

LAB-ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Talonrakennustekniikka

Simo Silvennoinen

Teräsbetonisen seinäkonsolin mitoitus ja suunnittelu työsaumaraudoitteilla

Opinnäytetyö 2020

Tiivistelmä

Simo Silvennoinen

Teräsbetonisen seinäkonsolin mitoitus ja suunnittelu työsaumaraudoitteilla, 26 sivua, 2 liitettä

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Petri Himmi, LAB-ammattikorkeakoulu, osastopäällikkö Kimmo Suomalainen, Sweco Rakennetekniikka Oy, suunnittelupäällikkö Jari Louhivirta, Sweco Rakennetekniikka Oy

Opinnäytetyön tavoitteena on mitoittaa teräsbetoninen seinäkonsoli käyttäen konsolin pääraudoituksena kuluttajamarkkinoilla olevia työsaumaraudoitteita. Työssä käydään läpi konsolin mitoitus sekä perehdytään erilaisiin laatastovaihtoehtoihin, joiden tuentaan seinäkonsoleita voi käyttää.

Lisäksi opinnäytetyössä luodaan tilaajayritykselle laskentaohje ja laskentapohja seinäkonsolin mitoitukseen sekä tehdään detaljikirjasto seinäkonsoleista. Kirjasto sisältää konsoleiden mittatietojen ja raudoituksen lisäksi kapasiteettitaulukon, josta rakennesuunnittelija pystyy suoraan valitsemaan sellaisen konsolin, joka kestää konsoliin laatastolta tulevat kuormat.

Työn tarkoituksena on myös selvittää eri työsaumaraudoitteiden vaikutus seinäkonsolin kapasiteettiin valmistajakohtaisesti.

Asiasanat: seinäkonsoli, työsaumaraudoitus, teräsbetoni

Abstract

Simo Silvennoinen

Calculation of reinforced concrete wall-console using commercial joint reinforcements, 26 pages, 2 Appendices

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction Engineering

Structural engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr Petri Himmi, Senior Lecturer, LAB University of Applied Sciences, Mr Kimmo Suomalainen, Department Manager, Sweco Rakennetekniikka Oy, Mr Jari Louhivirta, Design Manager Sweco Rakennetekniikka Oy

The purpose of this thesis work was to create instructions on how calculating reinforced concrete wall-console using commercial joint reinforcement. This thesis includes instructions how to calculate and design reinforced concrete wall-console and the thesis also includes information about different possible slab-systems that wall-panels can be used to support.

As a result of this thesis a calculation program and calculation instructions were created. This thesis also includes a structural detail database that has the basic informations and also the load-bearing capacity of every detail. The database helps a structural designer to quickly compare and select a wall-console that fits the designer's purposes.

The secondary purpose of this thesis work is to compare different commercial joint reinforcements on how they effect on the bearing capacity of a wall-console.

Keywords: wall-console, joint reinforcement, reinforced concrete

Sisällys

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 2 | Seinäkonsoli | 6 |
| 3 | Konsolin mitoituksen teoria | 9 |
| 3.1 | Ristikkoteoria | 10 |
| 3.2 | Sauman leikkauskestävyys | 12 |
| 4 | Konsolin mitoitus | 15 |
| 4.1 | Mitoituksen kulku käytännössä | 15 |
| 4.2 | Raudoitusten vertailu sauman leikkauskestävyyteen perustuen | 16 |
| 4.3 | Päällekkäisten työsaumaraudoitusten vaikutus | 20 |
| 5 | Mitoitustietojen vaikutus konsolin murtomekanismiin | 21 |
| 6 | Konsolin ja tuettavan laataston liitokset | 22 |
| 7 | Yhteenveto | 24 |
| | Lähteet | 26 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1 Laskentapohja | |
| | Liite 2 Suunnitteluohje | |

1 Johdanto

Opinnäytetyön tilaajana toimii Sweco Rakennetekniikka Oy. Yrityksen toimialaan kuuluu rakennusalan tutkimus-, suunnittelu- ja konsultointitoiminta. Sweco Rakennetekniikka Oy kuuluu osaksi kansainvälistä Sweco AB-konsernia, joka työllistää yli 16000 työntekijää 15 eri maassa. (Sweco Finland Oy.)

