

BETONISAUMAT

Laskentaperiaatteet ja eurokoodien
mukainen sovellusohjelma

Hannu Rainamo

Opinnäytetyö
Helmikuu 2010

Rakennustekniikka
Tekniikan ja liikenteen ala





| | | |
|--|----------------------------------|---|
| Tekijä(t) RAINAMO, Hannu | Julkaisun laji Opinnäytetyö | Päivämäärä 25.02.2010 |
| | Sivumäärä 87 | Julkaisun kieli Suomi |
| | Luottamuksellisuus () saakka | Verkojulkaisulupa myönnetty (X) |
| Työn nimi BETONISAUMAT | | |
| Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma | | |
| Työn ohjaaja(t) KONTTINEN, Jukka, lehtori | | |
| Toimeksiantaja(t) Controlteam Oy Mika Sampala | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tehtävänä oli luoda yhteistyössä Controlteam Oy:n kanssa betonielementtien- ja betonityösaumojen luotettavat laskentaohjelmat pohjautuen eurokoodin mukaisiin normeihin. Projekti tehtiin aliprojektina SKOL ry:lle, joka toimii pääorganisoijana projektissa. Hanke aloitettiin 25.6.2008 ja opinnäytetyön tekijä liittyi 1.2.2009 mukaan. Koko projektin päätavoitteena on jakaa käytännön rakennesuunnitteluun soveltuvat, riittävän tasokkaat ja virheettömät sovellukset hankkeeseen osallistuvien osapuolten käyttöön 1.4.2010 mennessä, jolloin eurokoodien käyttöönotto astuu voimaan.</p> <p>Ohjelmistojen pohjana toimii Excel-taulukkolaskentaohjelma, jonne käyttäjä eri lähtöarvoja syötettyään saa luotettavan sauman leikkauskapasiteettituloksen. Tavoitteena oli tehdä mahdollisimman helpokäyttöinen, selkeä ja johdonmukainen ohjelma.</p> <p>Ohjelmistojen lisäksi otettiin selvää rakentamisen eri saumatyypeistä ja näitä koskevista laskentatavoista.</p> <p>Tuloksena syntyivät käyttäjäystävälliset laskentaohjelmat työsaumoilla ja betonielementtirakenteille. Laskentaohjelmat laskevat sauman leikkauskapasiteetit.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) Betonisaumat, julkisivusaumat, työsaumat, vaijerilenkit | | |
| Muut tiedot | | |



| | | |
|--|--|--|
| Author(s) RAINAMO, Hannu | Type of publication Bachelor's Thesis | Date 25.02.2010 |
| | Pages 87 | Language Finnish |
| | Confidential () Until | Permission for web publication (X) |
| Title CONCRETE JOINTS | | |
| Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering | | |
| Tutor(s) KONTTINEN, Jukka, Senior Lecturer | | |
| Assigned by Controlteam Oy Mika Samppala | | |
| Abstract <p>The task of this thesis was to create two reliable concrete element joint calculation softwares based on eurocodes in co-operation with Controlteam Oy. The project was carried out as a subproject to SKOL, The Finnish Association of Consulting Firms, which was the main organizer in this project. The project was started on the 25th of June, 2008, and the author of this thesis joined in the project on the 1st of February, 2009. The main objective of this whole project is to supply the participants in the project with applications which are of good usability and quality and faultless by the first of April, 10, when eurocodes will be taken into use.</p> <p>The base of these softwares is an Excel spreadsheet where the user, after inputting some starting values, gets a reliable result of the shear capacity of the joint. The goal of this was to make as easy-to-use, clear and logical software as possible.</p> <p>The author also studied and determined the basics of different concrete joints used in construction and their different calculation methods.</p> <p>As a result, user friendly calculation softwares for some concrete loop connection systems and element joints were created. With the softwares, the shear capacity of the joint can be calculated.</p> | | |
| Keywords Concrete joint | | |
| Miscellaneous | | |

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| MÄÄRITELMÄT | 3 |
| 1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT | 5 |
| 2 ELEMENTTIRAKENTEIDEN SAUMAT | 7 |
| 2.1 Keskeisesti puristettu betonisauma..... | 7 |
| 2.2 Seinien liitokset | 11 |
| 2.3 Seinän ja laatan väliset liitokset..... | 12 |
| 2.4 Laatatot..... | 14 |
| 2.5 Puristusvoimia siirtävät liitokset | 16 |
| 2.6 Taivutusmomentteja tai vetovoimia siirtävät liitokset..... | 17 |
| 2.7 Saumojen palomitoitus | 18 |
| 2.8 Puristus- ja leikkausvoiman rasittama betonisauma..... | 18 |
| 2.9 Betonivaarnasauma..... | 20 |
| 2.10 Palkkien ja pilareiden liitokset | 22 |
| 2.11 Seinä- ja laattaelementtien väliset liitokset | 23 |
| 2.12 Seinäelementtien pystyliitokset | 24 |
| 2.13 Seinäelementtien vaakaliitokset | 25 |
| 2.14 Betonielementtisauma | 25 |
| 2.15 Juotosbetonoinnin yleisiä ohjeita..... | 25 |
| 2.16 Väli pohjan toiminta vaakasuorana levynä..... | 27 |
| 2.16.1 Rengasankkurit..... | 27 |
| 2.16.2 Saumojen leikkausjännitykset..... | 28 |
| 3 PAIKALLAVALURAKENTEET | 29 |
| 3.1 Työsaumat | 29 |
| 3.2 Työsauman leikkauskestävyys ja lujuus..... | 32 |
| 3.3 Työsaumaraudoitukset..... | 33 |
| 3.4 Terästankojen vaarnavaikutus leikkaantumisessa | 34 |
| 4 JULKISIVUSAUMAT..... | 35 |
| 4.1 Elementtien saumat ja saumaaineet | 35 |
| 4.2 Sandwich-elementti | 36 |
| 4.3 Eriytetty julkisivu | 36 |
| 4.4 Julkisivuelementtien sauma | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4.1 | Julkisivusaumaukset elastisilla saumaussmassoilla..... | 38 |
| 4.4.2 | Sauman keskeisimmät laatutekijät | 39 |
| 4.4.3 | Käytettävät materiaalit | 39 |
| 4.4.4 | Saumaussmassan valinta..... | 39 |
| 4.4.5 | Saumaussajankohta sekä olosuhteet | 40 |
| 4.4.6 | Saumattavat pinnat | 41 |
| 4.4.7 | Saumarakenne | 42 |
| 4.4.8 | Työtekniikat | 43 |
| 4.4.9 | Toteuttaminen alkaa suunnittelulla | 43 |
| 5 | SAUMARAUDOITTEET..... | 44 |
| 5.1 | Saumaraudoitusten yleisiä ohjeita | 44 |
| 5.2 | Vaijerilenkit | 44 |
| 5.2.1 | Vaijerilenkkien teknisiä tietoja..... | 44 |
| 5.2.2 | Toimintatapa..... | 45 |
| 5.2.3 | Käyttö | 45 |
| 5.2.4 | Kapasiteetit ja sallitut kuormat..... | 47 |
| 5.2.5 | Asentaminen..... | 51 |
| 5.3 | Ontelolaatastojen saumaraudoitteet..... | 52 |
| 6 | SKOL-HANKE | 53 |
| 6.1 | Lähtökohdat | 53 |
| 6.2 | Hankkeen organisointi..... | 54 |
| 6.3 | Työprosessin kuvaus..... | 55 |
| 6.4 | Työnjako | 56 |
| 6.5 | Laskentapohjan määrittely..... | 56 |
| 6.6 | Laskentapohjan määrittelyn hyväksyminen | 56 |
| 6.7 | Proton suunnittelu ja hyväksyminen..... | 57 |
| 6.8 | Toteutus ja yksikkötestaus..... | 57 |
| 6.9 | Varmennustestaus | 57 |
| 6.10 | Laskentapohjan hyväksyminen..... | 58 |
| 6.11 | Laskentapohjan viimeistely ja paketointi | 58 |
| 7 | POHDINTA | 59 |
| | LÄHTEET | 63 |
| | LIITTEET..... | 65 |

MÄÄRITELMÄT

Elementtirakenteet

Valmistetaan muualla kuin lopullisessa paikassaan rakenteessa. Elementtirakenteessa elementit yhdistetään toisiinsa, jotta vaadittu rakenteellinen kokonaisuus saavutetaan (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 10).

Eriytetty julkisivurakenne

Rakenteessa ulkoseinän kuoret rakennetaan erikseen.

Laatta

On rakenneosa, jonka sivumitta on vähintään viisi kertaa laatan kokonaispaksuus (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 49).

Levyrakenne

Tasomainen rakenneosa, johon kohdistuu tasossa vaikuttavia voimia. Se voi koostua useista esivalmistetuista osista, jotka työmaalla yhdistetään toisiinsa. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 134.)

Kimrokerroin

Osoittaa kuinka voimakkaasti kyseinen aine vastustaa muodonmuutosta (By 201, betonitekniikan oppikirja 2004, 87).

Kimmomoduli

On ainevakio joka kertoo jännityksen ja suhteellisen venymän suhteen.

Liittorakenneosa

Rakenneosa, joka muodostuu työmaalla valettavasta betonista ja betonivalmisosasta liittoraudoituksella tai ilman (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 134).

Paikallavalurakenteet

Ovat työmaalla valettavia betonirakenteita.

Palkki

Vaakasuora rakenneosa kahden tuen välillä. Palkki on rakenneosa, jonka jännemitta on vähintään kolme kertaa poikkileikkauksen korkeuden arvo. Muuten se on seinämäinen palkki. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 49.)

Pilari

Pystysuora vapaasti seisova pystytuki, joka on poikkileikkaukseltaan yleensä nelikulmainen tai pyöreä. Pilari on rakenneosa, jonka poikkileikkauksen suurempi sivumitta on enintään neljä kertaa sen pienempi sivumitta ja pituus on vähintään kolme kertaa poikkileikkauksen suurempi sivumitta. Muuten se on seinä. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 49.)

Raudoittamattomat tai vähän raudoitetut betonirakenneosat

Kantavia betonisia rakenneosia, joissa ei ole mekaanisesti toimivaa raudoitusta (raudoittamaton betoni) tai joissa on raudoitusta vähemmän kuin minimivaatimus määrää rakenteelle (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 10).

Työsauma

Kahden eri aikaan valettavan betonirakenteen välinen sauma.

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

Eurokoodit ovat ympäristöministeriön asettamat uusia kantavia rakenteita koskevia määräyksiä, jotka tulevat voimaan 1.4.2010. Määräykset pohjautuvat eurooppalaisiin standardeihin, joihin on lisätty kansalliset liitteet eli NA:t (national annex). Tällä hetkellä olevista kansallisista määräyksistä on tarkoitus luopua 1.4.2010 mennessä. Eurokoodisarja koostuu tällä hetkellä 58:sta osasta.

Uudet eurokoodien määräykset ovat haaste suomalaisille rakennusyrityksille ja suunnittelutoimistoille. Määräykset aiheuttavat koulutuksellisia, teknisiä ja taloudellisia paineita yrityksille ja järjestöille. Eurokoodien käyttöönottoa voidaan suunnittelutoimistojen osalta helpottaa tekemällä virheettömät laskentapohjat käyttäjiä varten. Näiden avulla voidaan laskea yleisimmistä ja käytetyimmistä rakenteista rakennelaskelmat. Tämä helpottaa osaksi eurokoodien mukaisten laskelmien tarkastelua.

Opinnäytetyöni aiheen/ehdotuksen sain insinööritoimisto Controlteam Oy:ltä. Aiheita valittaessa pidin hyvin tärkeänä opinnäytetyön mielenkiintoisuutta ja hyödyllisyyttä myös toimistolle itselleen. Tämän lisäksi itseäni kiinnostivat aiheet, joissa pääsisi käyttämään tietokoneohjelmia. Controlteamin työntekijä kuuli mahdollisuudesta päästä mukaan SKOL-projektiin, jossa oli mukana monia muita opinnäytetyön tekijöitä. Laskentaohjelman teko kuulosti mielenkiintoiselta, haastavalta ja molempia osapuolia hyödyttävältä. Aihe ei siis olisi pelkästään itseäni hyödyttävä vaan toimisto saisi tämän avulla monia muita eurokoodiin liittyviä laskentaohjelmia, joista varmasti on hyötyä tulevaisuudessa. Betonirakennetyöryhmällä oli vapaita aiheita ja valitsin näistä vapaista työsauman leikkauskapasiteetti- ja betonielementtirakenteiden välisien saumojen ohjelman teon.

Nykyisin rakentaminen on keskittynyt hyvin useasti elementtirakenteisiin, jossa elementit liitetään toisiinsa saumoilla. Saumat ovat rakennuksen heikoimpia epäjatkuvuuskohtia, ja täten niihin täytyy keskittyä erityisen huolellisesti. Saumat jakavat

kuormat elementiltä toisella ja kaikki kuormat, jotka saumaan kohdistuvat on pystytävä viemään elementiltä sauman yli toiselle elementille. Saumojen on täytettävä samat rakennevaatimukset kuin mitä ympäröiviltä rakenteilta vaaditaan.

Nykyisin rakennuksen runko halutaan jäykistää laattaelementtien, pilareiden, porraskäytävien ja seinien avulla, jolloin näiden elementtien välisten saumojen täytyy kestää niille tulevat rasitukset. Rasitusten ottaminen vastaan ja välittäminen eteenpäin saumoissa tapahtuu yleisimmin harjaterästen, vaijerilenkkien ja betonin avulla. Eri-laisilla betoneilla, betonipinnoilla ja raudoituksilla on vaikutusta saumojen lujuuteen ja kestävyysiin.

Rakennuksessa on myös työsaumoja ja julkisivuelementtien saumoja, joissa täytyy ottaa sauman venymiskyky ja koko huomioon. Kaikki nämä asiat vaikuttavat rakennuksen pitkäaikaiskäyttöikään. Mitä paremmin asiat on otettu huomioon jo suunnitteluvaiheesta rakentamiseen asti, sitä pidempi käyttöikä rakennuksella on.

2 ELEMENTTIRAKENTEIDEN SAUMAT

Betonisaumat ottavat vastaan ja siirtävät sekä puristusvoimaa että leikkausvoimaa. Betoninormien mukaan jälkivalettavan vaakasauman tulee olla vähintään 20 mm paksu, yläpuolisen juotosvalun vähintään 50 mm ja alapuolisen juotosvalun vähintään 20 mm. Eurokoodi ei ota saumojen paksuuteen kantaa. Saumat merkitään yleensä niin, että saumattavien elementtien poikkileikkaus puristetussa suunnassa on $A_e = a \times b$, missä a on pienempi sivumitta ja b suurempi sivumitta. (Leskelä, M. 2008, 559.)

2.1 Keskeisesti puristettu betonisauma

Tämän kappaleen tiedot pohjautuvat lähteeseen By 210, betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008, 559-560. Jos sauman paksuus t_j on enintään 10% saumattavan betonielementin poikkileikkauksen pienemmästä sivumitasta a , niin liitoksen tehollinen puristuslujuus lasketaan kaavasta $f_{cd,j} = f_{cd}$, eli sauman tehollinen puristuslujuus on sama kuin saumattavien elementtien mitoituslujuus (kaava 1). Jos $t_j > a/2$, $f_{cd,j} \approx f_{cd,mc}$ eli jos sauman paksuus on suurempi kuin puolet pienemmästä sivumitasta, niin liitoksen tehollinen puristuslujuus on suunnilleen sama kuin saumabetonin mitoituslujuus (kaava 2).

Muussa tapauksessa liitoksen tehollinen lujuus $f_{cd,j}$ lasketaan yhdistelemällä elementin betonin lujuutta f_{cd} ja saumabetonin lujuutta $f_{cd,mc}$ (kaava 3):

$$f_{cd,j} = f_{cd}, \text{ kun } t_j \leq a/10, \quad (1)$$

$$f_{cd,j} \approx f_{cd,mc}, \text{ kun } t_j \geq a/2, \quad (2)$$

$$f_{cd,j} = f_{cd} - \left(1 - \frac{a}{10t_j}\right)^2 \times (f_{cd} - f_{cd,mc}), \text{ kun } a/10 < t_j < a/2 \quad (3)$$

missä

f_{cd} on saumattavien elementtien mitoituslujuus

$f_{cd,mc}$ on saumabetonin mitoituslujuus

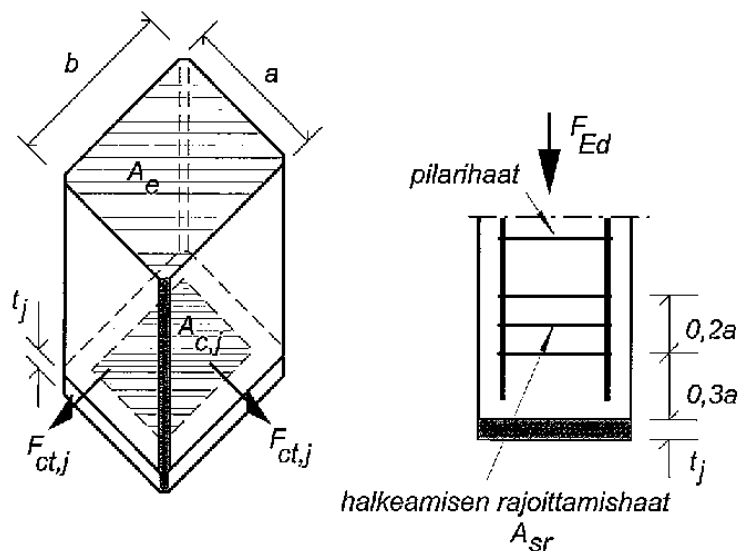
a on pienin poikkileikkausmitta elementtien saumassa

t_j on saumabetonin paksuus.

Sauman puristuskestävyys F_{rd} lasketaan ottaen huomioon, että sauman toimiva puristettu pinta-ala $A_{c,j}$ on pienempi kuin elementin poikkileikkausala A_e (ks. kuvio 1):

$$F_{rd} = f_{cd,j} \times A_{c,j} \times \sqrt{\frac{A_e}{A_{c,j}}} \quad (4)$$

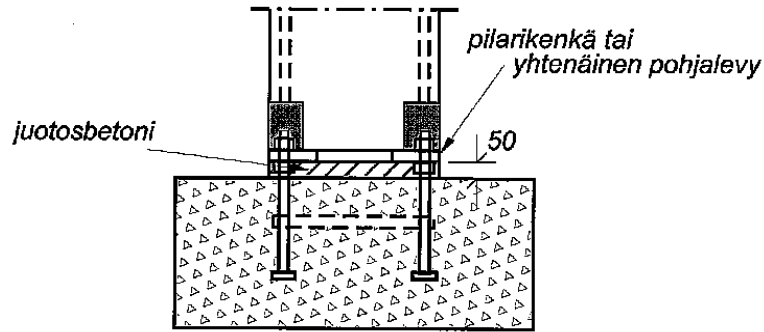
$$A_{c,j} = (a - 2t_j)(b - 2t_j) \quad (5)$$



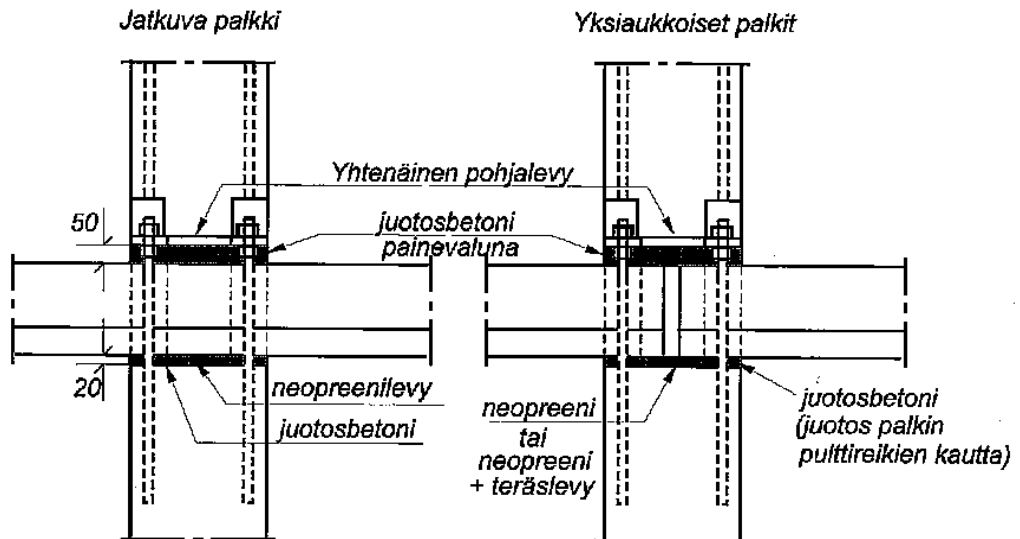
Kuvio 1. Pilarin sauman puristusleveys ja alapään haat. (Leskelä, M. 2008, 559)

Kerrospilarin alapäässä ja pilarin liityessä anturaan saumabetonin paksuus $t_j \geq 50$ mm eli $f_{cd,j} < f_{cd}$ liitoksen tehollinen puristuslujuus on pienempi kuin saumattavien elementtien mitoituslujuus, kun pilarin sivumitta on enintään 500 mm (ks. kuviot 2 ja 3). Kerrospilarin yläpään ja palkin liitoksissa $t_j = 20$ mm ja $f_{cd,j} = f_{cd}$. Seinä- ja laattaelementtien liitoksissa (ks. kuvio 4) saumapaksuudet ovat enintään 25 mm ja

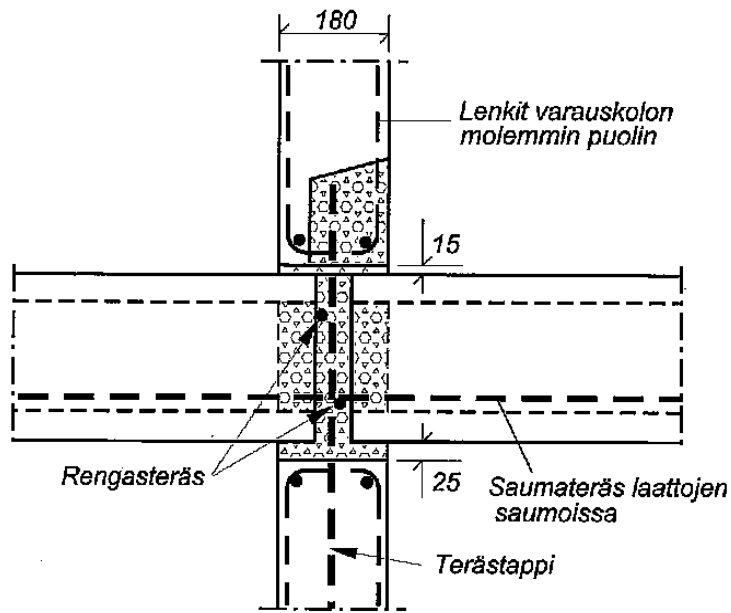
$$f_{cd,j} = f_{cd}.$$



Kuvio 2. Pilarin ja anturan välinen liitos. (Leskelä, M. 2008, 559)



Kuvio 3. Jatkuvan- ja yksiaukkoisen palkin liitos pilariin. (Leskelä, M. 2008, 559)

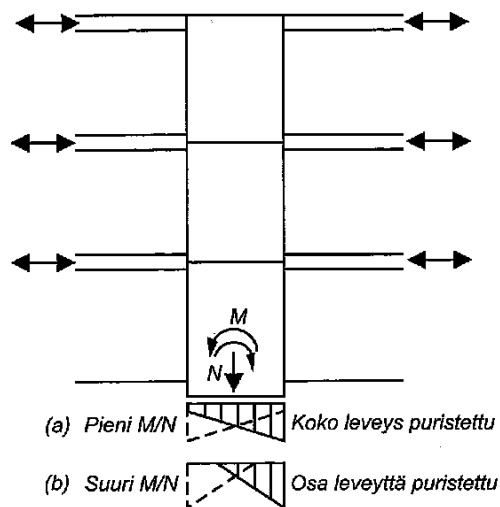


Kuvio 4. Ontelolaataston ja betoniseinien liitos. (Leskelä, M. 2008, 559)

Sauman puristusvoima F_{Ed} aiheuttaa liitettyihin elementteihin poikittaisen vetovoiman, jonka resultantti on etäisyydellä $0,4 \cdot a$ saumapinnosta. Vetovoiman suuruus poikkileikkauksen pääsuunnissa on $F_{ct,j} = 1,3 \times F_{Ed} \times t / a$ (ks. kuvio 5). Seinissä tällä voimalla ei yleensä ole merkitystä, mutta pilareissa vetovoimaa varten asetetaan halkeamisen rajoittamiseksi hakarautoitusta A_{sr} (ks. kuvio 1):

$$A_{sr} \geq \frac{1,5abf_{ct,j}}{1000}$$

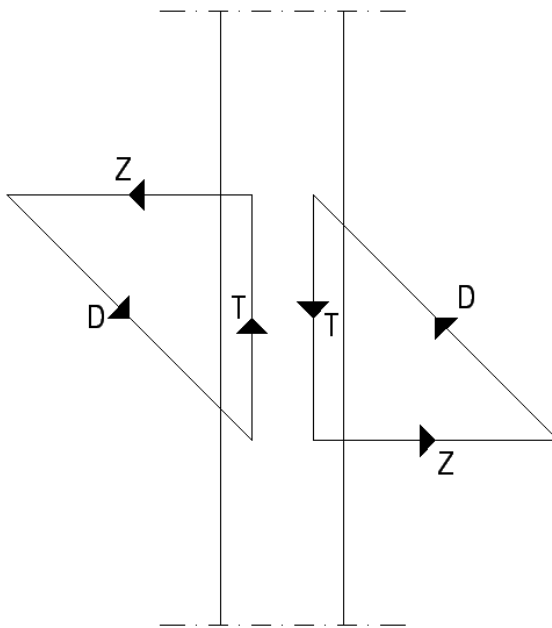
missä $f_{ct,j}$ on saumabetonin nimellinen vetolujuus.



