$ ) kantavat koko leikkausrasituksen. Maksimi leikkausjännitys alapään liitoksen hitsissä saadaan kaavasta: /6, s. 28/

$$\delta_2 = \tau_2 = \frac{\max(V_{Sd.3}, V_{Sd.4})}{a_2 2h_3} \quad (8.13)$$

Hitsin vertailujännitys lasketaan kaavan 3.27 mukaisesti. Hitsien kestävyudet ovat riittävät kun ehdot 2.41 ja 2.42 on voimassa.

## 9 YHTEENVETO

Tässä työssä esitettiin mitoitusohjeet seuraaville liitoksille: peruspulttiliitos, ristikon liittyminen reunapilariin (putkipilari), ristikon liittyminen keskeiseen I- ja putkipilariin sekä jatkuvan sekundaariristikon liittyminen primääriristikkoon. Liitokset rajoitettiin yrityksen käytössä olevien COP- ja JOINT-liitosmitoitushjelmien ulkopuolelle.

Laadittujen mitoitusmenetelmien ja -kaavojen pohjalta laadittiin yrityksen sisäiseen käyttöön liitosmitoitushjelmat. Ohjelmat tehtiin Mathsoftin MathCad-ohjelmistolla. Mitoitusohjelmat antavat liitoksen eri osien käyttöasteet syötetyn rasitustilan mukaan. Laadituilla ohjelmilla voidaan määrittää liitosten levyosien, pulttien ja hitsien kapasiteetit ja vaaditut minimiarvot. Mitoitusohjelmien käyttämät kaavat on esitetty tässä raportissa. Kirjallisen osan on tarkoitus toimia myös mahdollisen käsinlaskennan tukena.

Eurocode 3:ssa peruspulttiliitoksia koskevat ohjeet ovat puutteelliset. Ne vaativatkin kehittelyä, jotta peruspulttiliitokset voitaisiin mitoittaa puhtaasti euronormin mukaisesti. Tässä tutkintotyössä euronormin antamia ohjeita sovellettiin suomalaisiin mitoitusohjeisiin.

Eurocodessa ei ole annettu ohjeita vedetylle laippaliitokselle. Tutkintotyössä laippaliitokseen sovellettiin Eurocode 3:n mukaista T-laippa metodia, joka tarkastelee liitosta vain yksiulotteisesti olettaen, että myötöviiva muodostuu putkipalkin seinämän kohdalle. Suurilla jännityksillä plastisen nivelen paikka voi kuitenkin muodostua putkipalkin uumien sisäpuolelle. Plastisen nivelen ja myötöviivojen määrittämiseksi täytyisi tehdä tarkempia analyysejä.

Kehitystä vaatii myös tutkintotyön yhteydessä laaditut mitoitusohjelmat. Käyttöliittymä tulisi laatia käyttäjäystävällisemmäksi siten, että ohjelma hakee poikkileikkausarvot annetun profiilityypin mukaan kirjastosta. Tällöin syötettävien suureiden määrä vähenisi merkittävästi.

## LÄHTEET

1. Betoninormit by 50. 2004.
2. Kinnunen, Jukka – Saarinen, Eero – Tiira, Seppo – Ulvinen, Seppo – Väänänen, Eino. Teräsrakenteiden suunnittelu, liitossovelluksia, osa 5. Teräsrakenne - CD 2004.
3. Kinnunen, Jukka – Saarinen, Eero – Tiira, Seppo – Ulvinen, Seppo – Väänänen, Eino. Teräsrakenteiden suunnittelu, teräsrakenteiden liitokset, osa 4. Teräsrakenne - CD 2004.
4. Lehtinen, Ilkka. Hitsatut profiilit. Teräsrakenneyhdistys ry. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2000.
5. prEN 1993-1-5 Eurocode 3: design of steel structures, part 1-5: plated structural elements. European Committee of Standardisation CEN. 15 August 2002.
6. SFS 2373 Hitsaus, staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus- ja lujuuslaskenta. Metalliteollisuuden Standardisoimiskeskus TES 1980
7. SFS-ENV 1993-1-1. Eurocode 3: teräsrakenteiden suunnittelu, osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS 1993
8. Teräspeikko Oy: [www.peikko.com](http://www.peikko.com)
9. Vainio, Hannu. Rautaruukin putkipalkkikäsikirja. Rautaruukki Oyj. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2000.