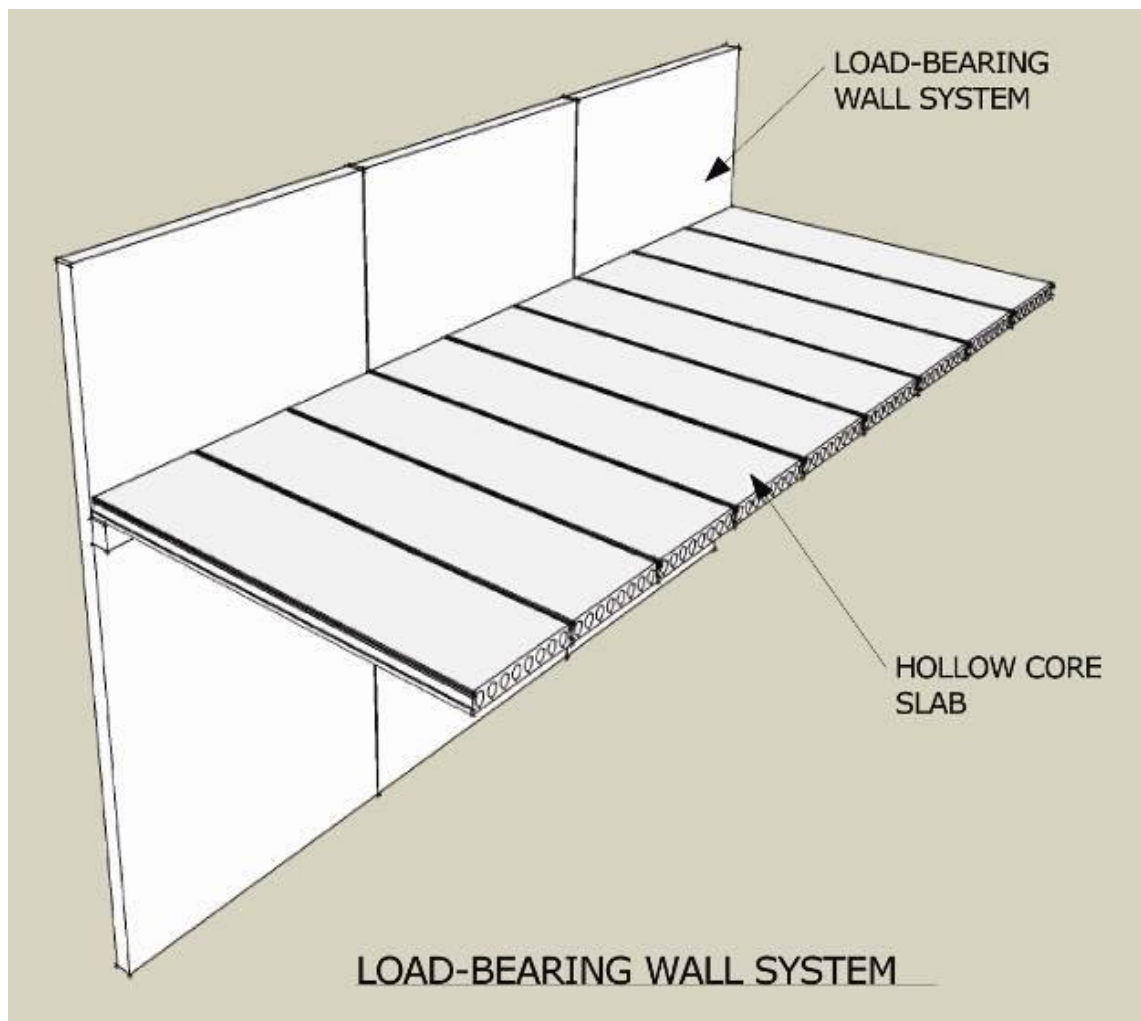
Idea opinnäytetyölle syntyi tilaajayrityksen tarpeesta. Rakennesuunnittelussa koetaan ongelmana se, että ei ole olemassa yleistä laskentaohjetta seinäkonsolleille etenkin, jos konsoli toteutetaan työsaumaraudoitteella. Lisäksi ei ole olemassa valmista detaljikirjastoa, josta voisi valita suoraan vaadittavan konsolin, kun tiedetään tälle tulevat kuormat. Tämä aiheuttaa tehottomuutta suunnittelussa, kun joka kerta suunnittelija joutuu laskemaan ja suunnittelemaan seinäkonsolin tapauskohtaisesti uudestaan.

Työn tavoitteena on mitoittaa teräsbetoninen seinäkonsoli käyttäen konsolin pääraudoituksena kuluttajamarkkinoilla olevia työsaumaraudoitteita. Valmiiden työsaumaraudoitteiden käyttö nopeuttaa työskentelyä työmaaolosuhteissa. Lisäksi luodaan tilaajayritykselle laskenta-alusta seinäkonsolien mitoittamiseen sekä tehdään kapasiteettitaulukko, josta rakennesuunnittelija pystyy valitsemaan suoraan seinäkonsolin, joka kestää sille tulevat kuormat. Työssä vertaillaan myös markkinoilla olevien työsaumaraudoitteiden vaikutusta seinäkonsolin kapasiteettiin valmistajakohtaisesti.

Tässä opinnäytetyössä pääpainona on konsolin mitoitus ristikkomenetelmällä ja sauman leikkauskestävyyden mitoitus. Työssä ei oteta kantaa kumilevylaakerin mitoitukseen.