Kuvio 5. Sauman puristusvoiman aiheuttama vetovoima. (Leskelä, M. 2008, 560)

2.2 Seinien liitokset

Kun kaksi peräkkäistä seinäelementtiä liitetään yhdessä toimivaksi rakenteeksi, on saumassa vaikuttava leikkausvoiman vetokomponentti otettava vastaan teräksillä. Teräkset voidaan sijoittaa keskitetysti välipohjien korkeuteen tai tasaisin välein pysytsaumaan. Vetokomponentit voidaan kuvion 6 mukaan omaksua leikkausvoiman suuruisena, kun puristuskomponentin kaltevuudeksi oletetaan 45 astetta. Terästen sijoittaminen pelkästään välipohjan korkeudelle edellyttää liiteltäviltä seiniltä riittävä jäykkyyttä. Jos samassa saumassa vaikuttavan leikkausjännityksen arvo on pienempi kuin $0,1 \text{ MN/m}^2$, riittää seinän leveydeksi puolet kerroskorkeudesta. Seinien pielissä on pieliteräksien oltava suurempia tai yhtä suuria kuin 2T8. Saksan DIN-normien mukaan puristuskomponentti on otettava vastaan betonivaarnoilla, jos saumassa vaikuttava leikkausjännitys on suurempi $0,2 \text{ MN/m}^2$. (BES- järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 40.)

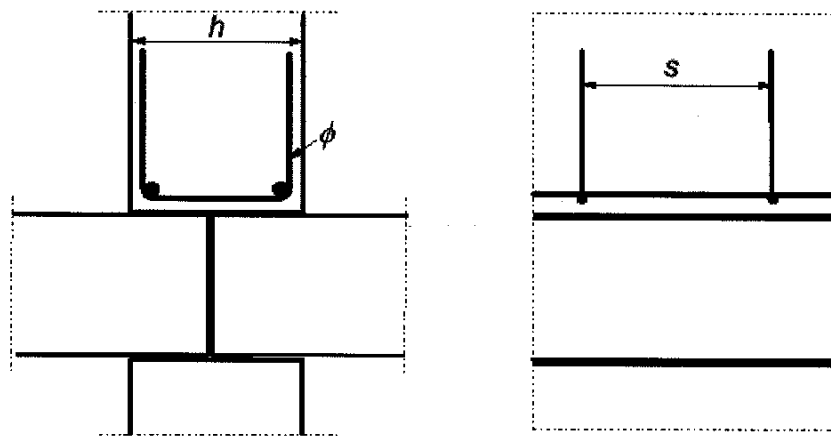


Kuvio 6. Elementtien välisessä saumassa vaikuttavan leikkausvoiman jakaminen komponentteihin.

2.3 Seinän ja laatan väliset liitokset

Eurokoodissa on muutama ohje seinän ja laatan välisille liitoksille:

- (1) Välipohjalaattojen päälle asennettavat seinäelementit varustetaan normaalesti seinän päässä olevalla raudoituksella pystyvoimien mahdollisten epäkeskisyyksien ja keskittymien varalta.
- (2) Erityistä raudoitusta ei vaadita, mikäli pystykuorma pituusyksikköä kohti on pienempi tai yhtä suuri kuin $0,5 h f_{cd}$, missä h on seinän paksuus ks. kuvio 7. Kuormaa voidaan suurentaa arvoon $0,6 h f_{cd}$, jos rauditus on kuvion 7 mukainen, halkaisija ϕ on suurempi tai yhtä suuri kuin 6 mm ja jako s on enintään pienempi mitoista h ja 200 mm. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 136)



Kuvio 7. Seinän rauditus kahden välipohjalaatan välisen liitoksen yläpuolella. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 136)

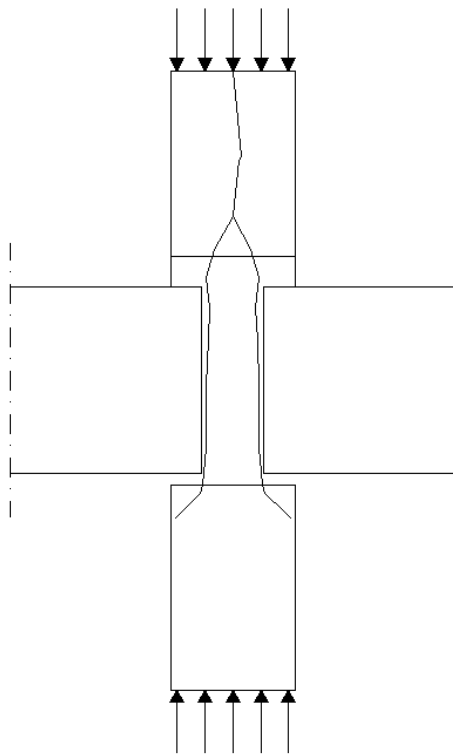
Näiden lisäksi eurokoodissa on maininta, että liitoksiin käytettävien materiaalien tulee olla

- stabiileja ja säilyviä rakenteen suunnitellun käyttöiän aikana
- kemiallisesti ja fysikaalisesti tarkoitukseensa sopivia
- suojattuja haitallisia kemiallisia ja fysikaalisia vaikutuksia vastaan

- palonkestäviä siten, että ne vastaavat rakenteen palonkestävyyttä.

(By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 138.)

Seinien ja laattojen välisten liitoksien toiminta on erittäin vaikea selvittää täydellisesti. Tämä johtuu seinien, laattaelementtien ja saumabetonin erilaisista kimmomodulien, elementtien kosketuspintoista ja välipohjien kutistumisesta, hiipumasta ja kiinnitysmomenteista aiheutuvista rasituksista. Useissa eri tutkimuslaitoksissa suoritetuissa kokeissa on liitoksen tyypilliseksi murtumisen syyksi todettu seinän ylä- tai alapään halkeaminen (ks. Kuvio 8). (BES-järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 38.)



Kuvio 8. Seinän murtuminen.

Länsi-Saksassa on laskennallisesti suoritettu laaja tutkimus välipohjaelementtien seinän risteyksen jännitystilasta. Laskelmat suoritettiin tutkimusta varten tehdyllä tietokoneohjelmalla. Muuttujina olivat välipohjaelementtien tuennan pituus (tuensyvyys), elementtien ja saumabetonin kimmomodulien suhde, elementtien päiden ja saumabetonin kosketuspinta (halkeamaton tai haljennut), erilaiset seinä- ja välipohjaelementtien paksuudet, vaakasauman paksuudet, välipohjan kiinnitysmomentti ja

epäkeskeisesti vaikuttava kuorma. Eri pisteissä vaikuttavien jännitysten perusteella laskettiin seinän ala- ja yläpäässä vaikuttavat vaakasuorat vetovoimat. Tutkimuksen perusteella tutkijat tekivät seuraavanlaiset päätelmät:

- Seinä- ja välipohjaelementtien ja puskusauman kimmomodulien eroavuuden on oltava mahdollisimman pieni. Eli tämän mukaan saumabetonin lujuuden olisi hyvä saman lujuista kuin elementtien, mutta kuitenkin minimissään C25/30 lujuusluokkaa.
- Kantokyky on riippuvainen seinien ala- ja yläpään vetolujuuksista.
- Risteyksen kantokykyä voidaan nostaa (16 – 30 %) raudoittamalla seinän ala- ja yläpää tiheällä poikittaisraudoituksella (T6 k200).

Näiden lisäksi laskelmat osoittivat, että

- kiinnitysmomentti aiheutti vetoa vain yläpuolella olevaan seinään
- seinän ja laatan paksuuden kasvattaminen lisäsi jonkin verran seinien päiden vetojännityksiä
- saman teki myös välipohjaelementtien tukisyyvyyden kasvaminen
- vaakasaumojen kimmomodulien kasvaminen ja saumojen paksuuden oheneminen pienensi seinien vetojännityksiä
- saumabetonin halkeaminen kasvatti seinien vetojännityksiä
- samoin vaikutti saumabetonin pieni kimmomoduli
- myös risteyksen epäkeskeisyys aiheutti seiniin vetojännityksiä

Kuvaajista voitiin havaita, että silloin, kun puskusauma ei ole auennut, vaakasuora vetojännitys vaikuttaa yläpuolella olevan seinän alapäässä. Sauman halkeamisen jälkeen vaakasuoravetojännitys siirtyy risteysalueelta seinän alareunaan.

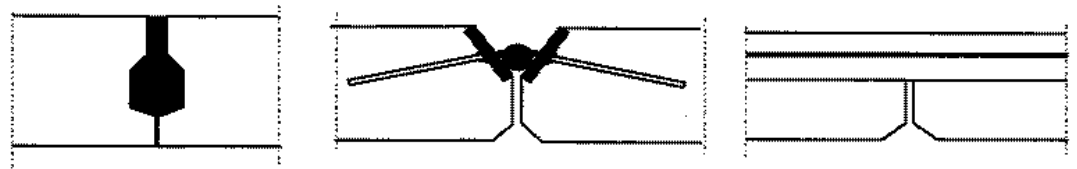
(BES- järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 38.)

2.4 Laatastot

Eurokoodissa on laatastojen mitoittamiseen ja yksityiskohtien suunnitteluun muutama erityissääntö jotka vaikuttavat saumojen laskemiseen.

- (3) *Kun toisiinsa liittyvien elementtien välinen kuormien poikittainen jakautuminen on otettu huomioon, osien välisten saumojen tulee olla riittävästi leikkausta kestäviä.*

- (4) Elementtien mahdollisten kiinnitysasteiden vaikutukset tulee ottaa huomioon, vaikka suunnittelussa otetaan vapaat tuet.
- (5) Leikkausvoiman siirtyminen saumoissa voidaan saavuttaa eri tavoin. Kolme saumojen päätyyppiä on esitetty kuviossa 10.
- (6) Kuormien poikittainen jakautuma määritetään analyysin tai kokeiden perusteella, jolloin otetaan huomioon mahdolliset kuorman vaihtelut elementtien välillä. Välipohjaelementtien välillä vaikuttava leikkausvoima otetaan huomioon saumojen ja elementin viereisten osien mitoituksessa (esim. ripojen tai uumien ulkopuolella). Tälle leikkausvoimalle pituusyksikköä kohhti voidaan käyttää kuorman jakaantuessa tasaisesti ja tarkemman analyysin puuttuessa arvoa $V_{Ed} = q_{Ed} * b_e / 3$, missä q_{Ed} on muuttuvan kuorman mitoitusarvo (kN/m^2) ja b_e on elementin leveys.



a) Betonilla tai laastilla täytetyt saumat b) hitsaus- tai ruuviliitokset c) raudoitettu pintavalu

Kuvio 10. Esimerkkejä leikkausvoimaa siirtävistä saumoista. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 137)

- (7) Kun välipohjaelementtien oletetaan toimivan jäykkinä levyinä siirtäessään vaakakuormia jäykistäville rakenneosille, täytyy huomata, että
- levy muodostaa osan realistista rakennemallia, kun otetaan huomioon siirtymätilan yhteensopivuus jäykistävien rakenneosien kanssa.
 - Vaakasiirtymien vaikutukset otetaan huomioon rakenteen kaikissa osissa, jotka osallistuvat vaakakuormien siirtoon.
 - Jäykistyslevy raudoitetaan rakennemalliin oletettujen vetovoimien perusteella.
 - Aukkojen ja saumojen kohdalla olevat jännityshuiput otetaan huomioon raudoituksen yksityiskohtia suunniteltaessa.

- (8) *Leikkausvoiman siirtymiseen jäykistyslevyn saumoissa tarvittava poikittaisraudoitus voidaan keskittää tukisaumoihin siten, että muodostuu rakennemallin mukaisia siteitä. Tämä raudoitus voidaan sijoittaa pintabetoniin, jos sellaista käytetään.*
- (9) *Elementit, joiden pintabetoni on vähintään 40 mm paksu, voidaan suunnitella yhdistelmä rakenneosina, jos vaatimuksen mukaisuus liittymäpinnalla vaikuttavan leikkauksen suhteen osoitetaan kohdan 6.2.5 mukaisesti. Elementti tarkistetaan rakentamisen kaikkien vaiheiden varalta, ennen ja jälkeen sen, kun yhdistelmävaikutus on tullut vaikuttamaan. Eli eri kuormitustapaukset on otettava huomioon suunnittelussa.*
- (12) *Kun levyjäykistys saadaan aikaan laattaelementtien välisten betoni- tai laastisaumojen avulla, rajoitetaan pituussuuntainen keksimääräinen leikkausjännitys v_{Rdi} arvoon 0,1 MPa (N/mm²) pintojen ollessa hyvin sileitä ja arvoon 0,15 MPa (N/mm²) pintojen ollessa sileitä tai karheita.*

(By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 137-138.)

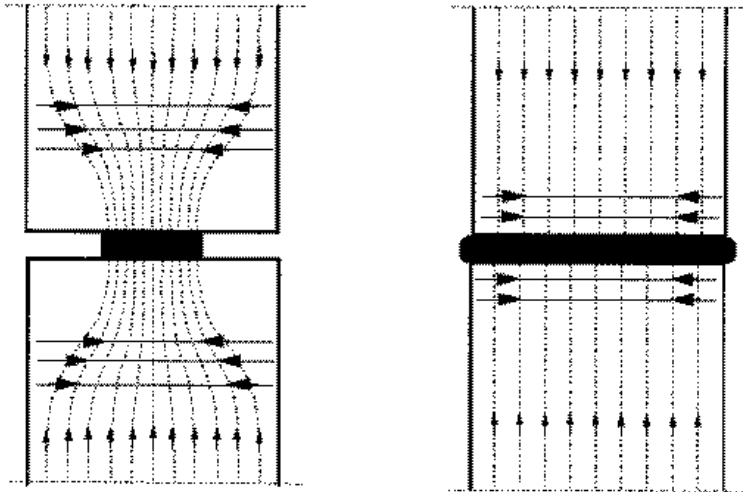
2.5 Puristusvoimia siirtävät liitokset

Eurokoodissa on ohjeita puristusvoimia siirtäviin liitoksiin.

- (1) *Leikkausvoimat voidaan jättää huomioimatta puristetuissa liitoksissa, jos leikkausvoimat ovat pienempiä kuin 10% puristusvoimasta.*
- (2) *Valettavaa materiaalia kuten laastia, betonia tai muoveja sisältävissä liitoksissa estetään toisiinsa liittyvien pintojen keskinäinen liike materiaalin kovettumiseen aikana.*
- (4) *Toisiinsa liittyvien elementtien poikittaiset vetojännitykset otetaan huomioon. Ne voivat johtua puristuksen keskittymisestä kuvion 11 mukaisesti. Raudoitus voidaan tapauksessa a) suunnitella ja sijoittaa eurokoodi 2 kohdan 6.5 mukaisesti. Raudoitus sijoitetaan tapauksessa b) lähelle toisiinsa liittyvien elementtien pintoja.*
- (5) *Tarkemman mallien puuttuessa raudoitus voidaan tapauksessa b) laskea kaavan $A_s = 0,25 * (t / h) * F_{Ed} / f_{yd}$ mukaisesti, missä*

| | |
|----------|--|
| A_s | <i>on raudoituksen ala jokaisella pinnalla</i> |
| t | <i>on tasauslevyn paksuus</i> |
| h | <i>on tasauslevyn mitta raudoituksen suunnassa</i> |
| F_{Ed} | <i>on liitoksessa vallitseva puristusvoima</i> |

(By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 138-139.)



Kuvio 11. Poikittaiset vetojännitykset puristuksen kuormittamissa liitoksissa. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 139)

2.6 Taivutusmomenteja tai vetovoimia siirtävät liitokset

Taivutusmomenteja tai vetovoimia siirtäviin liitokset eurokoodin mukaan:

- (1) *Raudoituksen tulee kyetä siirtämään voimat liitoskohdan yli ja se tulee ankkuroida toisiinsa liittyviin elementteihin.*
- (2) *Jatkuvuus voidaan saada aikaan esim.*
 - *jatkamalla tangot limijatkoksin*
 - *jälkivalamalla raudoitusta ympäröivät aukot*
 - *limitämällä raudoitusten lenkit*
 - *jatkamalla tangot tai teräslevyn hitsein*
 - *jännittämällä*
 - *mekaanisilla laitteilla (kierteiset tai täytetyt muhvit)*

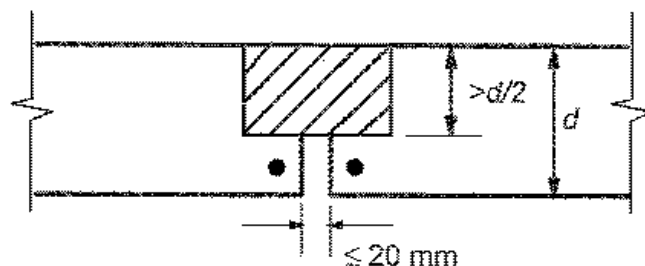
- lukkorengaskiinnittimillä (puristusmuuveilla).

(By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 139.)

2.7 Saumojen palomitoitus

Saumojen suunnittelun tulee perustua rakenteen toiminnan kokonaisarviointiin palossa. Saumojen yksityiskohdat on suunniteltava siten, että ne täyttävät yhdistettävillä rakenneosille asetettavat kriteerit R, EI ja varmistavat rakennekokonaisuuden riittävän kantavuuden. Rakenneteräksestä valmistettavat liitososat mitoitetaan palonkestävyyden osalta standardin EN 1993-1-2 mukaan. Saumojen tiiveysehdon täyttymisen kannalta saumakohdassa oleva rako ei saa olla leveämpi kuin 20 mm eikä syvämpi kuin puolet kyseisen osastoivan rakenneosan vähimmäispaksuus d (ks. kuvio 12). Jos raon syvyys on suurempi ja jos siinä tarvitaan saumausainetta, dokumentoidaan palonkestävyys asianomaisen koemenetelmän perusteella. Vaadittava palonkestävyys voidaan myös saavuttaa erilaisia suojakerroksia käyttämällä. Näissä käytettävän materiaalin ominaisuudet ja toimivuus määritetään asianmukaista koemenetelmää käyttämällä.

(By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-2 2009, 7.)



HUOM. Aukkoa lähellä olevilla nurkka-alueilla olevia tankoja ei tarvitse pitää nurkkatankoina taulukkomitoituksessa.

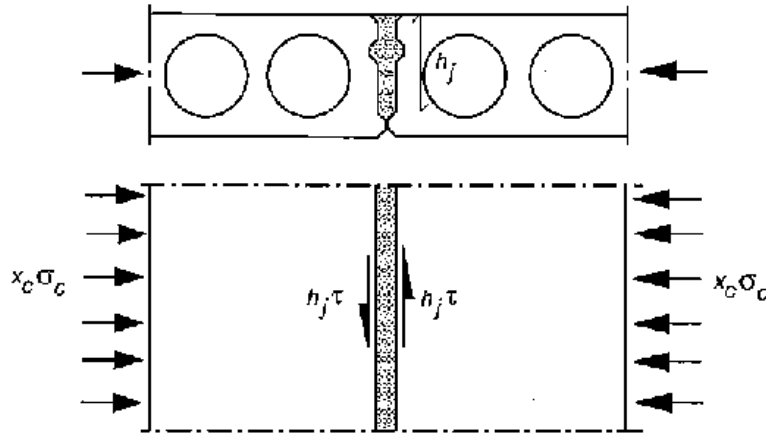
Kuvio 12. Saumassa olevan aukon mitat. (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-2 2009, 7)

2.8 Puristus- ja leikkausvoiman rasittama betonisauma

Kuviossa 13 korkeus x_c on pienempi kuin h_j ja saumaa vastaan puristetaan kohtisuorasti. Esimerkiksi laattojen levyvaikutusta tarkasteltaessa suurin leikkausjännitys

τ_{\max} ennen sauman halkeamista riippuu puristusjännityksestä σ_c (Bruggeling ja Huyghe 1991):

$$\tau_{\max} = 0,9 \times \sigma_c^{0,7} \times (\ln f_{ck,mc})^{0,18} + 0,05 f_{ck,mc} \quad (7)$$



Kuvio 13. (Leskelä, M. 2008, 561)

Haljenneen sauman jäännöslujuus (suurin leikkausjännitys haljenneessa saumassa) on

$$\tau_r = 0,95 \times \sigma_c \times (\ln f_{ck,mc})^{0,25} \quad (8)$$

missä $f_{ck,mc}$ on saumabetonin ominaispuristuslujuus (eli kokeellisesti saatu lujuus ilman kertoimia, esim. C25/30:n ominaispuristuslujuus on 25 MPa). Tyypillisiä puristus- ja leikkausjännityksiä, sekä jäännöslujuuksia on taulukossa 1. Eurocode 2:ssa on esitetty laattojen välisen sauman mitoitusleikkauslujuudelle yksi arvo kaikille saumabetoneille $\tau_{Rdi} = 0,15$ MPa, mikä on runsaasti saumabetonin C25/30 tapauksessa varmallalla puolella. (Leskelä, M. 2008, 560-561)

TAULUKKO 1. T_{\max} ja T_r kun saumabetonin lujuusluokalla C25/30 (Leskelä, M. 2008, 561)

| σ_c [MPa] | 0 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| τ_{\max} [MPa] | 1,25 | 1,84 | 2,20 | 2,51 | 2,79 |

| | | | | | |
|----------------|---|------|------|------|------|
| τ_r [MPa] | 0 | 0,51 | 1,02 | 1,53 | 2,04 |
|----------------|---|------|------|------|------|

2.9 Betonivaarnasauma

Jos betonivaarnasauma täyttää kuvion 14 mukaiset ehdot, sen leikkauslujuus laskeaan Eurocode 2:n mukaan:

$$\tau_{Rdi} = c \times f_{ctd} + \mu \times \sigma_n + \frac{A_s}{A_i} \times f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \quad (9)$$

$$\text{kuitenkin } \tau_{Rdi} \leq 0,5 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) f_{cd}; \quad 45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \quad (10)$$

missä

σ_n on saumaan kohdistuva kohtisuora jännitys, $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$. Jännityksen suunta: kun $\sigma_n < 0$, niin kyseessä on vetoa, kun $\sigma_n > 0$, niin kyseessä on puristusta.

c ja μ ovat kertoimia, jotka riippuvat rajapinnan karheudesta

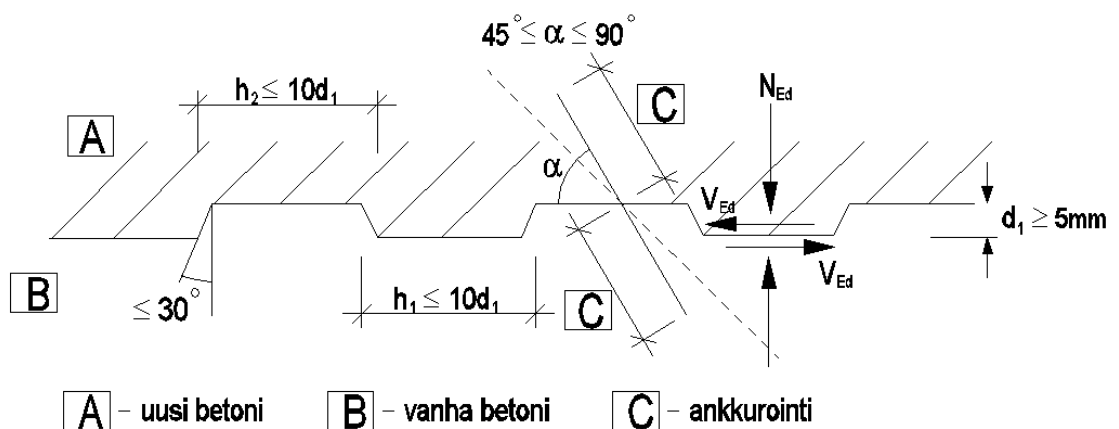
c on 0, kun $\sigma_n < 0$,

A_s on rajapinnan läpi kulkevan raudoituksen poikkileikkausala, johon saa laskea mukaan vain ne teräkset joita ei käytetä muita kapasiteetteja laskettaessa

A_i on rajapinnan pinta-ala

$$f_{ctd} = f_{ctk0.05} / \gamma_c$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

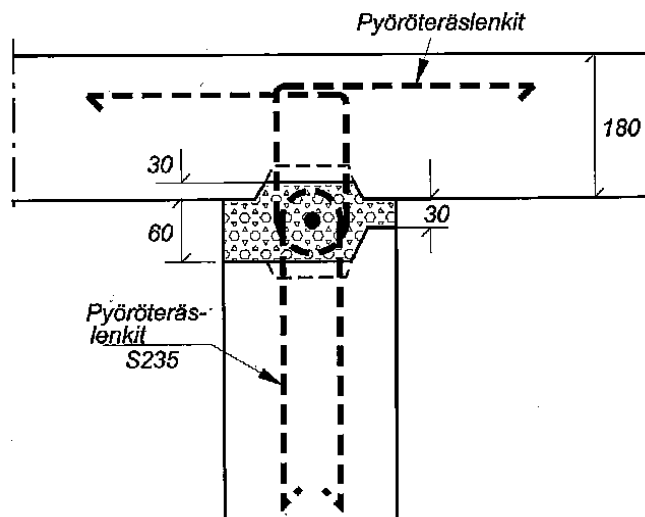


Kuvio 14. Vaarnattu työsauma (By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009, 78)

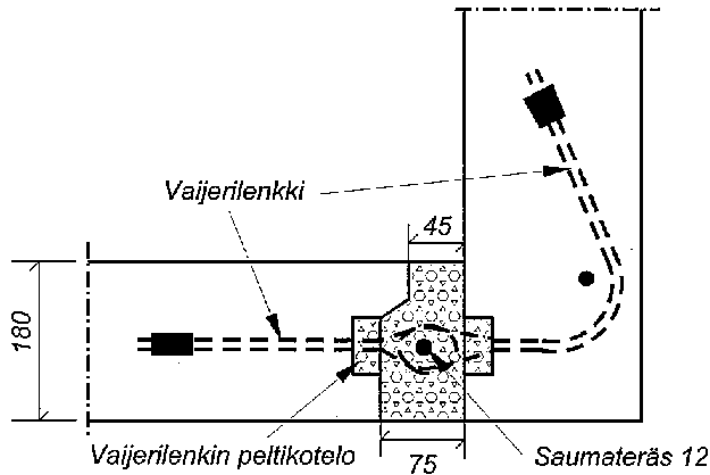
Betonivaarnasauman ehdot:

$$V_{Ed} \leq \tau_{Rdi} \times A_i$$

Leikkauslujuudessa c :lle annetaan kuvion 14 minimiehdot täyttävässä vaarnasaumassa yläraja-arvo 0,5. Esitetty kaava koskee sekä vedettyjä että puristettuja liitoksia. Kun σ_n on vetoa (<0), se pienentää lujuutta, jota voidaan kasvattaa tässä tapauksessa vain raudoitusta A_s lisäämällä. Pyöröteräs- ja vaijerilenkit (kuviot 15 ja 16) toimivat saumojen vetoraudoituksena vain jos lenkkien vaakasuuntainen limitysetäisyys on enintään 50mm. Leikkausraudoituksena ne toimivat suuremmillakin etäisyyksillä, kun ne ankkuroidaan sauman ylitse. Ankkurointi tapahtuu lenkkien läpi pujotetulla harjaterästangolla. (Leskelä, M. 2008, 561-562.)



Kuvio 15. Pyöröteräslenkkisauma (Leskelä, M. 2008, 558)



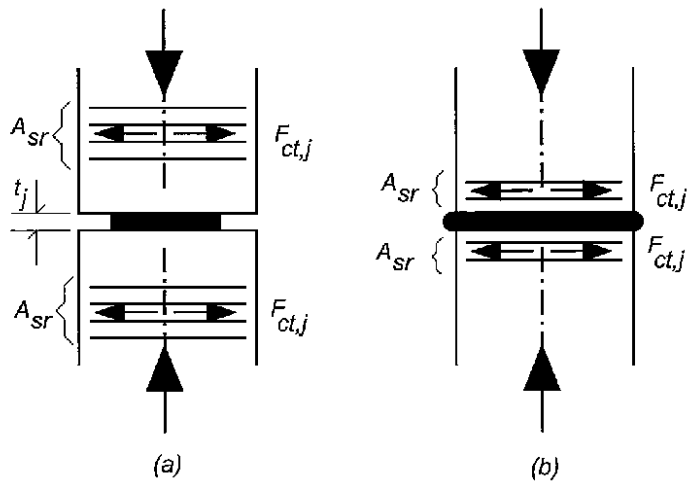
Kuvio 16. Vaijerilenkkisauma (Leskelä, M. 2008, 557)

2.10 Palkkien ja pilareiden liitokset

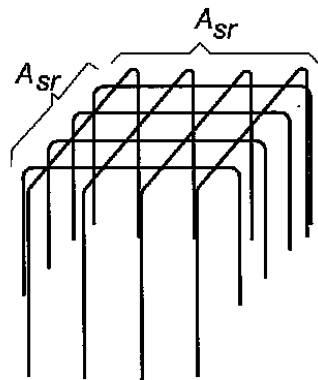
Saumabetoni ja kumilevyliitoksissa liitettävien pintojen välinen liike täytyy estää kovettumiseen asti. Liitoksesta aiheutuvat poikittaiset vetovoimat $F_{ct,j}$ elementteihin tulee ottaa huomioon laskennassa. Ne voivat aiheutua a) liitospinnalla vaikuttavasta pintapaineesta tai b) laakerimateriaalin (neopreenikumilevy tai vastaava) poikittaisesta laajenemisesta (kuvio 17). Eurocode 2:n mukaan tapauksessa a) tarvitaan haka-raudoitus, joka voidaan mitoittaa ja sijoittaa kuvion 1 mukaan ja tapauksessa b) raudoitus sijoitetaan lähelle liitospintaa U-teräksinä (kuvio 18). (Leskelä, M. 2008, 563.)

$$A_{sr} = 0,25 \times \frac{t_j}{h} \times \frac{F_{Ed}}{f_{sd}} \quad (11)$$

missä t_j on sauman paksuus ja h on liitettävien osien sivumitta raudoituksen suunnassa.



Kuvio 17. Pilarin ala- ja yläpään vetovoimat (Leskelä, M. 2008, 563)



Kuvio 18. Pilarin ala- ja yläpään raudoitus (Leskelä, M. 2008, 563)

2.11 Seinä- ja laattaelementtien väliset liitokset

Laattaelementit asennetaan alemman kerroksen seinäelementtien päälle asennuspalojen varaan niin, että tuelle saadaan 25 mm juotosvalua. Laattaelementtien samoihin asennetaan saumateräkset $\varnothing 12$. Valun kovettumisen jälkeen seuraavan kerroksen seinäelementit asennetaan 15 mm:n asennuspalojen ja saumabetonimassan varaan, sekä tuetaan paikalleen. Valmiin liitoksen periaatekuva on kuvion 4 mukainen. (Leskelä, M. 2008, 570.)

2.12 Seinäelementtien pystyliitokset

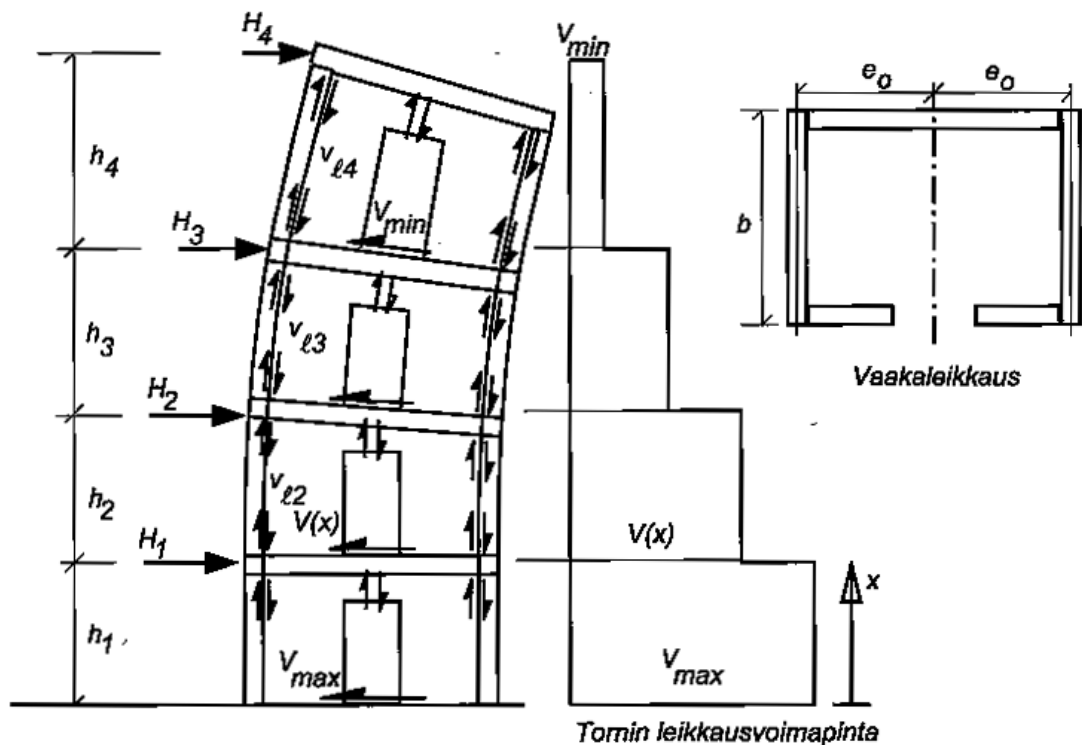
Elementtiseinät ovat mastojäykistettyinä levyinä ja -torneina ja niiden pystyliitoksilla täytyy olla riittävä leikkauskestävyys johtuen maston taivutuksesta. Kuviossa 18 esitetään suorakaiteen muotoisen jäykistystornin liitoksien leikkausvoimien v_l muodostumisen periaate. Vaakatasoilta 1, 2, 3, 4 tulevat kuormat ovat H_1, H_2, H_3, H_4 ja ne aiheuttavat kuhunkin kerroksen j pystyliitoksiin kokonaisvoiman $V_{lj} = v_l \times h_j$. Kerroksessa j vaikuttavat leikkausvoimat liitokseen voidaan laskea likimäärin lausekkeesta:

$$V_{lj} = V_{lj} \times h_j = \left(\frac{H_j}{2} \times \sum_{i=1}^j h_i \right) \times \frac{S}{I} \quad (12)$$

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2e_0 + \frac{2}{3} \times \frac{e_0^2}{b}} \quad (13)$$

missä $h_j, j = 1, 2, 3, 4$ ovat kerroskorkeudet ja e_0 sekä b ovat kuvion 18 mukaiset.

(Leskelä, M. 2008, 570-571.)



Kuvio 18. Jäykistystornin elementtien pystyliitoksien leikkausvoimat (Leskelä, M. 2008, 571)

2.13 Seinäelementtien vaakaliitokset

Voimien H_j suuntaiset seinien vaakaliitokset mitoitetaan leikkausvoimapinnan mukaisille voimille $V(x)$, ottaen huomioon liitoksissa vaikuttavat normaalijännitykset, jotka ovat joko vetäviä tai puristavia (kuvio 5). Näiden liitoksien kestävyys lasketaan betonivaarnasauman lujuuden funktiona (ks. betonivaarnasauma). (Leskelä, M. 2008, 571.)

2.14 Betonielementtisaumaus

Kantavan sauman suunnittelua ja tekemistä koskevat samat vaatimukset kuin vastaavaa betonirakennetta. Saumauksessa on käytettävä sellaisia materiaaleja, työmenetelmiä ja suunnitelmia, että sauma saavuttaa edellytetyt ominaisuutensa vallitsevissa olosuhteissa. Jos betonirakenteen saumoihin voi tulla vetojännityksiä, raudoitus on suunniteltava halkeilua rajoittaviksi. Elementit, jotka liitetään suoraan toisiaan vasten käyttäen saumassa ohutta epoksiliimakerrosta tai ilman, on tehtävä riittävän mittatarkkoina ja varustettava ohjauksella, jonka avulla osat saadaan tarkasti paikoilleen yhteen liitettäessä. (By 50, betoninormit 2004, 129.)

2.15 Juotosbetonoinnin yleisiä ohjeita

Elementtirakenteiden lopullinen lujuus ja jäykkyys saavutetaan vasta juotosbetonoinnin jälkeen. Juotosbetointi suoritetaan notkealla betonimassalla, joka kaadetaan sangosta tai valuastiasta tai pumpataan pienoismetallipumpulla. Saumojen juotoksissa käytettävä betoni on lujuusluokaltaan tavallisesti C20/25 – C28/35. Talvella olosuhteet vaikeuttavat juotosbetointia. Esim. +5 °C:n lämpötilassa betonin kovettuminen on niin hitaasti, että viikon kuluttua betonin lujuus on vasta noin puolet nimellislujuudesta. Tämän vuoksi saumajuotoksia on lämmitettävä tai käytettävä ns. pakkasbetoneja. Betonin lujuusluokaksi kannattaakin talviolosuhteissa valita yhtä luokkaa minimivaatimuksia korkeammaksi. Jos saumavalun annetaan jäätyä ennen

kuin betoni saavuttaa jäätymislujutensa (5 MN/m²), syntyy saumaan lujuskatoa. Saumavalut ovat osa elementtirungon jäykistystä ja tämän vuoksi ne ovat suunnittelutava ehdottoman huolellisesti. (Huhtaniemi, S. & Kiviniemi, J. 2008, 148.)

Nykyään käytetään mieluummin suuria lujusluokkia saumabetonoinneissa. Tällöin betonin vesi-sementti suhde on pieni, jolloin riski eri halkeamista vähentyy. Yleensä saumoissa kiviaineksen maksimi raekoko ei voi kuitenkaan olla suurempi kuin 16mm, minkä seurauksena joudutaan käyttämään suurehkoita sementtimääriä. Hyvät pakkasen kesto ominaisuudet saadaan käyttämällä eri tuhka, kuona, silika, notkistin ja lisähuokostin yhdistelmiä. Näitä käytettäessä tulee kuitenkin olla tehtynä riittävät ennakkokokeet sivu- ja lisäaineiden vaikutusten selvittämiseksi.

Voimakkaat vesisateet tai kovat pakkaset voivat hidastaa työntekoa tai aiheuttaa lisäkustannuksia. Lisääntyneet kustannukset voivat tulla mm. hidastuneesta työnteosta, tarvittavista suojauksista, lämmityksestä tai betonin lisäaineista. Myös talven aiheuttamat jään sulattamiset ja lumityöt merkitsevät kustannusten nousua. Näiden takia tulee saumausajankohta valita mahdollisimman joustavaksi. Jäykistävien valujen tarve tulee erikseen tutkia ja suunnitella.

Sauman koko on valittava niin suureksi, että valu onnistuu. Ontelosaumoja betonoidessa sauma ei täyty alapuolelta viisteen yläreunaan asti vaan sauman pohja jää epämääräiseksi. Työtulosta voidaan parantaa tehokkaalla tärytyksellä ja valun alapuolelta tapahtuvalla putsauksella. Kuitenkin normaalisti tarvitaan vähintään yksi tasoitekäsittely sauman kohdalta, mikäli halutaan alhaaltapäin siisti lopputulos. Pystysaumojen betonoinnin onnistumiseksi tulee muotin olla tiivis ja valettava pinta tulee jättää hieman elementin ulkoreunojen sisäpuolella, jotta vältytään piikkaukselta ja myös rumalta jäljeltä. Jos pystysaumat jätetään samaan pintaan elementtien kanssa, on sauma erivärinen kuin elementin pinnat ja tämä erottuu hyvin selvästi. Esimerkiksi solumuovin avulla muottilevyn pinnalla saadaan valua sisäänpäin elementin pinnasta. (By 30-4, betonirakenteiden yksityiskohtien ja raudoituksen suunniteluohjeet 1989, 62.)

2.16 Välipohjan toiminta vaakasuorana levynä

2.16.1 Rengasankkurit

Jäykkänä levynä toimiva välipohja on aina varustettava elementit toisiinsa yhdistävillä, lähelle välipohjan ulkoreunaa sijoitetuilla rengasankkuriteräksillä, jotka on mitoitettu kuormituksen määrämälle, vähintään 30 kN suuruiselle vetovoimalle. Välipohjalevy voidaan mitoitaa vasta sen jälkeen, kun tiedetään miten vaakasuorat kuormat jakautuvat sienille. Kun tukireaktiot tiedetään, voidaan taivutusmomentit ja leikkausvoimat laskea määrävissä kohdissa. (BES -järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 36.)

Rengasankkurin teräksiä mitoitettaessa valitaan rakenteen tehollinen korkeus seinämäisten palkkien teorian mukaisesti. Rengasankkurin teräkset voidaan sijoittaa välipohjan pitkälaittojen suuntaisilla reunoilla ei-kantavan ulkoseinäelementin ja pitkälaittoelementin väliseen saumaan. Teräksiä on oltava vähintään 2 kpl T10, sauman leveys on oltava suurempi tai yhtä suuri kuin 80 mm ja ulkoseinäelementti on kiinnitettävä tehokkaasti välipohjaan. Teräksiä ei saa jatkaa samassa leikkauksessa. Kaapeammissa saumoissa rengasankkurin teräkset tulisi sijoittaa ulkoseinältä lukien ensimmäisen ja toisen elementin väliseen saumaan. Terästen jatkos- ja päättymiskohdissa saumalaastiin syntyvät halkaisujännitykset voidaan tällöin viedä elementtien reunoihin kohdistuvina puristusjännityksinä. Saumateräkset myös varmistavat rengasankkurin toimintaa. (BES -järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 36.)

Kun teräkset sijoitetaan pitkälaittojen väliseen uloimpaan saumaan ja laskettu vetovoima on pienempi kuin 30 kN, ei teräksien tarvitse olla läpikätkäviä. Tätä voidaan perustella sillä, että saumaterästen vetovoima siirtyy ulosvetokokeiden mukaan luotettavasti elementteihin ja elementtien esijännitysvaijereissa on kutistumisesta, hiipumasta ja teräksen relaksatiosta aiheutuvista jännityshäviöistä johtuen riittävästi kapasiteettia välipohjan reunalla vaikuttavan vetovoiman vastaanottamiseen. Päätyseinien ja yleensä aina rengasankkuriterästen ollessa pitkälaittojen päädyn suun-

taisessa saumassa on terästen oltava läpikätkuvia. (BES -järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 36.)

2.16.2 Saumojen leikkausjännitykset

Elementeistä koottu jäykistävä välipohjalevy voi menettää toimintakykynsä, jos rengasankkuriteräkset saavuttavat myötörajan, saumat leikkausmurtuvat tai puristetun välipohjalevyn osaan tulee murtuma. (BES -järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 36.)

Ontelolaatoista kootun laattakentän levytoiminnan ja laattojen reunojen erilaisten profiloinnin vaikutusten selvittämiseksi VTT:llä suoritettiin keväällä -77 koesarja, jossa kuusi laattakenttää kuormitettiin murtoon saakka. Kokeiden perusteella VTT:n betoniteknikan laboratorio totesi: *sileäreunaisilla vain pituussuuntaisella vaarnalla varustetuista ontelolaatoista koottua laattakenttää voidaan pitää yhtenäisenä levynä toimivana, kun seuraavien edellytysten todetaan olevan voimassa:*

(1) *Sauman keskimääräinen leikkausjännitys käyttötilan mukaisilla kuormituksilla on enintään $0,10 \text{ MN/m}^2$. Tähän arvoon on myös rajoitettu eurokoodissa tason levyn suuntaiset voimat, jos laatasta pidetään yhtenäisenä levynä toimivana. Leikkausjännitys määritetään levyyn vaikuttavista tason suuntaisista voimista. Jos saumaan tulee lisäksi piste- tai viivakuormista syntyviä huomattavia pystysuoria leikkausjännityksiä, voidaan leikkausjännitys laskea levyn tason suuntaisen leikkausjännityksen ja levyn tasoa vastaan kohtisuoran leikkausjännityksen resultanttina, ellei näiden yhteisvaikutusta selvitetä erikseen tätä tarkemmin. (BES -järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 36.)*

(2) *Rengasraudoitus todetaan tavallisilla mitoitusmenetelmillä riittäväksi kestämään levyn tason suuntaisesta taivutuksesta syntyvä vetovoima. Levyn puristuspuolella tulee olla sama rengasraudoitus kuin vetopuolella. Erityisesti on syytä painottaa rengasraudoituksen tärkeyttä laattakentän lujuuden lisäämisessä. (BES -järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 36.)*

Saumoissa vaikuttavat leikkausjännitykset voidaan laskea kaavasta $\tau_{\max} = 1.5 \frac{V}{b * h}$

Ammattikirjallisuudessa on yleistynyt laskentaperiaate, jonka mukaan leikkausvoima jaetaan 45:n asteen kulmassa olevaan vinoon puristuskomponenttiin ja saumaan vastaan kohtisuoraan vetokomponenttiin. Vetokomponenttiin vaatima teräsmäärä voidaan sijoittaa tarkasteltavaa saumaa vasten kohtisuorassa olevaan elementtien väliseen saumaan (kuvio 6). (BES -järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979, 36.)

3 PAIKALLAVALURAKENTEET

3.1 Työsaumat

Työsaumojä tehdään paikallavalurakenteissa. Betonivaluun syntyy aina työsauma pidettäessä niin pitkä tauko, että betoni ehtii sitoutua ennen seuraavan betonikerroksen valua. Työsauma on heikompi epäjatkuvuuskohta ympäröivään betoniin nähden ja tämä täytyy ottaa huomioon suunnittelussa. Nykyään pyritään entistä enemmän kehittämään saumattomia ratkaisuja rakenteisiin, jotta vältytään näiltä heikommilta epäjatkuvuuskohtilta. Työsauman kohta erottuu selvästi ympäröivästä betonipinnasta, joten näkyviin jätettävien työsaumojen paikoista tai peittämisestä on hyvä keskustella myös arkkitehdin kanssa. Valualueet tulisikin suunnitella riittävän pieniksi, jotta väärään paikkaan syntyviä työsaumojä ei tulisi. Väärään paikkaan voi syntyä työsauma, kun betonoinnissa tapahtuu suunnittelematon työskentelykatkos. Jos työsauma tehdään piirustuksista poikkeavaan kohtaan, niin sen rakenteesta ja koosta on neuvoteltava rakennesuunnittelijan kanssa. Työsaumat suunnitellaan yleensä tehtäväksi noin neljäsosasta kolmasosaan matkan verran aukkovälin tuelta. Siinä kohdassa momentti ja leikkausvoima ovat yleensä suhteessa pieniä. Työsaumaa ei sijoiteta tuelle, koska siinä kohdassa leikkausvoima on suurin. Keskelle aukkoa työsaumaa ei sijoiteta, koska tällöin yleensä momentti on suurin. ”Työsauma tehdään pystysuoraan joko pituus- tai poikkisuuntaisesti. Pituussuuntaista työsaumaa ei saa

tehdä 50 mm:ä lähemmäksi ansaslinjaa.” (Varastointi- ja asennusohje luja kuorilaatta 2009, 6). Lattioissa valualueet olisi edullisinta jakaa niin, että työsaumat osuvat liikuntasaumojen kohdalle, koska tällöin yksi sauma vastaa kahta tarkoitusta.

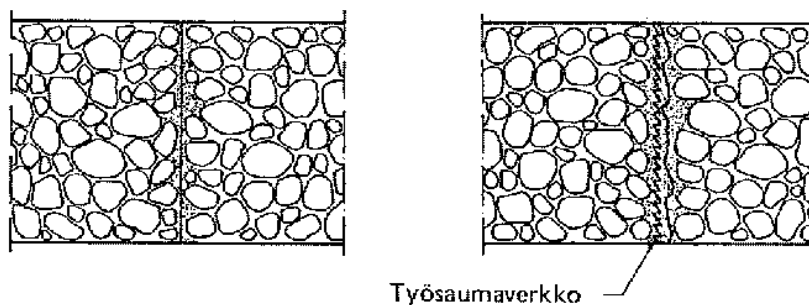
Työsaumat jaetaan pintaominaisuuksiensa perusteella kolmeen luokkaan (ks. taulukko 2). Ennen saumabetonointia on varmistettava, että sauma on puhdas, ja betonoidessa on erityistä huomiota kiinnitettävä betonin tiivistämiseen. 1- luokan rakenteissa työsaumat ovat aina esitettävä piirustuksissa. Myös 2- ja 3-luokan rakenteissa leikkausraudoitus ja sauman paikka on sovittava suunnittelijan kanssa. Pakottavissa tapauksissa voidaan karhea työsauma tehdä ilman erillissuunnitelmaa. Tällöin suunnittelijan on kuitenkin tarkistettava sauman kelvollisuus ennen työn jatkumista. Rasitusluokissa XS3, XD2, XD3, XF2 ja XF4 on käytettävä pestyä työsaumaa, jos saumaan kohdistuu sitä vastaan kohtisuoraa vetoa. (By 50, betoninormit 2004, 126.)

Jos rakenteelle on asetettu tiiviysvaatimuksia, käytetään työsaumassa saumanauhaa tai varmistetaan sauman tiiveydestä muulla tavalla. Käytettäessä pestyä työsaumaa sauman voidaan katsoa olevan tiivis. On huomioitava, että työsaumojen kohdalla betonin ominaisuudet ovat aina huonommat kuin muualla rakenteessa. Siksi niiden sijoittaminen on suunniteltava paikkoihin, joissa rasitukset ovat vähäisimmät. (By 50, betoninormit 2004, 127.)

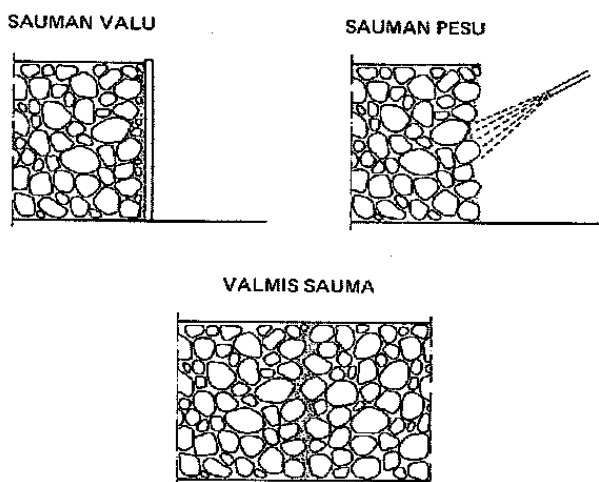
Levyä vasten valettuun työsaumaan tulee pystysuora laastivyöhyke, jossa kivet eivät mene limittäin (kuvio 21). Tämän takia sauman leikkauslujuus on huono ja vetolujuus kohtisuoraan saumaa vasten on noin 20 % homogeenisen betonin vastaavasta arvosta. Myös sauman tiiviys on huonompi kuin ympäröivän betonin, ja se on näin alttiimpi korroosiolle. Betonin tartunnan parantamiseen on mahdollista poistaa sementtiliimakerros siveltelemällä pintahidastusainetta muottilevyn pintaan. Työsaumaverkkoa vasten valettu työsauma on säilytysominaisuuksiltaan huonompi kuin levyä vasten valettu, koska sementtiliima työntyy osittain verkon läpi ja laastisaumasta muodostuu paksumpi kuin levyä vasten valetussa (kuvio 21). Leikkausvoimaa tosin tämä saumatyyppi kestää hieman enemmän kuin sileä. (By 50, betoninormit 2004, 127.)

Suosittelavaa on käyttää ns. pestyä työsaumaa vaativissa ympäristöolosuhteissa (kuvio 22). Käytettäessä pestyä työsaumaa muistuttaa työ-sauman kohta homogeenista betonia. Sen säilyvyys ja lujuusominaisuudet ovat huomattavasti paremmat kuin muilla työsaumatyypeillä. (By 50, betoninormit 2004, 127.)

Työsaumamuottina voidaan käyttää mm. levyä tai työsaumaverkkoa. Betonin saavuttuaan purkulujuuden voidaan muotit purkaa ja huuhdella korkeapainepesurilla betonin pinnasta laastikerros pois niin, että kivet paljastuvat. Pesun oikea aika on ajoitettava niin, että betoni on saavuttanut purkulujuuden, mutta ei niin kovettunut että pintaa ei saada pestyksi. Tämän tehtäessä ja valua jatkettaessa kivet saadaan menemään limittäin. Pestyn työsauman vetolujuus kohtisuorassa saumaa vasten on jopa 70 %:a käytettävän betonin vetolujuudesta. Leikkausta pesty sauma siirtää lähes homogeenisen betonin verran. (By 50, betoninormit 2004, 127.)



Kuvio 21. Levyä ja työsaumaverkkoa vasten valetut työsaumat. (By 50, betoninormit 2004, 127)



Kuvio 22. Pesty työsauma. (By 50, betoninormit 2004, 128)

3.2 Työsauman leikkauskestävyys ja lujuus

Betonille on ominaista pieni vetolujuus ja työsaumassa sen vuoksi työsauma vastaa halkeillutta liitosta. Leikkauskitkan periaate on käyttökelpoinen, kun kitkakerroin μ_v valitaan sopivasti. Työsaumojen on tutkittu mm. Canterburyn yliopistossa (Loeber 1970) ja kokeiden perusteella työsauman lujuuteen vaikuttavat monet tekijät:

- (1) Riittävästi raudoitettu työsauma pystyy kehittämään leikkauskestävyyden, joka on suurempi kuin taivutetun rakenteen leikkauskestävyys, kun betoni tarttuu työsaumaan kunnolla.
- (2) Tarttumattomuus vanhaan betoniin tuottaa noin kaksinkertaisen alkuliukuman verrattuna saumaan, jossa tartunta on olemassa ennen kuin leikkausvoimaa välitetään.
- (3) Hierretyt liittymäpinnat, joissa on pienin karheus aiheuttavat tartuntamurtumisen halkeaman ilmestyttyä.
- (4) Oikein suunnitellussa ja toteutetussa työsaumassa murtumisen leikkautumistaso on hyvin todennäköisesti työsauman alapuolella olevassa betonikerroksessa. Johtuen siitä, että vanhan betonin yläpinta on lajittunutta ja sen lujuus on pienempi kuin uudessa betonissa.

Työsauman leikkauslujuus $\tau_{Rdi.cr}$ huom. betoninormien mukaan lasketaan kaavasta:

$$\tau_{Rdi.cr} = \beta_1 \times \frac{A_s}{bs} \times f_{sd} + \beta_2 \times f_{ctd} + \mu_v \times \sigma_n \quad (14)$$

$$= \beta_1 \times \rho \times f_{sd} + \beta_2 \times f_{ctd} + \mu_v \times \sigma_n, \quad \sigma_n = \frac{N_{Ed}}{bs}, \quad \rho = \frac{A_s}{bs} \quad (15)$$

(Leskelä, M. 2008, 280.)

Taulukko 2; kertoimien β_1, β_2 ja μ_v suuruudet työsauman leikkauslujuuden laskemisessa. (Leskelä, M. 2008, 280)

| Työsauma | $\rho = \frac{A_s}{bs}$ | β_1 | β_2 | μ_v |
|--------------|-------------------------------|------------|------------|--------------------------|
| (1) Pesty *) | $\leq 0,15\%$ $\geq 0,5\%$ | 0,8 0,9 | 0,6 0,6 | $\leq 0,8$ $\leq 0,8$ |

| | | | | |
|---------------|---------------|-----|-----|------------|
| (2) Karhea *) | $\leq 0,15\%$ | 0,6 | 0,3 | $\leq 0,8$ |
| | $\geq 0,5\%$ | 0,9 | 0,3 | $\leq 0,8$ |
| (3) Sileä | $\leq 0,15\%$ | 0,4 | 0,2 | $\leq 0,6$ |
| | $\geq 0,5\%$ | 0,4 | 0,2 | $\leq 0,6$ |

Työsaumojen laatuvaatimusten tulee täyttyä seuraavasti:

- (1) Pestyksi työsaumaksi katsotaan sauma, jonka pinnassa laasti on poistettu pesemällä tai muulla vastaavalla menetelmällä 2...5mm syvyydeltä.
- (2) Karhennetun työsauman karheuden tulee olla 2...5mm syvä. Vaakasuora pinta voidaan karheuttaa esimerkiksi harjaamalla betonin pinta ennen sen sitoutumista ja pystysuora pinta käyttämällä esim. työsaumaverkkoja tai pestyä betonipintaa (ks. 2.1 työsaumat).
- (3) Kaikki saumat, jotka eivät täytä edellisen kohtien vaatimuksia, ovat sileitä.

(Leskelä, M. 2008, 280-281.)

Työsauman läpi kulkevaan raudoitukseen A_s saa laskea mukaan vain teräkset, jotka ovat ankkuroitu liittymän molemmin puolin mitoituslujuutta f_{sd} vastaavalle veto-voimalle ja joita ei käytetä samanaikaisesti hyväksi muita kestävyksiä laskettaessa. Saumaa vastaan kohtisuoran jännityksen saa ottaa huomioon vain, kun jännitys on puristusta. Jos jännitys on vetävä, niin $\mu_v = 0$ (μ_v on kitkakerroin). (Leskelä, M. 2008, 281.)

3.3 Työsaumaraudoitukset

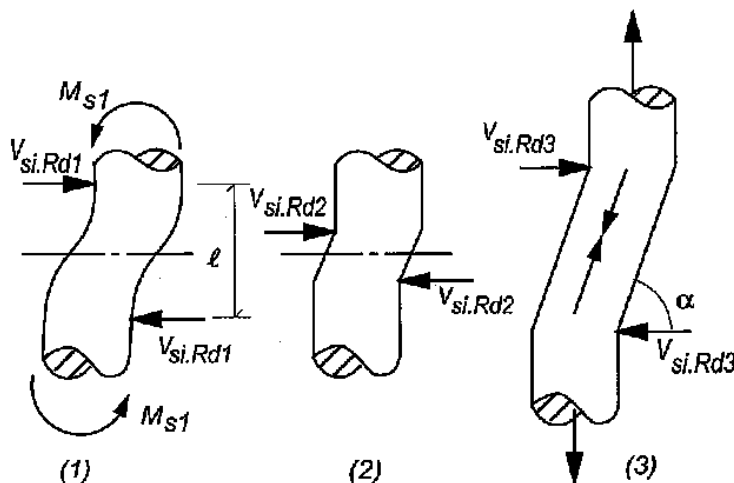
Markkinoilla on monen eri valmistajan työsaumaraudoituksia. Tänä päivänä työsaumaraudoitteet tehdään usein raudoite-elementtinä, koska sillä säästetään aikaa, se on helpompi suunnitella ja se on yksinkertaisempi tehdä. Raudoite-elementin ja työmaalla tehdyssä työsaumaraudoituksessa on eroja sen suunnittelussa. Käytännössä raudoite-elementin suunnittelu perustuu käyrästöihin ja taulukoihin, joista poimi-

taan sopivalla raudoituksella ja jaolla oleva työsaumaraudoitus, joka kestää siihen kohdistuvat kuormitukset. Taulukoissa on annettu tietyn raudoituksen ja eri jaolla olevien työsaumaraudoitusten lujuuskapasiteetit ja näihin voi verrata saatuja kuormituksia ja jännityksiä. Raudoite-elementtejä on monia erilaisia ja sopivuus tai käytettävyys täytyy valita kohteen mukaan. Raudoituksissa voi vaihdella esim. hakojen koko, määrä, laatu, taivutukset, tartuntapituudet, lujuudet ja kotelon mitat. Lisäksi kokonaislujuuteen vaikuttaa myös betonin lujuusluokka. Usein raudoite-elementin valintaan vaikuttaa rakenteeseen kohdistuva maksimi laskentaleikkausvoima, jonka mukaan valitaan sopiva työsaumaraudoitus.

3.4 Terästankojen vaarnavaikutus leikkaantumisessa

Vaarnavaikutus leikkaantumistason suhteet muodostuu kolmesta erilaisesta komponentista, jotka on esitetty kuviossa 23.

- (1) Taivutus
- (2) Puhdas leikkaus
- (3) Nivelöityminen



Kuvio 23. (Leskelä, M. 2008, 282)

Pelkkä taivutusvaikutus merkitsee kuvion 23 (1) mukaisessa tilanteessa terästangon leikkauskestävyyttä, joka lasketaan kaavasta:

$$V_{si,Rd1} = \frac{2M_{s1}}{l} = \frac{4\phi}{3\pi} \times \frac{A_{s1} \times f_{sd}}{l} \quad (16)$$

missä ϕ on tangon halkaisija ja l on plastisoituva pituus.

Puhdas leikkaus vastaa kestävyyttä:

$$V_{si,Rd2} = \frac{A_{s1} f_{sd}}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

Nivelöityminen tarkoittaa, teräkseen tulevia tietyllä etäisyydellä toisistaan olevia plastisia niveliä, jolloin nivelten väli pääsee siirtymään vinoon kulmaan α ja tangon vetovoima nivelten välissä on suurimmillaan, jolloin plastinen voima on $A_{s1} f_{sd}$. Tämän voiman vaakakomponentti on tapauksen leikkauskestävyys:

$$V_{si,Rd3} = A_{s1} f_{sd} \cos \alpha \quad (18)$$

(Leskelä, M. 2008, 282.)

4 JULKISIVUSAUMAT

4.1 Elementtien saumat ja saumausaineet

Elementtijulkisivuissa käytettävistä saumausmassojen ja – nauhojen ominaisuuksista tulee olla hyväksytyssä koelaitoksessa tehtyihin kokeisiin perustuva ennakkoselvitys. Työmaalla tulee olla tehtyihin selvityksiin perustuva varmennettu käyttöseloste. Eri-laisia saumausvaihtoehtoja ovat avosauma, nauhasauma ja kittisauma (saumamas-salla saumattu sauma), joka on suomessa yleisimmin käytetty saumaratkaisu.

4.2 Sandwich-elementti

Elementtien saumapinnan tulee olla tarpeeksi hyvin tiivistetty ja yhtenäinen siten, että sauma voidaan tehdä tiiviiksi. Pesubetonipintaiseen elementtiin tehdään yleensä ns. lyijykynäpyöröstys, jotta saumattavasta pinnasta saataisiin riittävän tiivis. Sauman täytyy olla tasalevyinen saumausmassatiivistyksen kohdalta, jotta pohjatäytenauha saadaan tukevasti puristuksiin saumaan. Sauman leveys on valittava siten, että saumaaineet kestävät elementin lämpö- ja kosteusliikkeet, sekä elementtien valmistuksessa ja asennuksessa sallittavat mittapoikkeamat. Taulukossa kolme on taulukoi- tu saumojen suunnittelulevydet suhteessa elementin sivun pituuteen.

Taulukko 3. Saumausmassalla saumatun julkisivun saumojen suunnittelulevydet (By 50, betoninormit 2004,94)

| Elementin sivun pituus [mm] | Sauman suunnitteluleveys [mm] |
|-----------------------------|-------------------------------|
| <5500 | 15 |
| 5500...7000 | 20 |
| 7000...9000 | 25 |
| >9000 | 30 |

Huom. pienempiä saumaleveyden arvoja voidaan käyttää jos saumausmassan tartunta ja venyvyys tutkitaan erikseen. Ulkokuoren taustatilan tulee olla tuulettuva saumatiivistystä käytettäessä. (By 50, betoninormit 2004, 93-94.)

4.3 Eriytetty julkisivu

Eriytetyllä julkisivurakenteella on etuja saumojen kannalta:

- Saumajaottelu ei ole riippuvainen sisäkuoren saumoista ja kerrosten lattiatason sijainnista.

- Elementin mittatarkka valmistus on helpompaa, joten valmistustoleranssia voidaan pienentää.
- Elementtien pystysaumassa käytetään kumiprofiilia, joka voidaan asentaa näkymättömiin kittisaumaa syvemmälle. Tämä on myös helppo vaihtaa käyttöiän päätyttyä. Vaakasaumoissa voidaan käyttää avosaumaa.
- Sauman tiiviysvaatimukset eivät ole niin tiukat johtuen tuulettuvasta rakenteesta.

Saumaprofiilin täytyy olla puristettuna kaikissa olosuhteissa. Profiilin leveyden a_p on oltava suurempi seuraavista arvoista

$$a_p > \frac{1}{p_1} \times (a + (\varepsilon_s + \varepsilon_t) \times L), \text{ tai} \quad (19)$$

$$a_p > \frac{1}{p_2} \times (-a + (\varepsilon_s - \varepsilon_t) \times L) \quad (20)$$

missä p_1 on saumaprofiilin sallittu venymiskyky (kesällä)

p_2 on saumaprofiilin sallittu kokoonpainumiskyky (talvella)

$a + (\varepsilon_s + \varepsilon_t) \times L$ on sauman suurin leveys talvella

$-a + (\varepsilon_s - \varepsilon_t) \times L$ on sauman pienin leveys kesällä,

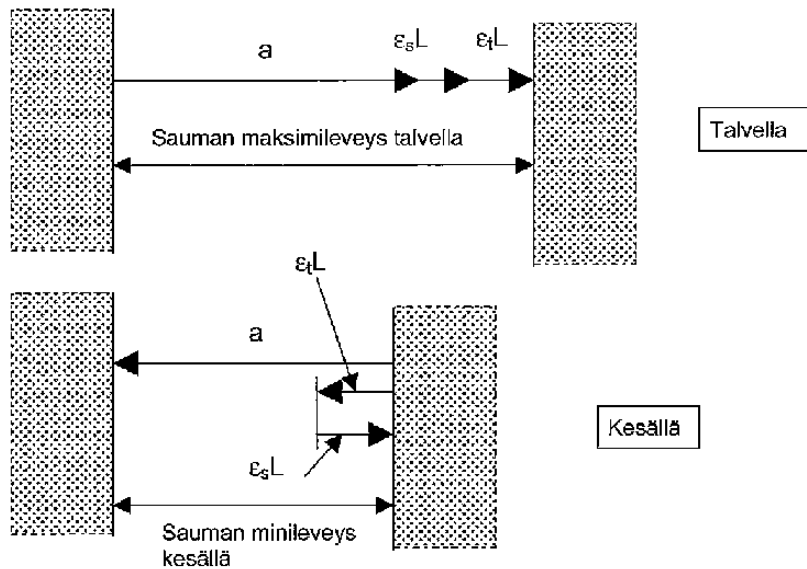
missä a on rakentamistoleranssi

ε_s on betonin kutistuma

ε_t on lämpölaajentuma (-) tai lämpökutistuma (+)

L on elementin pituus

Pienempää saumaleveyttä kuin 10mm tai suurempaa kuin 30mm ei tule käyttää. (By 50, betoninormit 2004, säilyvyysuunnittelu, 93-95.)



Kuvio 24. Eriytetyn sauman leveysvaihtelut. (By 50, betoninormit 2004, 95)

4.4 Julkisivuelementtien saumaus

Julkisivuelementtien saumausta koskevat ohjeet annetaan varmennettujen voimasaolevien betonielementtien saumausmassojen käyttöselosteiden käyttöohjeissa.

4.4.1 Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla

Tampereen teknillisessä korkeakoulussa tutkittiin elastisia saumausmassoja, koska jopa alle 3 vuotta vanhojen rakennusten saumat olivat vaurioituneet. Tutkimusten perusteella vauriot johtuivat pääasiassa virheistä ja laiminlyönneistä rakenteen suunnittelussa ja työnsuorituksessa. Myös käytössä olleissa ohjeissa oli parannettavaa. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 1.)

Julkisivusaumoilla on keskeinen asema ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa. Käytännössä saumausten laatuun ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota. Saumausrakenteessa tartuntapinnalla tai saumausmassassa olevista halkeamista aiheutuu julkisivuihin merkittäviä vesivuotoja. Eristetilaan päässyt ja ulkokuoreen imeytynyt kosteus luo otolliset olosuhteet julkisivun eri vaurioitumismekanismeille. Tutkimuksissa

on havaittu betonisandwich-elementtien homekasvustojen ja saumavaurioiden välillä selkeitä yhteyksiä. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 1.)

4.4.2 Sauman keskeisimmät laatutekijät

Sauman laatuun vaikuttavat

- saumausmassa ja sen ominaisuudet
- saumaolosuhteet
- saumattavat pinnat
- saumarakenteet
- työtekniikat

(Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 1.)

4.4.3 Käytettävät materiaalit

Julkisivusaumaukset altistuvat voimakkaille rasituksille, jolloin polymeerimateriaalien ominaisuudet heikkenevät. Saumausmassat muuttuvat hauraiksi ja ne kovettuvat. Sen seurauksena saumarakenne halkeilee tai tartunta irtoaa. Nykyisin on saatavissa tutkimuksissa kestäviksi todettuja saumausmassoja. Vaatimukset täyttäneille saumausmassoille on myönnetty betoniyhdistyksen varmennettu käyttöseloste. Tämän vuoksi julkisivusaumauksissa tulee käyttää ainoastaan käyttöselosteen saaneita saumausmassoja. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 1.)

4.4.4 Saumausmassan valinta

Saumausmassan valintaan vaikuttavia asioita ovat:

- Saumausmassan venyvyys.

- Alhaisen lämpötilan vaikutus.
 - o murtovenymään
 - o jännityksiin
 - o kutistumaan
- Vulkanoituminen.
 - o kylmässä ja lämpimässä
- Rasitusten kestävyys.
 - o UV-säteily
 - o eri lämpötilat
 - o kosteus ja vesi
- Kutistuvuus.
- Valuvuus.
 - o Kylmässä ja lämpimässä
- Värjävyys.

(Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 1.)

4.4.5 Saumausajankohta sekä olosuhteet

Saumarakenteen toiminta perustuu tartunnan muodostumiselle ja sen kestävyydelle. Tartunnan muodostumisen ehdoton edellytys on kuiva tartuntapinta. Tämän vuoksi saumaushetken säätilan tulee olla kuiva (ei sateinen eikä sumuinen). Ilman lämpötilan tulee olla + 5 °C - + 35 °C:n välillä. Lämpimällä ilmalla (> +20 °C) tulee erityisesti huolehtia, että saumojen leveydet ovat riittäviä. Alle + 5 °C:n lämpötilassa tulee noudata talvisaumausohjeita.

Saumausajankohdan valinnassa tulee pyrkiä koko ulkoseinärakenteen kosteusrasituksen pienenemiseen. Aloituksen tarpeeton pitkittäminen johtaa varsinkin pitkän sadekauden aikana sadeveden kertymiseen seinärakenteen sisälle. Ajankohdan valinta tulee kuitenkin tehdä siten, että saumattavat pinnat ovat kuivia. Yleispätevää saumausajankohtaa ei kuitenkaan voida määrittää, vaan valintaan vaikuttavat itse rakennus ja sen rakenteet, sekä rakennuksen kosteushistoria ja tulevat olosuhteet.

Tarkempia ohjeita annetaan julkaistavissa suunnittelu- ja työohjeissa. Saumauksen aloituksen tarpeettoman pitkittämisen sijaan on työmailla vähennettävä ulkoseinien eristetilaan pääsevää vesimäärää käyttämällä suojauksia ja työnaikaista sadevedenpoistoa. Avonaisilta välipohjalaatastoilta on sadevesi johdettava siten, ettei ulkoseinien eristetilaan kerry ylimääräistä kosteutta. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 1.)

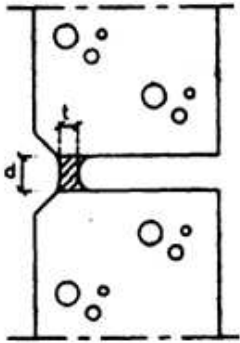
4.4.6 Saumattavat pinnat

Saumattavien pintojen tulee olla puhtaita, kuivia, riittävän lujia ja ehyitä. Pinnalla ei saa olla lainkaan irtoavaa ainesta, vaan kaikki irtoava aines (pöly, hiekka jne.) on poistettava. Pinnan kosteus heikentää saumausmassojen tartuntaa. Tarkkaa raja-arvoa ei kuitenkaan voida määrittää. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että pintojen tulee olla silmämääräisesti tarkasteltuna kuivia. Puhtauden ja kuivuuden lisäksi pinnoilta on tarkastettava lujuus ja eheys. Heikko tartuntapinta ei kestä muodonmuutoksista syntyviä jännityksiä, vaan se lohkeaa aiheuttaen saumarakenteen rikkoutumisen. Heikkolujuuksinen aines, esim. sementtiliimakerros tillilaattojen reunoissa, on poistettava hiomalaikalla. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 2.)

Laikalla hiomista on myös tutkittu Tampereen teknillisessä korkeakoulussa ja tulokset olivat: *Rakennusteollisuus pitää järjestelmällistä laikkaamisvaatimusta tehtaalla ylimitoitettuna siltä osin, kun saumattavat pinnat ovat tavanomaisia muottipintoja. Rakennusteollisuuden mielestä muottipinta soveltuu hyvin saumausmassan tartuntapinnaksi, eikä laikkaamalla saada aikaan parempaa tartuntaa. Järjestelmällinen laikkaaminen tuottaa myös pölyhaittoja, jotka ovat mm. työsuojelullisesti hankalia tiukentuneiden kvartsipölyn htp- arvojen vuoksi* (Betonisten julkisivuelementtien elastisilla massoilla saumattavien pintojen esikäsittelytarve 2008, 3.)

4.4.7 Saumarakenne

Saumarakenteen muoto ja sen mitat määrittelevät suurelta osin syntyvien jännitysten suuruuden. Sauman leveyttä tulee tarkastella aina suhteessa liittyvien elementtien mittoihin ja se suunnitellaan aina tapauskohtaisesti. Saumarakenteeseen kohdistuva liike ($l_{\max} - l_{\min}$) saa olla maksimissaan 25 %:a sauman leveydestä. Massan paksuus riippuu sauman leveydestä. Paksuudelle on määritelty minimi ja maksimiarvot leveyksien suhteen (kuvio 25). Sauman muodon tulee olla sisä- ja ulkopinnalta keskelle kapeneva, jolloin tartuntapinnalle syntyvät jännitykset pienenevät. Tasapaksu tai leveyteen nähden liian paksu saumausmassa lisää tartuntajännityksiä ja johtaa lopulta tartunnan irtoamiseen. Saumarakenteen riittävän tuuletuksen aikaansaamiseksi on mieluiten käytettävä tuuletuskoteloita, jotka mahdollistavat paremman ilmankierron kuin tuuletusputket. Maalatuissa elementeissä saumojen päällemaalaus on hyvin yleistä, vaikka on selvästi osoitettu päällemaalauksen heikentävän saumojen kestävyttä. Sauman yli ei saa levittää paksua pinnoitekerrosta, vaan massantoi-
mittajan luvalla voidaan käyttää ohutta pinnoitekerrosta. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 2.)



| Sauman leveys | Paksuuden minimi ja maksimi |
|---------------|-----------------------------|
| ≥ 8 mm | 4...7 mm |
| ≥ 13 mm | 5...8 mm |
| ≥ 21 mm | 6...9 mm |
| ≥ 30 mm | 9...12 mm |

Kuvio 25. Sauman paksuuden minimi- ja maksimitat suhteessa sauman leveyteen. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 2)

4.4.8 Työtekniikat

Saumarakenteen kestävyys tärkeimpiä tekijöitä on saumausalustan huolellinen käsittely pohjustusaineella. Pohjustusaine parantaa tartuntaa sekä toimii kosteussulkuuna betonialustan emäksiselle kosteudelle. Lisäksi se sitoo tartuntapinnalle mahdollisesti jääneet pölyhiukkaset. Käyttö pölynsidontaan on kuitenkin ehdottomasti kielletty. Pohjustusainetta saa levittää ainoastaan puhtaille ja kuiville pinnoille. Saumaussmassan pursotuksen jälkeen massa viimeistellään, jolla varmistetaan tartunnan muodostuminen sekä poistetaan massaan mahdollisesti jääneet ilmakuplat. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumaussmassoilla 1999, 2.)

4.4.9 Toteuttaminen alkaa suunnittelulla

Saumarakenteiden toteuttaminen alkaa suunnittelulla, jolloin määritellään saumarakenteen dimensiot, muoto ja saumadetaljit, käsittelyt tartuntapinnoille sekä tuulettustapa. Suunnittelun lähtökohtina ovat liitettävät elementit sekä käyttöselosteen saanut saumamassa. Sauman mitat määritellään tapauskohtaisesti elementin liikkeen mukaan. Paksuudelle määritellään minimi ja maksimipaksuudet. Suunnitteluasiakirjoissa on annettava vaatimukset keskeisimpien laatutekijöiden suhteen. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumaussmassoilla 1999, 2.)

Työmaalla ennen varsinaista saumaustyön aloitusta pidettävässä aloituspalaverissa käydään läpi saumauksen suorittamiseen liittyvät asiat ja sovitaan systemaattisista valvontatoimista. Varsinainen saumaustyö aloitetaan aina pintojen tarkastuksella ja havaittujen puutteiden korjauksella. Saumaustyön aikana tulee käyttää saumaustyön pöytäkirjaa. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumaussmassoilla 1999, 2.)

Julkisivusaumaukset ovat luonteeltaan hyvin vaikeasti valvottavia, mutta laadun parantamiseksi työn laatua on valvottava. Työmaajohdon tulee varmistaa, että saumauksia tehdään ainoastaan sallituissa olosuhteissa, valmiin rakenteen mitat ja muoto

ovat suunnitelmien mukaisia. (Julkisivusaumaukset elastisilla saumausmassoilla 1999, 2.)

5 SAUMARAUDOITTEET

5.1 Saumaraudoitusten yleisiä ohjeita

Saumaraudoitteet tulee suunnitella siten, että ne todella mahtuvat niille suunniteltuun tilaan. On hyvä muistaa, että esim. 12mm:n harjateräksen vaatima tila on todellisuudessa noin 15mm. Samoin on muistettava, että saumaan täytyy mahtua myös betonia, jonka suurin raekoko voi olla 8mm tai 16mm. Raudoitteena kannattaa käyttää yhden sijasta kahta pienempää terästä työteknisistä syistä. Raudoittajat varmasti taivuttavat mieluummin 10 mm:n terästä kuin 16 mm:n terästä. Vaarnasaumojen lenkkiteräksiä tulee porrastaa ja limittää riittävästi, jotta pystyteräksien pujottaminen todella onnistuu työmaalla. (By 30-4, betonirakenteiden yksityiskohtien ja raudoituksen suunnitteluohjeet 1989, 62.)

5.2 Vaijerilenkit

5.2.1 Vaijerilenkkien teknisiä tietoja

Nykyään suositaan lenkkiteräksien sijasta enemmän vaijerilenkkejä vaarnasaumoissa. Vaijerilenkki valmistetaan korkealujuus teräksestä, jonka myötölujuus esimerkiksi Peikon lenkeillä on 1770 N/mm^2 . Vaarnalenkit koostuvat pellistä taivutetusta vaarnakotelosta ja sen läpi pujotetusta vaijerilenkistä. Vaijeri on yhdistetty lenkiksi ankkurikappaleena toimivalla puristeholkilla. Sekä kotelo, että lenkit ovat sinkittyjä ja jälkikä-

teen passivoituja kromatoinilla. Vaijerilenkit helpottavat raudoitusta ja elementtien kiinnitystä toisiinsa työmaalla.

5.2.2 Toimintatapa

Sauman kuormitustilanteessa valusauman pituussuuntainen leikkausvoima jakaantuu vaarnan vaikutusalueella vinoon puristuskomponenttiin (45 astetta) ja vaakasuoraan vetokomponenttiin. Leikkausvoiman vino puristuskomponentti välittyy vaarnakoteloitten muodostuville vaarnojen avulla elementeille betoni-betoni liitos- ja tartuntapintojen välityksellä. Leikkausvoiman vaakakomponentti siirtyy elementistä saumaan betonin ja vaijerilenkin suoran osuuden ja puristeholkin tartunnan välityksellä. Leikkausvoiman vaakakomponentti siirtyy elementtien välisessä saumassa vetoliitoksena, jonka muodostavat vastakkaisten elementtien vaijerilenkit, lenkkien läpi saumaan asennettava raudoitustanko ja saumabetoni.

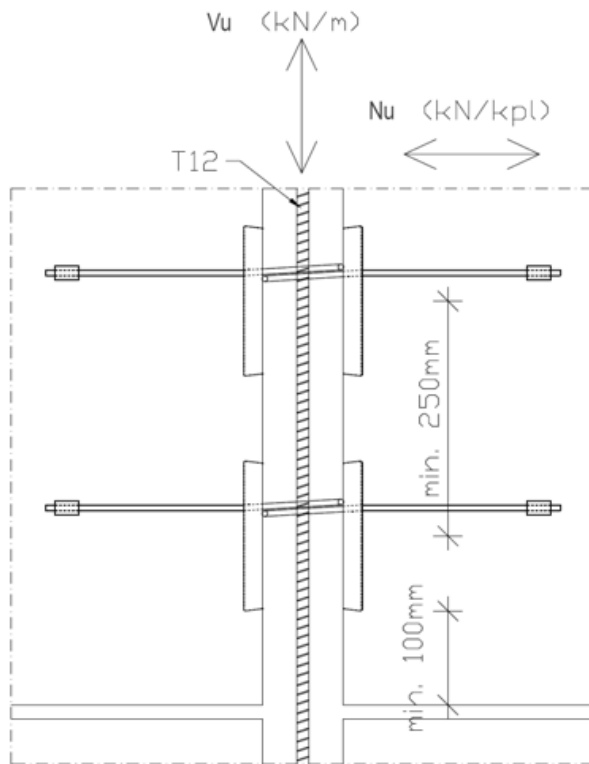
5.2.3 Käyttö

Vaijerilenkeillä valusauman minimipaksuus on 80 mm:ä. Vaijerilenkkityyppi 80:llä elementtien sauman ohjeellinen leveys vaihtelee 90 – 110 mm:n välillä. Vaijerilenkkityyppi 100:lla 110 – 140 mm:n ja vaijerilenkkityyppi 120:llä 140 – 190 mm:n välillä. Mikäli ohjeelliset arvot ylittyvät tarvitaan rakennesuunnitelman mukainen lisäraudoitus. Vaijerilenkkejä ei saa käyttää liitoksiin, jotka voivat joutua seismisten tai dynaamisen rasituksen alaisiksi. Myöskään näitä ei pidä käyttää nostoihin tai nostolenkkeinä. Vaijerilenkkityyppi valitaan sauman paksuuden mukaan. Vaijerilenkkejä on limittävä niin, että pystyteräs mahtuu molempien lenkkien läpi. Limittäytyvät lenkit laitetaan taipuisuuden ansiosta keskenään samalle korkeudelle.

Maksimietäisyys vaijerilenkeillä toisiinsa nähden korkeussuunnassa on 20 mm:ä 6 mm:n vaijerilenkeillä ja 32 mm:ä 8 mm:n vaijerilenkeillä. Kahden vaijerilenkkiparin

välinen etäisyys on oltava vähintään 250 mm. Lenkkien täytyy pysyä 90:n asteen kulmassa suhteessa pystysaumaan, betonin kovettumiseen asti. Vaijerilenkkien ankkuroituminen rakenteeseen varmistetaan limittämällä lenkki tarpeeksi muun raudoituksen kanssa. Hyvin usein ankkurointiin riittää pelkkä normien mukainen minimiraudoitus. Yleisohje neuvoo, että k-jaon ollessa 250 - 400 mm, tarvittavaan limitykseen riittää T6 k/k150 molemmissa elementin pinnoissa, sekä 6 mm:n U-haati lenkki kohdalla. K-jaon ollessa 450 – 700 mm, riittää pelkkä T6 k/k150 molemmissa pinnoissa. Yli 700 mm:n lenkkivälillä ankkurointia ei tarvita.

Ankkuroinnin varmistaminen riippuu myös lenkkityypistä, näiden eri pituuksien vaihdellessa. Tämä edellä mainittu tapa kuitenkin riittää ankkurointiin suurimpaan osaan suomessa olevista vaijerilenkeistä. Raudoittamattomassa seinässä seinän minimipaksuus täydelle kapasiteetille on 120 mm. Taipuisat vaijerilenkit kestävät useita taivutuksia ja täten mahdollistavat elementtien onnistuneen asennuksen murtamatta betonia tiheälläkin jaolla. Mikäli lenkki taivutetaan lähellä saumaa, on mutkaan asennettava vähintään 10 mm:n lisäraudoitus pystyyn. Lenkkien asennuksessa on noudatettava betoninormien tai eurokoodien suojaetäisyysvaatimuksia, jotka täyttyvät automaattisesti noudattaessa valmistajalta annettuja reunaetäisyyksiä. Lenkkiä käytettäessä on betonin lujuusluokan oltava vähintään C25/30 (K30). Pystyteräksenä lenkkisaumoissa on käytettävä vähintään T12 harjaterästä, mutta lenkin vaijerin halkaisijan kasvaessa kahdeksaan millimetriin on saumoissa käytettävä T16 pystyteräksenä vaijerilenkkien sisällä. Sauman juotosbetonina on suositeltavaa käyttää samaa betoninlujuusluokkaa kuin elementit, mutta kuitenkin vähintään C25/30 lujuusluokkaa. Käytettävä lenkkityyppi määräytyy sauman leveyden ja saumaan tulevien rasiusten mukaan. Lenkkijako ja tarvittava betoninlujuus määräytyvät rakennelaskelmissa saatavien leikkausvoimien perusteella. Elementtipiirustuksissa on ehdottomasti ilmoitettava, kummissa päissä vaarnasyvennystä vaijerilenkki sijaitsee.



Kuvio 26. Vaijerilenkkien minimimietäisyydet.

5.2.4 Kapasiteetit ja sallitut kuormat

Vaijerilenkkien kapasiteettien laskemiseksi ovat vaijerilenkkien valmistajat hakeneet käyttö- ja suunnitteluohjeet yhteistyössä betoniyhdistyksen kanssa. Nämä suunnitteluohjeet ovat nimeltään käyttöselosteita. Lähes kaikki käyttöselosteet ovat tällä hetkellä rakennusmääräyskokoelman mukaisia. Kyselin vaijerilenkkien kapasiteettien laskemiseksi löydettyjä kaavojen soveltuvuutta eurokoodeihin muun muassa eurokoodi help deskistä ja betoniyhdistyksestä. Betoniyhdistyksen mukaan vanhat käyttöselosteet jäisivät voimaan, ja täten tulisi tällainen normien sekakäyttö. Sekakäyttö on muuten ehdottomasti kielletty eurokoodien ja Rakennus määräyskokoelman välillä, mutta ilmeisesti käyttöselosteissa tulevaisuudessa voidaan sallita jonkinlainen sekakäytön menettely. Soitin myös erään valmistajan/maahantuojan edustajalle kysyäkseni hänen mielipidettään vaijerilenkkien kapasiteettien laskemiseksi ja hän olikin sitä mieltä, että vaijerilenkkien käyttäytymisessä ja toimintaperiaatteissa on hie- man erimielisyyksiä eri tahojen kanssa ja tätä ilmeisesti pitäisikin testata enemmän

koekuormituksilla VTT:llä. Vaijerilenkkien kapasiteettien laskemiseksi on suomessa ainakin kaksi erilaista laskukaavaa, jotka antavat hyvin lähelle saman tuloksen. Lisäksi on by 30-4:n kirjan sivulla 24 mainittu kaava (4.3), jossa on lenkkiraudoitus, mutta tämä laskukaava ei ota huomioon vaarujen leikkauspinta-alaa, mihin taas nämä kaksi edellä mainittua kaavaa taas ottaa. Lisäksi kirjassa ei ole mainittu ovatko lenkkiraudoitukset todella vaijerilenkkejä vai harjateräslenkkejä. Kirjan kaavaa voi käyttää vaijerilenkkikapasiteettien laskemiseksi, mutta kirjassa ole tarkennettu kaikkien termien laskutapoja. Kuviossa 23 on piirretty esimerkkikuva sauman suuntaisten voimien ottaminen vastaan eri kapasiteeteilla. Vaarnalenkkien leikkausvoimakapasiteetit sauman suunnassa voidaan laskea joko kaavan 21 tai 22 avulla, mikäli käytetään Revon tai Eaglefinnin lenkkejä. Jos lenkkityyppinä käytetään Semtun tai Peikon lenkkejä voidaan kapasiteetit laskea kaavan 23 mukaan.

$$V_u = \frac{0,4 * A_{sl} * 500 + 0,26 * f_{ctk} * b_s * s + 0,74 * A_v * f_{ctk,s}}{s / 1000 * 1,8} \quad (21)$$

$$V_u = \frac{0,4 * A_{sl} * 500 + 0,26 * f_{ctk} * (b_s * s - A_v) + A_v * f_{ctk,s}}{s / 1000 * 1,8} \quad (22)$$

missä

V_u = leikkausvoiman kapasiteetti [kN/m]

A_{sl} =lenkin vaijerin pinta-ala * 2 [mm²]

f_{ctk} =betonin ominaisuusvetolujuus [N/mm²]

$f_{ctk,s}$ =saumalaastin ominaisuusvetolujuus [N/mm²]

b_s =elementin paksuus [mm]

s =lenkkijako [mm]

A_v =vaarnan leikkauspinta-ala [mm²]= $b * l$ (kotelon leveys, b * kotelon pituus, l)

$$V_u = \frac{b_1 \sqrt{f_{ck} * \alpha * (0,04 + 0,44 \mu * f_{yk})}}{\gamma} \quad (23)$$

missä

V_u = leikkausvoiman kapasiteetti [kN/m]

b_{fu} =kotelon sisään jäävän vaarnan leikkautuva leveys [mm]

b_{fe} =kotelon väliin muodostuvan vaarnan leveys [mm]

b_1 =vaarnoitetun alueen leveys [mm]

h_{fe} =koteloiden väliin muodostuvan vaarnan korkeus [mm]

A_s =vaijerilenkin teräspinta-ala/leike [mm²]

f_{yk} =vaijerilenkin lujuus [N/mm²]

f_{ck} =betonin ominaislujuus [N/mm²]

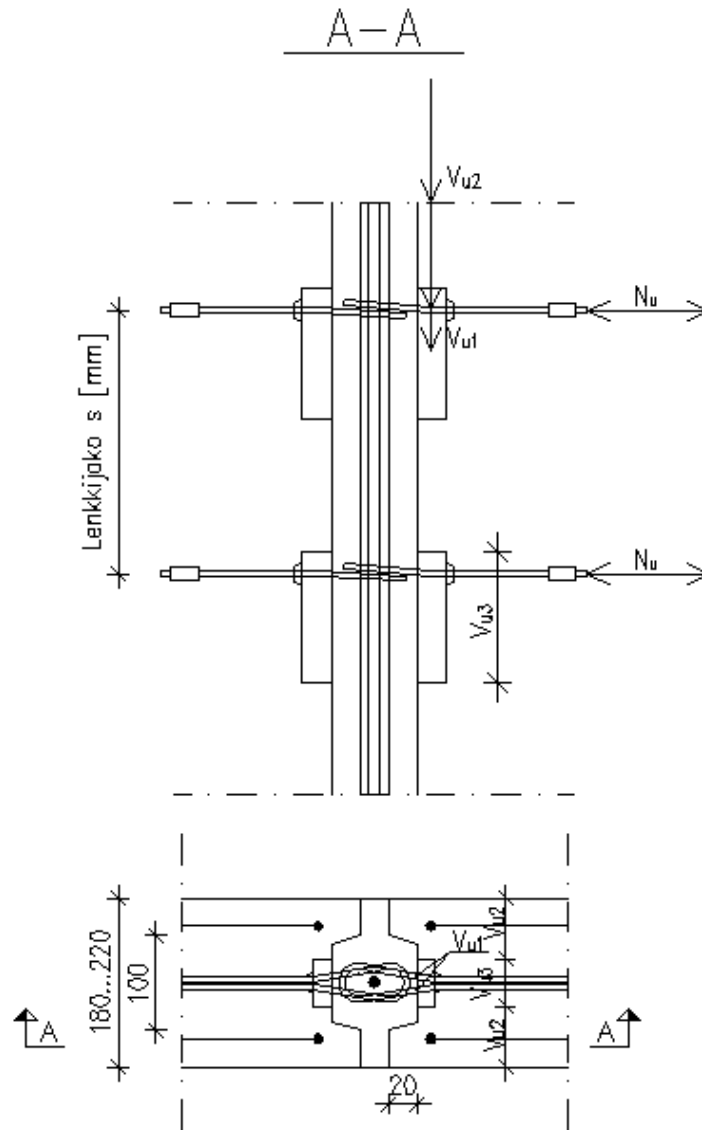
s =lenkkijako [mm]

α =vaarnasuhde; $\alpha = \frac{h_{fu} * b_{fu} * n}{b_1 * L}$ tai (pienempi) $\alpha = \frac{h_{fe} * b_{fe} * n}{b_1 * L}$

μ =lenkkiraudoituksen pinta-alan suhde vaarnoitetun osan pinta-alaan $\mu = \frac{2 * A_s}{b_1 * s}$

n =vaarnojen lkm tarkastelevan pituuden matkalla [kpl]

L =sauman pituus [mm]



Kuvio 27. Leikkausvoimakapasiteetit sauman suunnassa.

missä

$$V_{u1} = \text{vaijerilenkin leikkauskapasiteetti} = 0,4 \cdot A_s \cdot f_{yk}$$

$$V_{u2} = \text{sauman leikkauskapasiteetti ilman vaarnakotelon kohtaa} = 0,2 \cdot f_{ctk} \cdot (b_s \cdot s - A_v)$$

$$V_{u3} = \text{vaarnakotelon kohdan leikkauskapasiteetti} = f_{ctk} \cdot A_v$$

$$N_u = \text{sauman vaakavoimakapasiteetti}$$

Kokonaisleikkauskapasiteetti saumametriä kohti:

$$V_u = \frac{(V_{u1} + V_{u2} + V_{u3})}{s / 1000 \cdot 1,8} \quad (24)$$

Kaavat 21 ja 22 ovat saatu käyttöselosteista N:o 253 ja 299. Kummatkin kaavat antavat lähes samoja tuloksia, mutta joitakin eroavuuksia löytyy vaihdellessa betonin lujuutta ja lenkkijakoja. Kaavat antavat paljon pienempiä arvoja, kuin mitä eri valmistajien taulukot antavat pienillä lenkkijaoilla, mutta mentäessä pidempiin lenkkijakoihin (esim. k-700) kaavat antavat suurempia arvoja kuin mitä valmistajien taulukot. Tämä itseäni hieman yllätti ja ihmetytti. Todellisuudessa lenkit kestävät enemmän kuin mitä valmistajien taulukot antavat. Näin minulle kertoi erään valmistajan edustaja. Hän sanoi, että taulukoiden arvot ovat saatu testauksissa saatujen tuloksien perusteella ja todellisuudessa tällaiset vaarnalenkit kestävät suurempia voimia. Heidän omien laskentakaavojensa mukaan lenkit kestävät suurempia arvoja kuin mitä testauskokeissa havaittiin. On myös käynyt niin, että testauksissa valmistaja/maahantuojalla on saanut parempia kapasiteetti arvoja kuin mitä kilpailijalla, mutta ilmeisesti on haluttu pelata varman päälle ja maahantuojat ovat ilmoittaneet samat kapasiteetti arvat kuin mitä kilpailijallakin. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että molemmilla maahantuojalla on saman valmistajan lenkit ja ei ole haluttu ruveta muuttamaan toisen tuloksia, koska tällöin ne riitelisivät toistensa tuloksia vastaan.

Kaavojen käytettävyydelle eurokoodeille tein pienen vertailun eurokoodin ja rakennusmääräys kokoelman välillä. Laskin molempien määräysten mukaan ääriarvoja eri lenkkityypeillä, betonin lujuuksilla ja lenkkijaoilla. Päädyin vertailussa tulokseen, että eurokoodin määräysten mukaan laskettuna kaava antaa 5-7%:a pienempiä tuloksia kuin rakennusmääräys kokoelman mukaan. Tämä myös vahvisti asiaa, että kaavoja

voidaan käyttää mahdollisesti myös eurokoodilla laskettaessa. Onhan esimerkiksi käyttöseloste N:o 253 voimassa vielä 20.10.2011 asti.

Rakennemallissa saumarakenne siirtää leikkausvoiman vaijerilenkkien, saumavalun ja vaarnakotelon leikkauskestävyyksien avulla viereiselle betonielementille. Vaarnalenkkien leikkausvoimakapasiteetit kohtisuoraan saumaa (seinää) vasten saadaan samalla periaatteella kuin sauman suunnassa, vinon puristuksen ja lenkiparin veto-voiman kautta. Tämä vaatii kuitenkin sauman muodon tapauskohtaista määrittelyä. Lenkiparin vetovoimana käytettävät arvot saadaan sauman suuntaisten kapasiteettien kautta kaavasta 25.

$$V_{ul} = \frac{0,4 * A_{sl} * 500}{s / 1000 * 1,8} \quad (25)$$

missä

V_{ul} = lenkiparin ottama leikkausvoiman laskentakapasiteetti [kN/m]

A_{sl} = lenkin vaijerin pinta-ala *2 [mm²]

s = lenkijako [mm]

5.2.5 Asentaminen

Vaarnalenkkien asentaminen muottiin

Vaarnalenkit naulataan muottiin kotelossa olevien reikien läpi. Kotelo asennetaan siten, että vaijerilenkki jää kotelon alareunaan. Betoniin jäävä vaijeri ei saa olla yli 90:n asteen kulmassa koteloon nähden ja se tulee sitoa pieliteräkseen. Asennuksessa on noudatettava normien mukaista minimi betonipeitevaatimuksia. (RVL-vaarnalenkit 2008, 12.)

Vaarnalenkien asennus työmaalla

Valukoteloista poistetaan aluksi suojateipit. Vaijerilenkit käännetään ulos koteloista ennen elementtien asentamista. Vaijerilenkit kääntyvät ulos ilman työkaluja. Elementtien asennuksen jälkeen pujotetaan saumateräs kaikkien lenkkien läpi. Tämän jälkeen voidaan juotosbetoinoida rakennesuunnitelmien mukaisella betonilla. Suosituksena on käyttää vähintään C25/30 (K30) lujuusluokan betonia. C20/25 (K25) lujuusluokan betoni on kuitenkin ehdoton minimi. (RVL-vaarnalenkit 2008, 13.)

Asennuksen valvonta ja varastointi

Ennen elementin valua tarkistetaan onko muotissa elementtipiirustuksen mukaiset vaarnalenkit kuvan mukaisella jaolla ja mahdolliset tarvittavat jatkosteräkset. Vaarnalennekkejä tulee varastoida sateelta suojassa. (RVL-vaarnalenkit 2008, 13.)

5.3 Ontelolaatastojen saumaraudoitteet

Ontelolaattatason toimiminen yhtenäisenä saavutetaan betonoimalla ja raudoittamalla laattatason saumat. Tason toimiessa jäykistävänä levynä edellyttää tämä oikeanlaista raudoituksen asennusta ja betonointia. Tangot on sijoitettava oikealle korkeudelle saumassa, eikä niitä saa jättää sauman pohjalle. Erytystä huomiota on kiinnitettävä vetoraudoituksen ankkurointiin, leikkausvoiman siirtymiseen jäykistäville pystyrakenteille ja raudoitusten riittävän pitkiin limijatkoksiin. Jos saumaan on sijoitettu useampia tankoja, niitä ei saa jatkaa samassa kohdassa. Rengasraudoitus toimii laataston vetoraudoituksena ja saumaraudoitus leikkaus- ja katastrofiraudoituksena. (By 30-4, betonirakenteiden yksityiskohtien ja raudoituksen suunnitteluohjeet 1989, s. 62.)

6 SKOL-HANKE

6.1 Lähtökohdat

SKOL ry on suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto, jonka tehtävänä on jäsenyritysten liiketoiminnan kehittäminen, parantaminen, sekä edistää suomalaista konsulttitoimintaa.

SKOL:n hanke aloitettiin kartoittamalla kyselyjen avulla yritysten ja koulujen käytössä tällä hetkellä olevien laskentapohjien määrä, taso ja laajuus. Kyselyn avulla pystyttiin kartoittamaan kuinka paljon valmiita laskentapohjia olisi erilaisille mitoitustehtäville ja montako niitä olisi oltava yhteensä, jotta tarvittavat ja yleisimmät laskenta-tehtävät täyttyisivät. Kaupallisia laskentapohjia on saatavilla rajoitetusti ja ulkomaiset sovellutukset eivät hyvin todennäköisesti sisällä kansainvälisiä liitteitä eli maan omia määräysten lisäyksiä ja tarkennuksia. Toimistoissa käytössä olevat laskentapohjat perustuvat yleensä rakennusmääräyskokoelmaan, mutta joissakin toimistoissa oli jo omaehtoisesti aloitettu eurokoodeihin perustuvien laskentapohjien teko. Kartoituksen mukaan tarvittavia laskentapohjia oli yhteensä noin 150 kpl. Materiaalijärjestöjen, oppilaitosten ja toimistojen keskeneräisiä tai päivitystä vailla olevia laskentapohjia oli noin 120:een eri mitoitustehtävään. Koko hankkeen tavoitteena on tehdä käytännön rakennesuunnitteluun hyvin soveltuvat, riittävän tasokkaat ja virheettömät laskentapohjat ja jakaa nämä osallistujien kesken 1.4.2010 mennessä, jolloin eurokoodit otetaan käyttöön tämän hetken tiedon mukaan. Oma osuuteni oli kahden ohjelmistosovellutuksen tekeminen yhteistyössä opinnäytetyön tilaajan, Controlteam Oy:n kanssa.

Pääperiaatteena projektissa on, että laskentapohjien laatiminen tapahtuu vastavuoroisuus- ja tasapuolisuusperiaatteella, jossa otetaan huomioon tekijän resurssit ja tulevat hyödyntämismahdollisuudet. Projektien koot siis vaihtelivat toimistokoon ja koulutustason mukaan. Suurille toimistoille (yli 20 henkilöä) tehtäväksi tuli vähintään

kahden ja pienille sekä oppilaitoksille vähintään yhden laskentapohjan teko. Myös arvioidut työtuntimäärät vaikuttivat laskentapohjien määrään per yritys.

Projektin tarkoituksena oli jakaa kaikki laskentaohjelmat kaikkien osallistujien kesken niin, että rahallisia kompensatioita ei käytetty. Mukana olevat suunnitteluyritykset voivat hyödyntää laskentapohjia omassa liike-, opetus- ja koulutustoiminnassaan, mutta eivät luovuttaa niitä kolmansille osapuolille. Materiaalijärjestöjen jäsenet voivat hyödyntää pohjia tuotekehitystoiminnassaan, mutta järjestöt eivät saa hyödyntää tuloksia kaupallisesti. Mukana olevat oppilaitokset voivat hyödyntää pohjia opetus-toiminnassa, mutta eivät luovuttaa niitä edelleen kaupallisesti hyödynnettäviksi. Projektin yhteydessä pyrittiin sopimaan laskentapohjien keskitetystä ylläpidosta ja kehityksestä. Tämän hetkisen käsityksen mukaan jokainen suunnittelutoimisto ja koulu tms. ovat itse vastuussa pohjista ja näiden kehityksestä.

6.2 Hankkeen organisointi

27.8.2008 päivitettyjen tietojen mukaan osallistumishalukkuutensa hankkeeseen ilmaisi 11 toimistoa (8 isoa ja 3 pienempää), 7 ammattikorkeakoulua, sekä teknillinen korkeakoulu, betoniyhdistys ja teräsrakenneyhdistys. Koko projektissa oli mukana yhteensä noin 30 eri osapuolta.

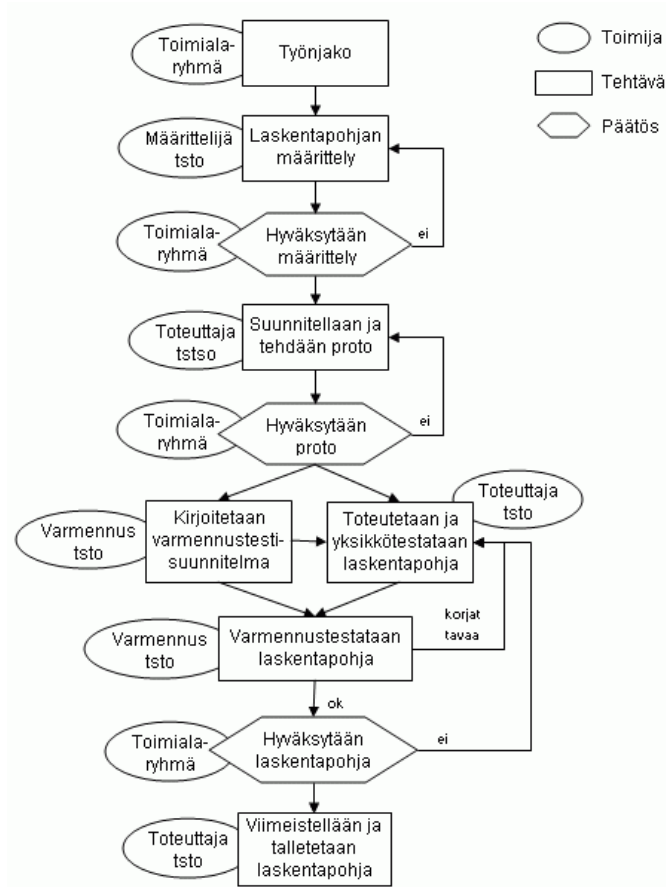
Käynnistyspalaverissa 25.6.2008 hankkeelle valittiin ohjausryhmä, muodostettiin toimialaryhmäjako, päätettiin ryhmiin osallistujat ja valittiin ryhmille vetäjät. Ryhmiä täydennettiin sitä mukaa, kun osallistumishalukkaita ilmeni.

Ryhmät jakoivat laskentapohjat kolmeen vaiheeseen (I, II ja III) niiden tärkeysjärjestyksen mukaan. Jako toimi perustana hankkeen aikataululle siten, että I sovellutukset olisivat olleet valmiina 31.12.08, vaiheen II sovellukset 30.06.09 ja vaiheen III 31.12.2009 mennessä. Tämä ei käytännössä toteutunut ja vaiheen I ja II sovellukset saivat lisäaikaa. Ohjausryhmä päätti kokouksessaan 14.5.2009, että kukin tekijä saa muiden tekemät ohjelmapihjat käyttöönsä vasta sen jälkeen, kun on suorittanut oman osuutensa kulloinkin luovutettavan vaiheen töistä. Tämä katsottiin aiheelliseksi, koska laskentapohji-

en tekijöiden oli vaikea pysyä aikataulussa. Lisäksi laskentapohjien edistymisen valvontaa lisättiin kahteen kertaan kuukaudessa tapahtuvilla yrityskohtaisella raportoinnilla SKOL:iin ja hankkeen testauskoordinaattorille. Raportteihin yritykset merkitsivät tapahtuneet muutokset laskentapohjien valmiusasteisiin ja testausasteisiin. Ohjausryhmä päätti myös sanktioista, jos aikatauluista ei pidetä kiinni. Mikäli tekijä myöhästyi yli kolme ja testausvastaava kaksi kuukautta ilman etukäteen ilmoitettua perusteltua ja hyväksyttävää syytä, niin ohjausryhmä joutuisi kokoontumaan ja käynnistämään neuvottelut viivästyneen pohjan teettämiseen muilla osapuolilla ja viivästyneen osapuolen sulkemista pois hankkeesta.

6.3 Työprosessin kuvaus

Laadintahankkeessa olevat rakenneosan laskentapohjat ovat jokainen erillisprojektina. Yhden laskentapohjan projektin kulku oli seuraavan kaavion mukainen:



Kuvio 28. Työprosessin kulku. (Eurocode- laskentapohjien laadintahanke 2008, 4)

6.4 Työnjako

Toimialaryhmä päätti rakenneosan laskentapohjan työnjaosta. Työnjaossa määriteltiin, mikä osapuoli teki kunkin laskentapohjaprojektin työvaiheen. Toimialaryhmä päätti myös laskentapohjaprojektin vaiheaikataulut. Ryhmä valitsi seuraavat toimijat ja alustavan aikataulun heille:

- (1) Laskentapohjan määrittelyn kirjoittaja. Kirjoittajana voi toimia laskentapohjan toteuttaja.
- (2) Laskentapohjan toteuttaja.
- (3) Laskentapohjan laskennan oikeellisuuden varmentaja. Tämä ei voinut olla sama kuin toteuttaja.

6.5 Laskentapohjan määrittely

Määrittelijä kirjoitti rakenneosan laskentapohjan vaatimukset määrittelyohjeen mukaan. Tein itse vaatimuksen määrittelyn, joka on liitteenä, mutta projektin edetessä jouduin luopumaan muutamista määrittelyn vaatimuksista betonielementtisaumojen kohdalla. Huomasin muutamien vaatimusten olevan tähän projektiin soveltumattomia, joten näistä oli luovuttava. Mielestäni vaatimusten määrittelyn olisi voinut tehdä joku toimiston kokenut suunnittelija, joka olisi nähnyt heti, mitkä kapasiteetit ohjelman olisi tarkistettava ja mitä lähtötietoja ohjelmaan olisi syötettävä saadakseen halutun tuloksen.

6.6 Laskentapohjan määrittelyn hyväksyminen

Toimialaryhmä katsoi laskentapohjien määrittelyt läpi ja lähetti nämä kaikille ryhmän osallistujille, minkä jälkeen jäsenet saivat kommentoida määrittelyjä vapaasti ja ehdottaa muutoksia. Kommentointikierron jälkeen toimialaryhmä tarkasti vielä määritellyn rakenneosan laskennan riittävän kattavuuden, rajauksen ja tarkkuuden.

Mikäli määrittelyyn haluttiin muutoksia ja/tai lisäyksiä, määrittelyn kirjoittajan tuli tehdä muutokset ja hyväksyttää uudestaan toimialaryhmällä. Määrittelyn hyväksymisen yhteydessä toimialaryhmä arvioi uudelleen laskentapohjan toteuttamiseen tarvittavan työtuntimäärän ja aikataulun. Ryhmä myös päätti määritetyn laskentapohjan toiminnan rajauksesta. Jos rakenneosan laskenta olisi ollut laaja, ryhmä olisi voinut jakaa laskennan toteuttavaksi useammalla laskentapohjalla.

6.7 Proton suunnittelu ja hyväksyminen

Proto on laskentaohjelman esimerkki siitä millainen suunnilleen laskentaohjelma tulisi näyttää ja miten toimia. Proto täytyi hyväksyttää toimialaryhmällä, ja tämän jälkeen pääsi keskittymään tarkemmin ohjelman eri laskentavaiheisiin. Protoksi riitti lähtötietojen esimerkkisivu ja laskennan toteutuksen kertominen. Itse näytin oman protoni kokouksessa, jossa se myös hyväksyttiin.

6.8 Toteutus ja yksikkötestaus

Toteuttaja ohjelmoi laskentapohjan toiminta-, käyttöliittymä- ja dokumentointiohjeen mukaan ja yksikkötestasi ohjelmansa. Yksikkötestauksessa tekijä tarkasti laskennat, nimiöt, tekstit, selostukset sekä toiminta- ja käyttöohjeet. Tämän jälkeen pohja lähetettiin varmennustestaajalle, joka aluksi tarkasti kaikki ohjelmaan liittyvät asiat läpi ja lähetti mahdollisen korjausehdotuksensa toteuttajalle. Näin kauan toimittiin kunnes molemmat osapuolet olivat varmoja ohjelman kaavojen ja pohjan asioiden oikeellisuuksista.

6.9 Varmennustestaus

Varmentaja testasi ohjelman oikeellisuuden varmennustestisuunnitelman mukaisesti. Varmennustestaus suoritettiin käyttäen laskennan lähtömuuttujissa raja-arvoanalyysin teorian mukaisia arvoja ja näitä verrattiin haluttuihin tuloksiin, jotka piti

saada jollain muulla tavalla kuin kyseisellä ohjelmalla laskemalla. Jos varmennustestaustuksessa havaittiin vikoja ja eri tuloksia kuin halutut tulokset, oli tästä ilmoitettava toteuttajalle, jonka täytyi korjata pohja uutta varmennustestausta varten. Esimerkkejä varmennustestiraportista on liitteessä 1-4.

6.10 Laskentapohjan hyväksyminen

Toimialaryhmä katselmoi varmennustestin onnistuneesti läpäisseen laskentapohjan. Katselmoinnissa tarkastettiin ohjelman yhteisten ohjeiden noudattaminen, pohjan vaatimusten määrittelymukaisuus, laskennan perusteiden ja – teorian toteuttaminen sekä laskentapohjan käytettävyys. Myös lomakkeen toiminta- ja käyttöohje tarkastettiin. Ryhmän katselmoinnin kohteiksi joutuivat myös varmennustestiraportit, joista arvioitiin varmennustestien vakavuus, oleellisuus ja kattavuus. Mikäli ryhmä haluaa muutoksia ja/tai lisäyksiä, toteuttajan oli tehtävä muutokset ja hyväksyttävä pohja uudelleen toimialaryhmällä. Jos ryhmä halusi varmennustesteihin muutoksia ja/tai lisäyksiä oli testaajan tai varmentajan tehtävä muutokset ja hyväksyttävä myös nämä uudelleen toimialaryhmällä.

6.11 Laskentapohjan viimeistely ja paketointi

Toteuttaja viimeisteli laskentapohjan ja paketoiti tiedoston zip-tiedostoksi ja toimitti sen toimialaryhmälle sähköpostilla. Ohjelmani 0.3- versiot löytyvät liitteistä 5-23.

7 POHDINTA

En ennen opinnäytetyötäni tiennyt betonisaumoista juurikaan muuta, kuin mitä liittyy työtekniisiin asioihin, ja projektin alku olikin haastavaa hahmotellessa, mitä asioita olisi otettava huomioon tällaisen ohjelman teossa. Ohjelmien täytyi pohjautua eurokoodin mukaisiin asetuksiin ja määräyksiin, eli vanhoista rakennusmääräyskokoelman opituista määräyksistä ei ollut tässä projektissa apua. Ongelmaksi tulikin opetella eurokoodi siinä määrin, että pystyin aloittamaan ohjelmoinnin. Ohjelmointikieleksi sai valita joko Mathcadin tai Excel-taulukkolaskentahohjelman. Valitsin excel-taulukkolaskennan aikaisempien kokemuksieni perusteella. Mathcadista itselläni on vähäinen kokemus ja myös toimiston ohjelmistoista tätä ei löytynyt. Aluksi aika meni siis kirjojen, ohjeiden ja taulukko-ohjelman ohjelmakielen asioiden etsimiseen ja ymmärtämiseen. Aikaisemmat taulukko-ohjelman projektit ja teot eivät tukeneet tai antaneet tarvittavaa pohjaa tämän laajuisen ohjelmoinnin teossa. Alkuvaiheessa selvisi opiskelutarpeeni myös siis taulukko-ohjelman ohjelmoinnissa. Ohjelmointi tapahtui pääasiassa erilaisten lenkkien, jos, tai, mutta ja muiden komentolauseiden avulla. Taulukoiden oli lisäksi saatava mahdollisimman yhtenäisen näköiseksi, jotta käyttäjän olisi helppo mukautua eri ohjelmien käyttöönotossa. Ohjelman teko alussa oli pelkästään eri materiaalilujuuksien taulukoimista ohjelmaan solujen sisään. SKOL:n vetäjiltä sain taulukkolaskenta pohjan, johon ei ollut projektin vetäjän toimesta taulukoitu kuin muutama arvo ja muutamia ohjeita eri sivujen käytöstä keskenään ja eri sivujen käyttötarkoituksista.

Ohjelman teossa yhdeksi tärkeimmistä asioista muodostui ohjelman oikea ja riittävä rajaus. Kaikista optimaalisin tilanne olisi, jos ohjelman käyttäjän ei tarvitsisi laskea itse muilla ohjelmilla tai käsin tarvittavia lähtötietoja ohjelmaan. Tämä ei kuitenkaan omassani ohjelmassani toteutunut, koska tällöin olisin joutunut rajaamaan ohjelman kapasiteetin tiettyyn alueeseen, ja tätä en halunnut. Saumoihin kohdistuvia jännityksiä ei ole minun taidoillani mahdollista laskea tällä samalla ohjelmalla, vaan käyttäjän on laskettava jännitykset joko käsin tai toisella ohjelmalla. Saumoihin kohdistuviin jännityksiin vaikuttaa hyvin moni asia ja huomioon otettavia suureita ja tapauksia on

niin monia, joten sivutin tämän laskennan omassa ohjelmassani. Keskityin leikkauskapasiteetin laskemiseen, koska saumat siirtävät yleensä leikkausvoimia. Saumojen laskemisessa on varmistettava kuitenkin, että kaikki rasitukset voidaan siirtää sauman yli. Puristetuissa saumoissa voimat siirtyvät suoraan sauman läpi puskulla ja vedetyissä saumoissa voimat voidaan siirtää raudoituksen avulla.

Eri eurokoodiversioiden välinen ero tuli myös huomattua tämän työn johdosta. Joidenkin kertoimien ja raja-arvojen arvot vaihtelivat ENV ja EN:n välillä. Muun muassa By 60:n ja eurokoodi 2:n kohdan 6.2.5:n c kerrointen välillä on eroavaisuuksia. By 60:n mukaan c:n arvona hyvin sileälle pinnalle voidaan käyttää arvoja 0,025 - 0,1, mutta eurokoodin mukaan arvo olisi 0,1. Selvitykseni mukaan kertoimia voidaan käyttää näiden väliltä ja eurokoodissa olevat arvot ovat suositusarvoja ja muitakin arvoja voidaan käyttää jos tarkempaa tietoa on saatavilla. Eri kirjojen teoksissa voi lukija mennä helposti harhaan EN ja ENV-versioiden välillä, koska jotkut raja-arvot tai kertoimet ovat todella lähellä toisiaan, mutta silti eri arvoja. Nämä ENV-arvot täytyi ehdottomasti sulkea pois tämän ohjelman teosta.

Eurokoodin tapa ilmaista laskukaavat oli hieman harhaanjohtavaa. By 60:n kohdassa 6.2.5 Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa on laskukaava, jossa lasetaan rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvoa. Kohdassa ei mainita, minkä tapauksen rajapinnan leikkausjännityksen mitoitusarvoa tämän kaavan avulla voidaan laskea. Voidaan luulla, että kaava soveltuu minkä tahansa kahden eri aikaan valettavan betonin leikkausjännityksen mitoitusarvon laskemiseen. Todellisuudessa kaava soveltuu esim. liittopalkkiin, mutta ei seinäelementtien välisten saumojen leikkausjännitysten laskemiseen. Tämän laskemiseksi ovat aivan eri kaavat, joten kyseistä kaavaa ei voida käyttää kuin murto-osan jännitysten laskemiseksi. Kaavaan täytyy sijoittaa momenttivarso z , jota ei saada kuin palkkien tapauksissa lasketta. Myös kaavassa oleva β -kerroin on mielenkiintoinen tapaus. Eurokoodissa mainitaan, että ” β on uutta betonia olevan poikkileikkauksen jännitysresultantin ja koko poikkileikkauksen suhde joko puristus- tai vetoalueella, molemmat laskettuina samassa kohdassa.” Mielestäni tämä on liian ympäröityä sanottu asia, joten otin selvää asiasta eurokoodi help deskistä. Näin eurokoodi help deskistä vastattiin: ”Las-

kettaessa esim. laatan pintavalun ja laatan muodostamaa rakennetta kerroin beta kuvaa sitä suhdetta kuinka paljon puristusvoimaa siirretään työsauman yli pintalaataan. Puristusvoimanhan siirtäminen aiheuttaa leikkausjännityksen työsaumaan. Esim. jos puristuspinnan korkeus on koko rakenteessa 60 mm ja pintalaatan paksuus on 40 mm niin beta kerroin saa arvon $40/60=0,667$.” Tämä tapa on hyödyllinen siinä tapauksessa, jos valetaan erillinen pintalaatta ja halutaan osa kapasiteetista siirtää pintalaatalle, jolloin pintalaatta ja palkki-laatta toimivat yhdessä. Tällainen tapaus tunnetaan nimellä liittolaatta palkki.

Päätimme yhdessä kokousväen kanssa, että rajaamme laskennan ohjelmassa niin, että käyttäjän tulee laskea jollain muulla tavalla tai ohjelmalla tarkastelevan sauman rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen arvo, koska eri tapauksia on niin monia. Tämä helpotti minun omaa osuuttani ohjelman teossa. Monet kaavat poistettiin ohjelmasta ja etenin ilman rajapinnan leikkausjännityksen laskemista. Lähetin uuden revision testaajalle ohjelmasta ja keskityin toisen ohjelman, betonielementtien välisten saumojen tekoon. Heti alussa huomasin, että ohjelmassa voi käyttää hyödyksi jo aikaisemmin tehtyä ohjelmaa. Harjateräksillä laskettaessa leikkauskapasiteetit saataisiin samalla tavalla laskettua kuin työsauman leikkauskapasiteetin laskemisessa. Ongelmaksi koitui vaijerilenkkien lisääminen laskentaan mukaan. Vaijerilenkkien laskennasta on todella vähän tietoa kirjallisuuksissa ja näiden laskemisessa eurokoodin mukaan minun täytyi kysyä asiaa valmistajilta, eurokoodi help deskistä ja betoniyhdistykseltä. Kuten jo aikaisemmin kohdassa 5.2.4 mainitsin: betoniyhdistyksen mukaan vanhat käyttöselosteet jäisivät voimaan, ja täten tulisi tällainen normien sekä käyttö. Tämän perusteella tein johtopäätökset laskea vaijerilenkkien kapasiteetit pohjautuen By:n käyttöselosteeseen N:o 253 ja 299. Jos vanhat käyttöselosteet jäävät voimaan, suurella todennäköisyydellä kapasiteetit voidaan laskea ohjelmoitavallani tavalla. Teimme päätöksen laskea betonin lujuudet eurokoodin mukaan ja muutten laskenta etenee käyttöselosteiden kaavojen mukaillen. Muutaman vuoden kuluttua valmistajat joutuvat hakemaan CE-merkinnät tuotteilleen ja tällöin voivat muuttua myös laskentatavat. Vaijerilenkkien leikkauskapasiteetin laskemiseksi käyttäjän täytyy valita käytettävä sauma- ja elementin betonin lujuudet, vaijerilenkkityyppi, seinän paksuus, poikkileikkauksen pituus ja toimiva puristusveveys. Tämän jälkeen

ohjelma eri solulenkkiä avulla suorittaa laskutoimituksia ja antaa tuloksen sauman leikkausvoiman laskentakapasiteetista.

Tehtävääni projektissa kuului myös testausvastuu yhdestä määrätystä ohjelmasta. Ohjelman nimi, harjaterästaulukko koostui ankkurointipituuden, tankoyhdistelmien pinta-alojen, jatkospituuden ja hitsattavuuden laskemisesta. Ensimmäisen version saapuessa minun täytyi perehtyä eurokoodiin tältä osin tietääkseni, millä kaavoilla ja mitä ohjelman olisi huomioitava laskettaessa näitä asioita. Aluksi tarkastin kaikkien kaavojen oikein koodauksen ja kirjauksen. Solu solulta katsoin koodaukset läpi ja vertailin kaavoja eurokoodiin. Kokonaisuutta ajatellen kaavat olivat suurimmalta osin oikein koodattu, linkitetty ja kirjoitettu, muutamaa virhettä lukuun ottamatta. Kirjoitusvirheitä löysin, mutta sen suurempia virheitä ei ohjelmasta löytynyt. Hitsattavuuden laskemisen osalta ohjelma oli puutteellinen ja lähetin korjausehdotukset tekijälle takaisin ja jäin odottamaan uutta revisiota ohjelmasta. Ohjelman uuden revision saapuessa täytyi suorittaa varmennustestaus kaikkien virheiden havaitsemiseksi. Käytännössä tämä tarkoitti, että tein itse vastaavan ohjelman Excel-tiedostoon ja testasin tällä tekijän ohjelmaa. Näin kaikki kaavat tulivat tarkistettua toiseen kertaan ja myös ohjelmoinnin virheet voitiin minimoida. Ohjelmaa testattiin noin viidelläkymmenellä eri testauksella ja näiden avulla ohjelmasta löytyi monia virheitä ja sitä jouduttiin muuttamaan kymmenisen kertaa. Tällä tavoin ohjelman luotettavuudesta ja oikeellisuudesta saatiin tarvittavaa näyttöä muille osapuolille. Testaustuloksia on liitteissä 1-4.

LÄHTEET

By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-1 2009. 4. korj. p. Teos ostettavissa Suomen Betoniyhdistykseltä <http://www.betoniyhdistys.fi>.

By 60, suunnitteluohje EC 2 osa 1-2 2009. 4. korj. p. Teos ostettavissa Suomen Betoniyhdistykseltä <http://www.betoniyhdistys.fi>.

By 201, betonitekniikan oppikirja 2004. 5 uud. p. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Leskelä, M. 2008. By 210, betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

BES- järjestelmän rakenteita koskeva suositus 1979. Julk. nro. 5. Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö.

By 50, betoninormit 2004. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Huhtaniemi, S. & Kiviniemi, J. 2008. Elementtityöt. Rakennustieto Oy.

By 30-4, betonirakenteiden yksityiskohtien ja raudoituksen suunnitteluohjeet 1989. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Julkisivusaumaukset elastisilla saumaussmassoilla 1999. Suomen Betoniyhdistyksen internet sivusto. Viitattu 8.8.2009.

http://www.betoniyhdistys.fi/default/?_EVIW_WYSIWYG_FILE=352&name=file

Betonisten julkisivuelementtien elastisilla massoilla saumattavien pintojen esikäsitteilytarve 2008, Tutkimusselostus nro trt/1636/2008. Viitattu 8.8.2009.

<http://www.betoni.com>, elementtirakentaminen, uutiset.

RVL-vaarnalenkit 2008, BY:n Käyttöseloste 299. Viitattu 8.8.2009. <http://www.repo.fi>,
R-steel.

Eurocode- laskentapohjien laadintahanke 2008. Ei julkinen julkaisu.

(http://www.lujabetoni.fi/general/Uploads_files/Suunnittelijalle-osio/Ontelo-%20ja%20kuorilaatat/kuorilaattojen_varastointi-_ja_asennusohje_2009.pdf)

LIITTEET

Liite 1. Varmennustestiraportin sivu 10



Luottamuksellinen

10(24)

3.9 Betonipeite: Hyvin suuri

| | | | | |
|--|--------------------|------------------------------------|----------------|-------------|
| Testitapaus 9 | Betonipeite=1000mm | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräs= | A600HW | | | |
| Betoni= | C30/37 | | | |
| Rak.lk.= | 2 | | | |
| Raudoitustyyppi= | Haka | | | |
| Betonipeite= | 1000 | Ilmoitus liian suuresta peitteestä | Virhe | Virhe |
| Tartuntaolosuhteet= | Hyvät | | | |
| Teräskoko= | 16 | | | |
| Lopullinen tulos: | | Onnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | | | | |

3.10 Tartuntaolosuhteet: Huonot

| | | | | |
|--|---------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| Testitapaus 10 | Tartuntaolosuhteet huonot | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräs= | A700HW | Ankkurointipituus= | 1430mm | 1430mm |
| Betoni= | C30/37 | Jatkospituus= | 1430mm | 1430mm |
| Rak.lk.= | 2 | Taivutussäde= | 50mm | 50mm |
| Raudoitustyyppi= | Haka | Pinta-ala= | 314mm | 314mm |
| Betonipeite= | 35 | Paino= | 2,47kg/m | 2,47kg/m |
| Tartuntaolosuhteet= | Huonot | | | |
| Teräskoko= | 20 | | | |
| Lopullinen tulos: | | Onnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | | | | |

Liite 2. Varmennustestiraportin sivu 15



Luottamuksellinen

15(24)

3.19 Tankoyhdistelmien ja k/k jakojen pinta-alat, tapaus 7.

| | | | | |
|--|--|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Testitapaus 20 | Kaikki teräkset T32, tankojako 75, teräksen tiheys 7800kg/m ³ | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräskoko= | T32 | As(1)= | 10723mm ² /m | 10723mm ² /m |
| kjako= | 75 | As(2)= | 10723mm ² /m | 10723mm ² /m |
| teräksen tiheys= | 7800kg/m ³ | As(3)= | 10723mm ² /m | 10723mm ² /m |
| | | As.yht.= | 32170mm ² /m | 32170mm ² /m |
| | | Paino= | 250,9kg/m ² | 250,9kg/m ² |
| | | | | |
| | | | | |
| Lopullinen tulos: | | Onnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | | | | |

3.20 Tankoyhdistelmien ja k/k jakojen pinta-alat, tapaus 8.

| | | | | |
|--|--|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Testitapaus 21 | Kaikki teräkset T32, tankojako 75, teräksen tiheys 1000kg/m ³ | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräskoko= | T32 | As(1)= | 10723mm ² /m | 10723mm ² /m |
| kjako= | 75 | As(2)= | 10723mm ² /m | 10723mm ² /m |
| teräksen tiheys= | 1000kg/m ³ | As(3)= | 10723mm ² /m | 10723mm ² /m |
| | | As.yht.= | 32170mm ² /m | 32170mm ² /m |
| | | Paino= | 32,2kg/m ² | 32,2/m ² |
| | | | | |
| | | | | |
| Lopullinen tulos: | | Onnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | Teräksen tiheydelle olisi hyvä laittaa jokin ala- ja yläraja. | | | |

Liite 3. Varmennustestiraportin sivu 17



Luottamuksellinen

17(24)

3.23 Tangon lyhenemä taivutuksessa mitattuna keskiviivan mukaan, Tapaus 3

| | | | | |
|--|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------|
| Testitapaus 22 | Teräskoko 32, kulma 180, säde 10 | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräskoko= | T0 | Tangon lyhenemä= | 0mm | 0mm |
| kulma= | 90 | | | |
| säde= | 40 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Lopullinen tulos: | | Onnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | | | | |

3.24 Tangon lyhenemä taivutuksessa mitattuna keskiviivan mukaan, Tapaus 4

| | | | | |
|--|---|-------------------|----------------|-------------|
| Testitapaus 23 | Teräskoko 6, kulma 20, säde 500 | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräskoko= | T6 | Tangon lyhenemä= | 4300,7mm | 4300,7mm |
| kulma= | 20 | | | |
| säde= | 500 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Lopullinen tulos: | | Onnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | Säteeksi pystyy syöttämään suuriakin arvoja ja täten tulos kasvaa. Tarvi- taanko rajoitus säteeksi? | | | |

Liite 4. Varmennustestiraportin sivu 18



Luottamuksellinen

18(24)


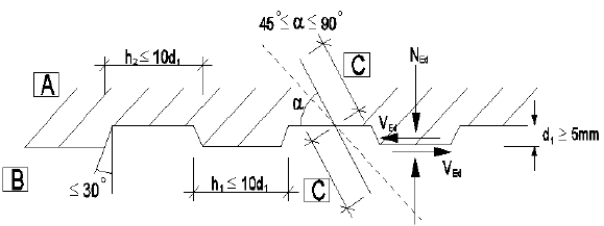
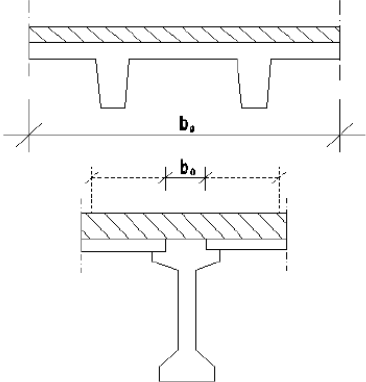
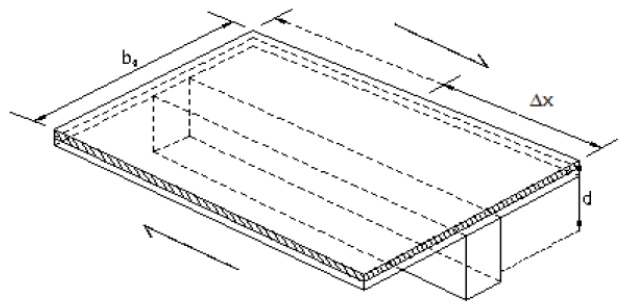
3.25 Tangon lyhenemä taivutuksessa mitattuna keskiviivan mukaan, Tapaus 5

| | | | | |
|--|---|--------------------|----------------|----------------|
| Testitapaus 24 | Teräskoko 6, kulma 200, säde 45 | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräskoko= | T6 | Ilmoitus virheestä | Virhe ilmoitus | Virhe ilmoitus |
| kulma= | 200 | | | |
| säde= | 45 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Lopullinen tulos: | | Onnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | Virhesanoma olisi hyvä lisätä tähän kulma soluun. | | | |

3.26 Tangon lyhenemä taivutuksessa mitattuna keskiviivan mukaan, Tapaus 6

| | | | | |
|--|--|----------------------|----------------|-------------|
| Testitapaus 25 | Teräskoko 6, kulma 20, säde -20 | | | |
| Lähtötiedot: | | Tulokset: | | |
| Nimi | Arvo | Nimi | Odotettu tulos | Saatu tulos |
| Teräskoko= | T6 | Ilmoitus virheestä | Virhe ilmoitus | -145,4mm |
| kulma= | 20 | | | |
| säde= | -20 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Lopullinen tulos: | | Epäonnistunut | | |
| Suorituksen tai tuloksen selitys: | Virhesanoma olisi hyvä lisätä tähän kulma soluun. Myös tankokokoon voi laittaa negatiivisen luvun. | | | |

Liite 5. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman lähtötiedot-välilehti

| | | | |
|---|---------------|--|-----------------|
|  | | Lähtötiedot | |
| | | Tekijä: _____ | Sivu: 1 (1) |
| Rakennuskohde: _____ | | Työ no: _____ | Sijainti: _____ |
| Päiväys: _____ | | Sisältö: _____ | |
| Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa | | | Versio 0.3 |
| Materiaalit: | | | |
| Betoni = | C50/60 | (K60) | |
| Betoniteräs = | B600x | | |
| Rakenneluokka = | 2 | VIRHE - muuta betonin lujuutta | |
| Poikkileikkaussuureet: | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen pituus, Δx = | 1000 | mm | |
| Poikkileikkauksen toimiva puristusleveys, b_0 = | 85 | mm | |
| Raudoituksen koko, ϕ = | 6 | mm | |
| Leikkeiden lukumäärä = | 1 | | |
| Raudoitussjako = | 100 | mm | |
| Sauma/liittymä: | | | |
| Rajapinnan karheus (kts. Data välilehti), = | Hyvin sileä 1 | | |
| Ankkuroinnin kulma: (kuva1), α = | 45 | $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | |
| Liittymään kohdistuva kohtisuora jännitys, σ_n = | 3 | N/mm ² | |
| Halutaanko rakennuksen levyjäykistys saada aikaan elementtien välisten saumojen avulla? | Ei | | |
| Kuva 1 | | | |
| HUOM! Betonivaarnasauman täytyy täyttää kuvan 1 mukaiset ehdot. | | | |
|  | | Kuva 2  | |
| A - uusi betoni B - vanha betoni C - ankkurointi | | | |
| Kuva 3 | | | |
|  | | | |

| | | |
|-------------------------|--------------------------------|--|
| Laskentasuureet: | | |
| | V_{Edi} [N/mm ²] | |
| Kuormitustapaus: 1 | 1 | V_{Edi} = Rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvo: |
| Kuormitustapaus: 2 | 2 | |
| Kuormitustapaus: 3 | 3 | |
| Kuormitustapaus: 4 | 4 | |

Liite 6. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman laskenta-välilehti 1.sivu

| Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa | | | | Versio 0.3 | |
|--|---|-------------------|-------------------|------------|-------------------|
| Laskenta | | | | | |
| Betoni: | | | | | |
| Osavarmuusluku, $\gamma_C =$ | | 1,5 | | | |
| Tunnus | f_{cd} | f_{ctd} | f_{ck} | | |
| | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | | |
| C50/60 | 28,33 | 1,90 | 50,00 | | |
| Betoniteräs: | | | | | |
| Osavarmuusluku, $\gamma_S =$ | | 1,15 | | | |
| Tunnus | f_{yd} | | | | |
| | N/mm ² | | | | |
| B600x | 521,74 | | | | |
| Poikkileikkauksen mitat: | | | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen korkeus, $\Delta x =$ | | 1000 | mm | | |
| Pl:n toimiva puristusleveys, $b_0 =$ | | 85 | mm | | |
| Terästen poikkileikkausala, $A_s =$ | | 282,74 | mm ² | | |
| Laskentakuormat: | | | | | |
| V_{Edi} [N/mm ²] | | | | | |
| Kuormitustapaus 1: | 1 | | | | |
| Kuormitustapaus 2: | 2 | | | | |
| Kuormitustapaus 3: | 3 | | | | |
| Kuormitustapaus 4: | 4 | | | | |
| Laskenta ja mitoitus alkaa tästä: | | | | | |
| Laskenta 1, leikkaus kahden betoniliittymäpinnan välillä: | | | | | |
| HUOM! Vain keltaisella maalatuille alueille voi itse määrittellä arvot! | | | | | |
| <i>Leikkauskestävyys V_{Rdi} koostuu betonin lujuudesta riippuvasta osasta, leikkauskitkaosasta ja raudituksen määrästä riippuvasta osasta.</i> | | | | | |
| V_{Edi} [N/mm ²] | | | | | |
| Kuormitustapaus: | 4 | | 4 | | |
| Rajapinnan karheus: | Hyvin sileä 1 | | | | |
| | $c =$ | 0,1 | | | |
| | $\mu =$ | 0,5 | | | |
| Liittymään kohdistuva kohtisuora jännitys: | $\sigma_n =$ | 3 | | | |
| puristus (+), veto (-) | $\sigma_n < 0,6f_{cd}$ | $0,6f_{cd} =$ | 17,00 | | |
| Rajapinnan pinta-ala: | $A_i = b_0 \Delta x$ | $A_i =$ | 85000 | | |
| Rajapinnan läpi kulkevan raudituksen pl-ala: | | $A_s =$ | 282,74 | | |
| Raudoitussuhde: | $\rho = \frac{A_s}{A_i}$ | $\rho =$ | 0,003 | | |
| Lujuuden pienennyskerroin: | $v = 0,6(1 - \frac{f_{ck}}{250})$ | $v =$ | 0,480 | | |
| Rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo: | $v_{Rdi} = cf_{ctd} + \mu\sigma_n + \rho f_{yd}(\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5vf_{cd}$ | $v_{Rdi} =$ | 3,53 | | N/mm ² |

Liite 7. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman laskenta-välilehti 2.sivu

Kun levyjäykistys saadaan aikaan laattaelementtien välisten betoni- tai laastisaumojen avulla, rajoitetaan pituussuuntainen keskimääräinen leikkausjännitys v_{Rdi} arvoon $0,1 \text{ N/mm}^2$ pintojen ollessa hyvin sileitä ja arvoon $0,15 \text{ N/mm}^2$ pintojen ollessa sileitä tai karheita.

| | | | |
|---|-------------------|--------|-------------------|
| Käytettävä leikkauskestävyyden mit. arvo: | $v_{Rdi} =$ | 3,53 | N/mm ² |
| Leikkauskapasiteetti: | $V_{Rd} =$ | 300,12 | kN |
| | $0,5v_{f_{cd}} =$ | 6,80 | N/mm ² |

Tarkistus 1:


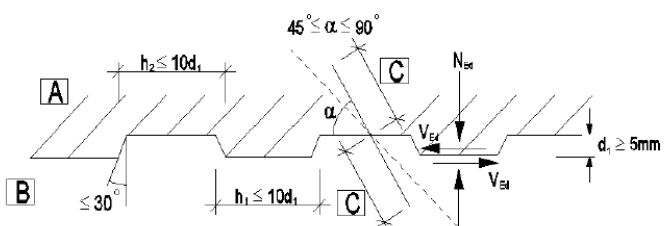
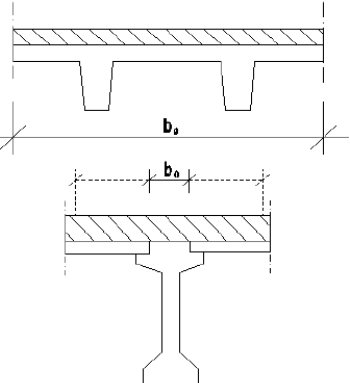
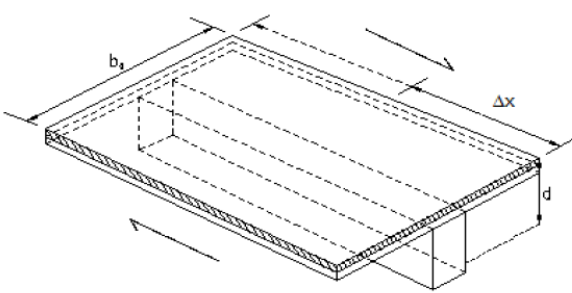
Rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvo täytyy olla pienempi tai yhtäsuuri kuin rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo.

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

VIRHE, SAUMAN KESTÄVYYS EI RIITÄ

Käyttöaste: 113,29 %

Liite 8. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman tulos-välilehti 1.sivu

| | | | |
|---|----------------|---|-------------|
|  | | Rakennelaskelma, tulos | |
| | | Tekijä: _____ | Sivu: 1 (1) |
| Rakennuskohde: _____ | | Päiväys: _____ | |
| Työ no: _____ | Sisältö: _____ | Sijainti: _____ | |
| Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa Versio 0.3 | | | |
| Materiaalit: | | | |
| Betoni = | C50/60 | (K60) | |
| Betoniteräs = | B600x | | |
| Rakenneluokka = | 2 | | |
| Poikkileikkausmitat: | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen korkeus, h = | 1000 | mm | |
| Poikkileikkauksen toimiva puristusleveys, b_0 = | 85 | mm | |
| Raudituksen koko, \varnothing = | 6 | mm | |
| Leikkeiden lukumäärä = | 1 | | |
| Rauditusjako = | 100 | mm | |
| Sauma/liittymä: | | | |
| Rajapinnan karheus (kts. Data välilehti), = | Hyvin sileä 1 | | |
| Ankkuroinnin kulma: (kuva1), α = | 45 | $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | |
| Liittymään kohdistuva kohtisuora jännitys, σ_n = | 3 | N/mm^2 | |
| Halutaanko rakennuksen levyjäykistys saada aikaan elementtien välisten saumojen avulla? | Ei | | |
| HUOM! Betonivaarnasauman täytyy täyttää kuvan 1 mukaiset ehdot. | | | |
| Kuva 1 | | Kuva 2 | |
|  | |  | |
| <p>A - uusi betoni B - vanha betoni C - ankkurointi</p> | | | |
| Kuva 3 | | | |
|  | | | |

Liite 9. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman laskenta-välilehti 2.sivu

| Laskentakuormat: | |
|------------------------------------|---|
| Kuormitustapaus 1: | V_{Edi} [kN/mm ²] <input type="text" value="1"/> |
| Laskentatulokset: | |
| $V_{Edi} = 4$ N/mm ² | |
| $v_{Rdi} = 3,53$ N/mm ² | |
| $\sigma_n < 0,6f_{cd}$ | OK |
| $v_{Rdi} \leq 0,5v_{fd}$ | OK |
| $v_{Rdi} \geq v_{Edi}$ | VIRHE, SAUMAN KESTÄVYYS EI RIITÄ |
| Käyttöaste: | 113,29 % |

Liite 11. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman data-välilehti 2.sivu

| Saumapintojen selitykset: | | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|--|--|
| Hyvin sileä: | Pinta, joka on valettu teräs-, muovi- tai erikoiskäsiteltyä puumuottia vasten | | | | | | |
| Sileä: | Liukuvalettu pinta tai ekstruuderipinta tai tärytyksen jälkeen jälkikäsittelemättä jätetty vapaa pinta. | | | | | | |
| Karhea: | Pinta, jossa on vähintään 3mm karheus noin 40mm välein; se saavutetaan urakaapimalla, ruiskuttamalla pinta pesubetoniksi tai muilla menetelmillä, joilla saavutetaan vastaava ominaisuus. | | | | | | |
| Vaarnattu: | Pinta, jossa lähtötiedon kuvan 1 mukainen hammastus. | | | | | | |
| HUOM! Jos sauma voi halkeilla merkittävästi, kertoimen c arvo on 0 sileissä ja karheissa saumoissa. Kuormien ollessa väsyttäviä tai dynaamisia kertoimien c arvot puolitetaan. Kun σ_n on vetoa, c:lle käytetään arvoa 0. | | | | | | | |
| K-jako | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | |
| 200 | | | | | | | |
| 250 | | | | | | | |
| 300 | | | | | | | |
| 350 | | | | | | | |
| 400 | | | | | | | |
| 450 | | | | | | | |
| 500 | | | | | | | |
| 550 | | | | | | | |
| 600 | | | | | | | |
| 650 | | | | | | | |
| 700 | | | | | | | |
| 750 | | | | | | | |
| 800 | | | | | | | |
| 850 | | | | | | | |
| 900 | | | | | | | |
| 950 | | | | | | | |
| 1000 | | | | | | | |

| Betonin osavarmuusluvut: 1-Luokka | | Rakenneluokat: | |
|--|--|----------------|---|
| 1,35 | Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset | | 1 |
| 1,2 | Onnettomuus | | 2 |
| Betoniteräksen osavarmuusluvut: 1-Luokka | | | |
| 1,1 | Normaalisiti vallitsevat ja tilapäiset | | |
| 1 | Onnettomuus | | |
| Betonin osavarmuusluvut: 2-Luokka | | | |
| 1,5 | Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset | | |
| 1,2 | Onnettomuus | | |
| Betoniteräksen osavarmuusluvut: 2-Luokka | | | |
| 1,15 | Normaalisiti vallitsevat ja tilapäiset | | |
| 1 | Onnettomuus | | |

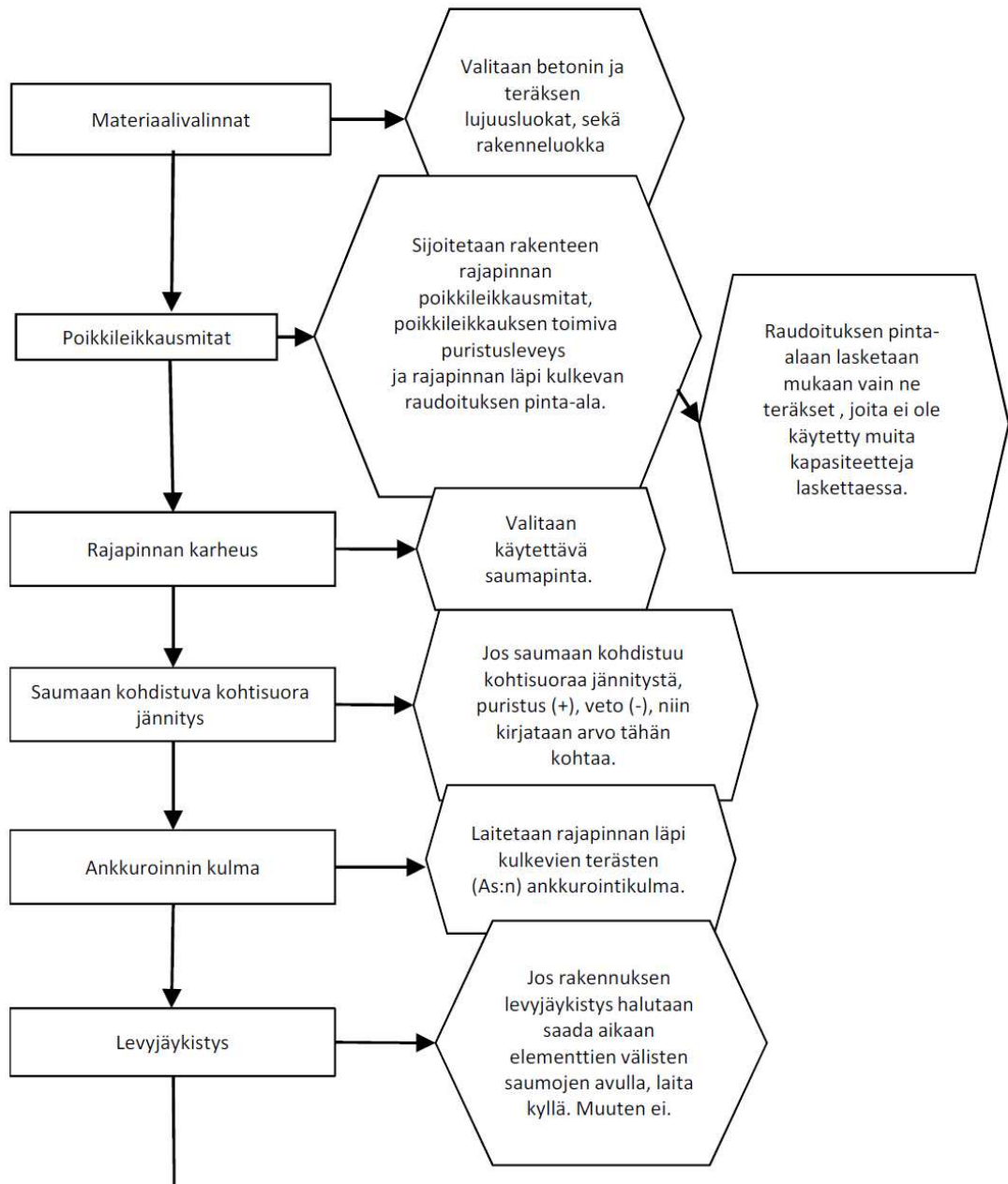
Liite 12. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman vuokaavio-välilehti 1.sivu

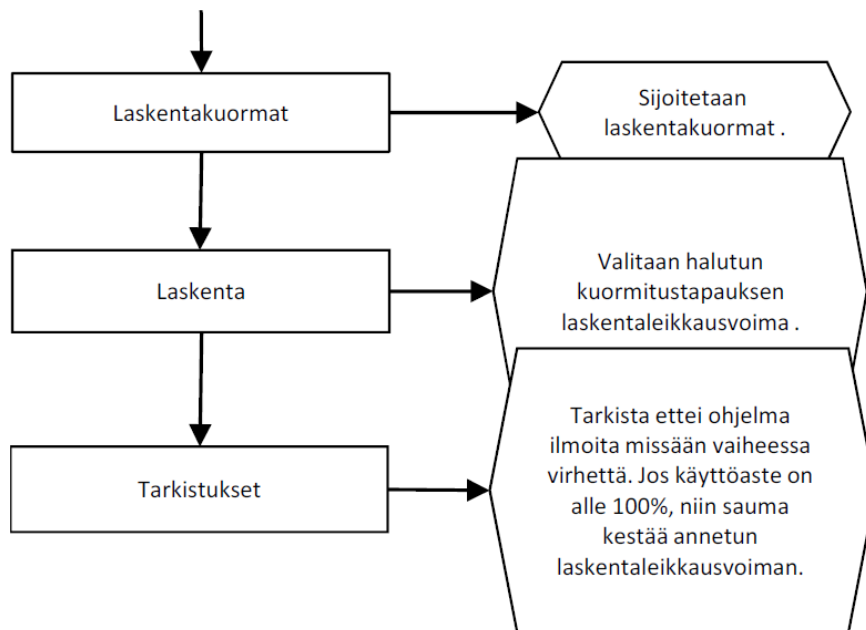
Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa

Versio 0.3


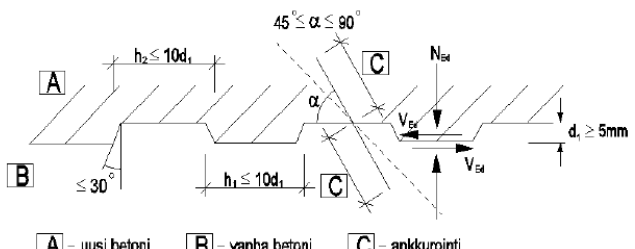
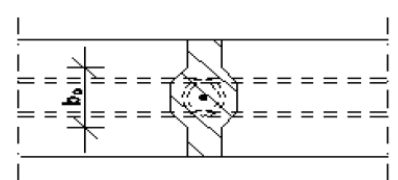
Laskentavuokaavio

Vain keltaisella täyttövärillä maalatuille soluille voi itse määrittää/valita arvon!

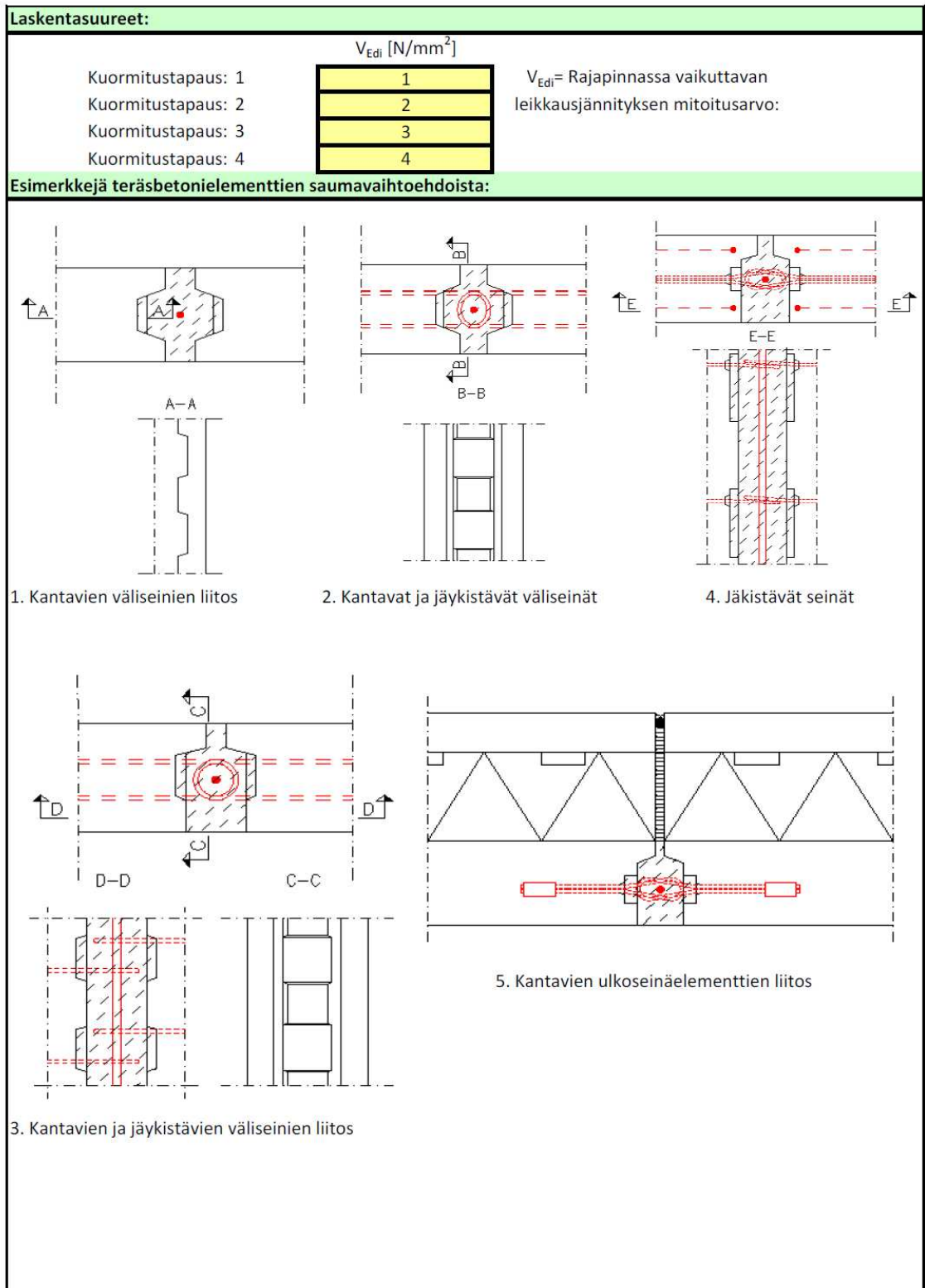


Liite 13. Työsauman leikkauskapasiteetti-ohjelman vuokaavio-välilehti 2.sivu

Liite 14. Teräsbetonelementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman lähtötiedot-välilehti 1.sivu

| | | | |
|---|---------------|---|-------------|
|  | | Lähtötiedot | |
| | | Tekijä: Hannu Rainamo | Sivu: 1 (1) |
| Rakennuskohde: | | Työ no: | Sijainti: |
| | | Sisältö: | |
| | | | |
| Teräsbetonelementtien sauman leikkauskapasiteetti: | | | Versio 0.3 |
| TANGOILLA LASKETTAESSA: | | | |
| Materiaalit: | | | |
| Betoni = | C20/25 | (K25) | |
| Betoniteräs= | B500x | | |
| Rakenneluokka= | 2 | | |
| Poikkileikkaussuureet: | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen pituus, Δx = | 1000 | mm | |
| Poikkileikkauksen toimiva puristusleveys, b_0 = | 100 | mm | |
| Raudituksen koko, \varnothing = | 6 | mm | |
| Leikkeiden lukumäärä= | 2 | | |
| Rauditusjako= | 100 | mm | |
| Sauma/liittymä: | | | |
| Rajapinnan karheus (kts. Data välilehti), = | Hyvin sileä 1 | | |
| Ankkuroinnin kulma: (kuva1), α = | 90 | $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | |
| Liittymään kohdistuva kohtisuora jännitys, σ_n = | 2 | N/mm ² | |
| Halutaanko rakennuksen levyjäykistys saada aikaan elementtien välisten saumojen avulla? | Ei | | |
| HUOM! Betonivaarnasauman täytyy täyttää kuvan 1 mukaiset ehdot. | | | |
| Kuva 1 | | Kuva 2 | |
|  | |  | |
| <p>A - uusi betoni B - vanha betoni C - ankkurointi</p> | | | |
| VAIJERILENKEILLÄ LASKETTAESSA: | | | |
| Materiaalit: | | | |
| Elementin betoni= | C25/30 | (K30) | |
| Saumabetoni= | C50/60 | (K60) | |
| Poikkileikkaussuureet: | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen pituus, Δx = | 1000 | mm | |
| Poikkileikkauksen toimiva puristusleveys, b_0 = | 100 | mm | |
| Vaijerilenkkityyppi= | PVL-100 | | |
| Lenkkijako= | 700 | mm | |
| Seinän paksuus, b_s = | 180 | mm | |

Liite 15. Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman lähtötiedot-välilehti 2.sivu



Liite 16. Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman laskenta1-välilehti 1.sivu

| Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti: | | | | | | Versio 0.3 |
|---|--|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Laskenta1: harjaterässauma | | | | | | |
| Elementin betoni: | | | | | | |
| Osavarmuusluku, $\gamma_C =$ | | 1,5 | | | | |
| Tunnus | f_{cd} N/mm ² | f_{ctd} N/mm ² | f_{ck} N/mm ² | f_{cm} N/mm ² | f_{ctm} N/mm ² | $f_{ctk,0,005}$ N/mm ² |
| C20/25 | 11,33 | 1,03 | 20,00 | 28,00 | 2,83 | 1,98 |
| Betoniteräs: | | | | | | |
| Osavarmuusluku, $\gamma_S =$ | | 1,15 | | | | |
| Tunnus | f_{yd} N/mm ² | | | | | |
| B500x | 434,78 | | | | | |
| Poikkileikkauksen mitat: | | | | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen pituus, $\Delta x =$ | | 1000 | mm | | | |
| Pl:n toimiva puristusleveys, $b_0 =$ | | 100 | mm | | | |
| Terästen poikkileikkauksala, $A_s =$ | | 565,49 | mm ² | | | |
| Laskentakuormat: | | | | | | |
| | V _{Edi} [N/mm ²] | | | | | |
| Kuormitustapaus 1: | 1 | | | | | |
| Kuormitustapaus 2: | 2 | | | | | |
| Kuormitustapaus 3: | 3 | | | | | |
| Kuormitustapaus 4: | 4 | | | | | |
| Laskenta ja mitoitus alkaa tästä: | | | | | | |
| Laskenta 1, leikkaus kahden betoniliittymäpinnan välillä: | | | | | | |
| HUOM! Vain keltaisella maalatuille alueille voi itse määrittellä arvot! | | | | | | |
| <i>Leikkauskestävyys V_{Rdi} koostuu betonin lujuudesta riippuvasta osasta, leikkauskitkaosasta ja raudituksen määrästä riippuvasta osasta.</i> | | | | | | |
| | | | V _{Edi} [N/mm ²] | | | |
| Kuormitustapaus: | | | 4 | 4 | | |
| Rajapinnan karheus: | | | | Hyvin sileä 1 | | |
| | | | c= | 0,1 | | |
| | | | $\mu =$ | 0,5 | | |
| Liittymään kohdistuva kohtisuora jännitys: | | | $\sigma_n =$ | 2 | | |
| puristus (+), veto (-) | $\sigma_n < 0,6f_{cd}$ | $0,6f_{cd} =$ | | 6,80 | | |
| Rajapinnan pinta-ala: | $A_i = b_0 \Delta x$ | | $A_i =$ | 100000 | | |
| Rajapinnan läpi kulkevan raudituksen pl-ala: | | | $A_s =$ | 565,49 | | |
| Raudoitussuhde: | $\rho = \frac{A_s}{A_i}$ | | $\rho =$ | 0,006 | | |
| Lujuuden pienennyskerroin: | $v = 0,6(1 - \frac{f_{ck}}{250})$ | | v= | 0,552 | | |
| Rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo: | | | $v_{Rdi} =$ | 2,33 | | |
| | $v_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}$ | | | | | |
| | | | | N/mm ² | | |

Liite 17. Teräsbetonelementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman laskenta1-välilehti 2.sivu

Kun levyjäykistys saadaan aikaan laattaelementtien välisten betoni- tai laastisaumojen avulla, rajoitetaan pituussuuntainen keskimääräinen leikkausjännitys v_{Rdi} arvoon $0,1 \text{ N/mm}^2$ pintojen ollessa hyvin sileitä ja arvoon $0,15 \text{ N/mm}^2$ pintojen ollessa sileitä tai karheita.

| | | | |
|---|---------------|--------|-------------------|
| Käytettävä leikkauskestävyyden mit. arvo: | $v_{Rdi} =$ | 2,33 | N/mm ² |
| Leikkauskapasiteetti: | $V_{Rd} =$ | 233,25 | kN |
| | $V_{Ed} =$ | 400 | kN |
| | $0,5v_{cd} =$ | 3,13 | N/mm ² |

Tarkistus 1:

Rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvo täytyy olla pienempi tai yhtäsuuri kuin rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo.

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

VIRHE, SAUMAN KESTÄVYYS EI RIITÄ

Käyttöaste: 171,49 %

Liite 18. Teräsbetonelementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman laskenta2-välilehti 1.sivu

| Betoni: | | Versio 0.3 | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Laskenta2: vaijerilenkkisauma | | | | | | |
| Elementin betoni: | | | | | | |
| Osavarmuusluku, $\gamma_C =$ | | 1,5 | | | | |
| | f_{cd} | f_{ctd} | f_{ck} | f_{cm} | f_{ctm} | $f_{ctk,0,005}$ |
| Tunnus | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² |
| C25/30 | 14,17 | 1,20 | 25,00 | 33,00 | 2,56 | 1,80 |
| Sauman betoni: | | | | | | |
| Osavarmuusluku, $\gamma_C =$ | | 1,5 | | | | |
| | f_{cd} | f_{ctd} | f_{ck} | f_{cm} | f_{ctm} | $f_{ctk,0,005}$ |
| Tunnus | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² |
| C50/60 | 28,33 | 1,90 | 50,00 | 58,00 | 4,07 | 2,85 |
| Vaijerilenkki: | | | | | | |
| Osavarmuusluku, $\gamma_S =$ | | 1,15 | | | | |
| | f_{yd} | | | | | |
| Tunnus | N/mm ² | | | | | |
| PVL-100 | 1539,13 | | | | | |
| Poikkileikkauksen mitat: | | | | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen pituus, $\Delta x =$ | | 1000,00 | mm | | | |
| Poikkileikkauksen toimiva puristusleveys, $b_0 =$ | | 100,00 | mm | | | |
| Lenkin vaijerin kaksinkertainen nettopinta-ala, $A_{sj} =$ | | 29,80 | mm ² | | | |
| Vaarnan leikkauspinta-ala, $A_v = b * L_1$ | | 8000,00 | mm ² | | | |
| Lenkkijako, $s =$ | | 700,00 | mm | | | |
| Seinän paksuus, $b_s =$ | | 180,00 | mm | | | |
| Laskentakuormat: | | | | | | |
| V_{Edi} [N/mm ²] | | | | | | |
| Kuormitustapaus 1: | 1 | | | | | |
| Kuormitustapaus 2: | 2 | | | | | |
| Kuormitustapaus 3: | 3 | | | | | |
| Kuormitustapaus 4: | 4 | | | | | |

Liite 19. Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman laskenta2-välilehti 2.sivu

| Laskenta ja mitoitus alkaa tästä: | | | | | |
|---|--|---------------------------------------|--|---|---|
| Laskenta 2, leikkausvoiman laskentakapasiteetti | | | | | |
| HUOM! Vain keltaisella maalatuille alueille voi itse määrittellä arvot! | | | | | |
| Kuormitustapaus: | <table border="1" style="margin-left: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">V_{Edi} [N/mm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: yellow; text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> </tbody> </table> | V _{Edi} [N/mm ²] | | 2 | 2 |
| V _{Edi} [N/mm ²] | | | | | |
| 2 | 2 | | | | |
| Leikkausvoiman laskentakapasiteetti: | V _d = 66,54 kN | | | | |
| | V _d = 64,80 kN | | | | |
| $V_d = \frac{0,4 * A_{sl} * f_{yd} + 0,26 * f_{ctk} * (b_s * s - A_v) + A_v * f_{ctk,s}}{s/1000 * 1,8}$ | V _{Ed} = 200 kN | | | | |
| Käyttöaste: | $V_d \geq V_{Ed}$ VIRHE 300,55 % | | | | |


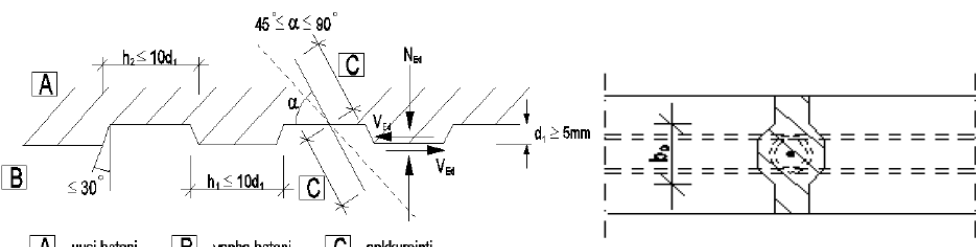
**Liite 20. Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman data-
välilehti 1.sivu**

| Olosuhde- ja Materiaalitaulukot | | | | | | |
|---|---|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|
| Betoni, ominaislujuudet ja -arvot: | | | | | | |
| Tunnus | f_{ck} | $f_{ck,cube}$ | f_{cm} | $f_{ctk,0,05}$ | | |
| | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | N/mm ² | | |
| C8/10 | 8 | 10 | 16 | 0,84 | (K10) | |
| C12/15 | 12 | 15 | 20 | 1,10 | (K15) | |
| C16/20 | 16 | 20 | 24 | 1,33 | (K20) | |
| C20/25 | 20 | 25 | 28 | 1,55 | (K25) | |
| C25/30 | 25 | 30 | 33 | 1,80 | (K30) | |
| C28/35 | 28 | 35 | 36 | 1,94 | (K35) | |
| C30/37 | 30 | 37 | 38 | 2,03 | (K37) | |
| C32/40 | 32 | 40 | 40 | 2,12 | (K40) | |
| C35/45 | 35 | 45 | 43 | 2,25 | (K45) | |
| C40/50 | 40 | 50 | 48 | 2,46 | (K50) | |
| C45/55 | 45 | 55 | 53 | 2,66 | (K55) | |
| C50/60 | 50 | 60 | 58 | 2,85 | (K60) | |
| Saumapintojen kertoimien suuruudet: | | | | Betoniteräs, ominaislujuudet ja -arvot: | | |
| Saumapinta | c | μ | | Tunnus | f_{yk} | |
| Hyvin sileä 1 | 0,1 | 0,5 | 1 | | N/mm ² | |
| Hyvin sileä 2 | 0,07 | 0,5 | 2 | B500x | 500 | |
| Hyvin sileä 3 | 0,025 | 0,5 | 3 | B600x | 600 | |
| Sileä | 0,2 | 0,6 | 5 | B700x | 700 | |
| Karhea | 0,4 | 0,7 | 6 | DIN 3060-Se-Zn | 1770 | |
| Vaarnattu | 0,5 | 0,9 | 7 | | | |
| Vedetty hyvin sileä | 0 | 0,5 | 8 | | | |
| Vedetty sileä | 0 | 0,6 | 9 | Leikkauskestävyyden mit.arvot: | | |
| Vedetty karhea | 0 | 0,7 | 10 | | V_{Rdi} | |
| Vedetty vaarnattu | 0 | 0,9 | 11 | Laskennasta | 2,33247 | N/mm ² |
| Väsytetty hyvin sileä | 0,05 | 0,5 | 12 | Hyvin sileä | 0,1 | N/mm ² |
| Väsytetty sileä | 0,1 | 0,6 | 13 | S/K | 0,15 | N/mm ² |
| Väsytetty karhea | 0,2 | 0,7 | 14 | | | |
| Väsytetty vaarnattu | 0,25 | 0,9 | 15 | Kuormitustapaukset: | | |
| | | | | 1 | | |
| Lenkit: | | Apusuure: | | 2 | | |
| Kyllä | | | | 3 | | |
| Ei | | 1 | | 4 | | |
| Saumapintojen selitykset: | | | | | | |
| Hyvin sileä: | Pinta, joka on valettu teräs-, muovi- tai erikoiskäsiteltyä puumuottia vasten | | | | | |
| Sileä: | Liukuvalettu pinta tai ekstruuderipinta tai tärytyksen jälkeen jälkikäsittelemättä jätetty vapaa pinta. | | | | | |
| Karhea: | Pinta, jossa on vähintään 3mm karheus noin 40mm välein; se saavutetaan urakaapimalla, ruiskuttamalla pinta pesubetoniksi tai muilla menetelmillä, joilla saavutetaan vastaava ominaisuus. | | | | | |
| Vaarnattu: | Pinta, jossa lähtötiedon kuvan 1 mukainen hammastus. | | | | | |
| HUOM! Jos sauma voi halkeilla merkittävästi, kertoimen c arvo on 0 sileissä ja karheissa saumoissa. Kuormien ollessa väsyttäviä tai dynaamisia kertoimien c arvot puolitetaan. Kun on vetoa, c:lle käytetään arvoa 0. | | | | | | |


**Liite 21. Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman data-
välilehti 2.sivu**

| Levyjäykistys: | | Leikkeiden lkm. | | K-jako | | | | |
|-----------------------|------------|-----------------|-------|--------|-------|----------|-------------------|-----------------|
| Kyllä | | 1 | | 100 | | | | |
| Ei | | 2 | | 150 | | | | |
| | | 3 | | 200 | | | | |
| Raudoitusten koko: | | 4 | | 250 | | | | |
| Ø | | 5 | | 300 | | | | |
| 5 | | 6 | | 350 | | | | |
| 6 | | 7 | | 400 | | | | |
| 8 | | 8 | | 450 | | | | |
| 10 | | 9 | | 500 | | | | |
| 12 | | 10 | | 550 | | | | |
| 14 | | | | 600 | | | | |
| 16 | | | | 650 | | | | |
| 20 | | | | 700 | | | | |
| 25 | | | | 750 | | | | |
| 32 | | | | 800 | | | | |
| | | | | 850 | | | | |
| | | | | 900 | | | | |
| | | | | 950 | | | | |
| | | | | 1000 | | | | |
| Vaijerilenkit: | | | | | | | | |
| Tyyppi | Mitat [mm] | | | | | f_{yk} | Vaij.netto | |
| | b | h | L_1 | L_2 | S_L | Vaij. Ø | N/mm ² | mm ² |
| WI-80 | 65 | 20 | 232 | 220 | 80 | 5 | 500 | 8,06 |
| WI-100 | 65 | 20 | 232 | 200 | 100 | 5 | 500 | 8,06 |
| WI-120 | 65 | 20 | 232 | 180 | 120 | 5 | 500 | 8,06 |
| PVL-80 | 50 | 20 | 160 | 212 | 80 | 6 | 1770 | 14,9 |
| PVL-100 | 50 | 20 | 160 | 212 | 100 | 6 | 1770 | 14,9 |
| PVL-120 | 50 | 20 | 190 | 212 | 120 | 6 | 1770 | 14,9 |
| VS-80 | 50 | 20 | 160 | 212 | 80 | 6 | 1770 | 14,9 |
| VS-100 | 50 | 20 | 160 | 212 | 100 | 6 | 1770 | 14,9 |
| VS-120 | 50 | 20 | 160 | 212 | 120 | 6 | 1770 | 14,9 |
| VSH-140 | 70 | 30 | 200 | 350 | 140 | 8 | 1770 | 26,6 |
| RVL-80 | 50 | 20 | 160 | 250 | 80 | 6 | | 14,9 |
| RVL-100 | 50 | 20 | 160 | 230 | 100 | 6 | | 14,9 |
| RVL-120 | 50 | 20 | 160 | 210 | 120 | 6 | | 14,9 |

Liite 22. Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman tulos1-välilehti

| | | | |
|---|----------|-------------------------------|--------------------------------------|
|  | | Rakennelaskelma, tulos | |
| | | Tekijä: Hannu Rainamo | Sivu: 1 (1) |
| Rakennuskohde: | | Työ no: | Sijainti: |
| | | Sisältö: | |
| | | | |
| Teräsbetonielementtien sauman leikkauskapasiteetti: | | Versio 0.3 | |
| TANGOILLA LASKETTAESSA: | | | |
| Materiaalit: | | | |
| | | Betoni = | C20/25 (K25) |
| | | Betoniteräs = | B500x |
| Poikkileikkausmitat: | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen pituus, $\Delta x =$ | | 1000 | mm |
| Poikkileikkauksen toimiva puristusleveys, $b_0 =$ | | 100 | mm |
| Raudoituksen koko, $\emptyset =$ | | 6 | mm |
| Leikkeiden lukumäärä = | | 2 | |
| Sauma/liittymä: | | | |
| Rajapinnan karheus (kts. Data välilehti), = | | Hyvin sileä 1 | |
| Ankkuroinnin kulma: (kuva1), $\alpha =$ | | 90 | $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ |
| Liittymään kohdistuva kohtisuora jännitys, $\sigma_n =$ | | 2 | N/mm^2 |
| Halutaanko rakennuksen levyjäykistys saada aikaan elementtien välisten saumojen avulla? | | Ei | |
| HUOM! Betonivaarnasauman täytyy täyttää kuvan 1 mukaiset ehdot. | | | |
| Kuva 1 | | Kuva 2 | |
|  | | | |
| Laskentakuormat: | | | |
| Kuormitustapaus: 4 | | $V_{Edi} [\text{N/mm}^2]$ | |
| | | 4 | |
| Laskentatulokset: | | | |
| $V_{Edi} =$ | | 4 | N/mm^2 |
| $v_{Rdi} =$ | | 2,33 | N/mm^2 |
| $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$ | | OK | |
| $v_{Rdi} \leq 0,5 v_{cd}$ | | OK | |
| $v_{Rdi} \geq v_{Edi}$ | | VIRHE | |
| Käyttöaste: | 171,49 % | VIRHE, KAYTTOASTE LIIAN SUURI | |

Liite 23. Teräsbetonelementtien sauman leikkauskapasiteetti-ohjelman tulos2-välilehti

| | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-------------|
|  | | Rakennelaskelma, tulos | |
| | | Tekijä: Hannu Rainamo | Sivu: 1 (1) |
| | | Päiväys: 0 | |
| Rakennuskohde: | Työ no: | Sisältö: | Sijainti: |
| | 0 | 0 | 0 |
| Teräsbetonelementtien sauman leikkauskapasiteetti: | | | Versio 0.3 |
| VAIJERILENKEILLÄ LASKETTAESSA: | | | |
| Materiaalit: | | | |
| Elementin betoni= | C25/30 | (K30) | |
| Saumabetoni= | C50/60 | (K60) | |
| Poikkileikkaussuureet: vaijerilenkeillä laskettaessa | | | |
| Rajapinnan poikkileikkauksen pituus, Δx = | 1000 | | |
| Poikkileikkauksen toimiva puristusleveys, b_0 = | 100 | | |
| Vaijerilenkkityyppi= | PVL-100 | | |
| Lenkkijako= | 700 | | |
| Seinän paksuus, b_s = | 180 | | |
| Laskentasuureet: | | | |
| Kuormitustapaus: 2 | V_{Edi} [N/mm ²] | | |
| | | 2 | |
| Lasketatulokset: | | | |
| V_{Edi} = | 2 | N/mm ² | |
| V_d = | 66,54 | kN | |
| V_{Ed} = | 200 | kN | |
| $V_d \geq V_{Ed}$ VIRHE, SAUMAN KESTÄVYYS EI RIITÄ | | | |
| Käyttöaste: | 300,55 | % | |