2 Seinäkonsoli

Seinäkonsoli on kantavassa seinässä oleva uloke, johon tuetaan haluttu vaakasuuntainen rakenneosa, useimmiten laatta tai laattakenttä. Konsoli välittää vaakarakenteelta tulevat kuormat kantavalle seinälle. Yleisimpiä tuettavia laattatyyppejä ovat ontelolaatta, kuorilaatta, massiivilaattaelementti ja paikallavalulaatta. Kuvassa 1 on esitetty yleinen tapaus, jossa ontelolaatasto on tuettu seinäkonsoliin.



Kuva 1. Seinäkonsoliin tuettu ontelolaatasto (WE International Consultants Limited)

Laataston ja konsolin väliin asennetaan tarpeen vaatiessa nauhalaakeri. Nauhalaakeri sallii laataston vaakasuuntaisen liikkeen, jonka ansiosta laatastoon ei

synny pakkovoimia, jotka esim. lämpölaajenemisen tai kutistumisen takia halkaisivat laatan. Laakerin yläpinta suunnitellaan siten, että se sallii laataston liukumisen ja kiertymisen, kun taas laakerin alapinta kiinnitetään jäykästi konsoliin. Nauhalaakerit valmistetaan usein joustavasta neopreenikumista. Useimmissa tapauksissa nauhalaakeria ei tarvita. Näissä tapauksissa laatasto tuetaan konsoliin asennuspalojen varaan, jotka välittävät kuormat konsolille.

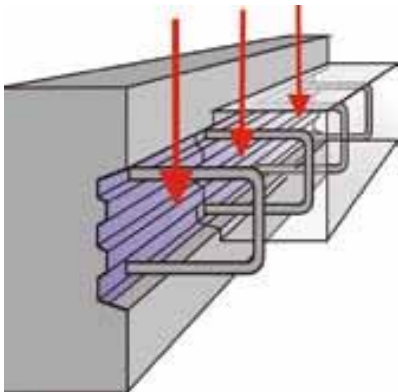
FISE on raportoinut tapauksesta, jossa seinäkonsolin liitos on toteutettu väärin aiheuttaen konsolin etureunan halkeamisen. Ontelolaatasto oli tuettu seinäkonsoliin suunnitelmista poiketen neopreenilaakerin sijaan laakerin päällä olevan vaneripalan päälle. Tämä aiheutti pystykuorman kohdistumisen konsolin etureunaan, jota ei ollut raudoitettu, jonka takia etureuna lohkesi. Kuvassa 2 on nähtävissä konsolin reunan lohkeaminen.



Kuva 2. Konsolin etureunan lohkeaminen (FISE Oy)

Kaupallisten työsaumaraudoitteiden käyttö seinäkonsolissa nopeuttaa ja helpottaa raudoitteiden asennusta työmaalla. Työsaumaraudoitteella liitetään jouhevasti yhteen betonirakenteet, jotka on valettu eri työvaiheissa. Työsaumaraudoite siirtää saumassa vaikuttavat pituus- ja poikkisuuntaiset leikkausvoimat betonirakenteelle. Betonirakenteiden välissä vaikuttava leikkausvoima siirretään kitkan avulla liitoksen rajapintoihin. Liitoksessa poikittain sijaitsevat betoniterästangot lisäävät liitoksen leikkauskestävyyttä. Seinäkonsolilla on tarkoitus ottaa pystysuuntaista kuormaa kohtisuorasti seinän ja konsolin saumaa vastaan.

Seinäkonsoleissa käytettäviä työsaumaraudoitteita tuottaa Suomen markkinoille useita valmistajia. Suurimpia valmistajia ovat Haucon, Ristimäki ja Peikko. Työsaumaraudoitteista löytyy usealta valmistajilta myös kuvan 3 mukainen vaarattu vaihtoehto. Tämä tarkoittaa sitä, että raudoitteen peltikotelon pinta on hammastettu kuorman vastaisesti, jolloin sauman leikkauskestävyys kasvaa. Valmistajilta löytyy vaihtoehtoja, joissa vaarlaus on toteutettu raudoituskotelon pituus- tai poikkisuuntaisesti. Pituussuuntaista vaarlausta käytetään lähinnä seinä-seinäliitoksissa ja poikkisuuntaista laatta-seinäliitoksissa tai konsoleissa.



Kuva 3. Periaatekuva seinäkonsolin raudoituksesta (HauCon Finland Oy)

Työsaumaraudoitteen sisänurkkiin asennetaan konsolin suunnassa olevat pitkittäiset teräkset, jotka toimivat vetoraidoituksena, jos konsoliin aiheutuu sisäisiä pakkovoimia esimerkiksi kuivumiskutistumisesta tai lämpölaajenemisesta. Lisäksi konsolista ulotetaan tuettavaan laatastoon raudoitustappi. Tappi siirtää laatan vaakavoimat konsolille sekä sitoo rakenteet yhteen onnettomuustilanteessa. Jos raudoitustappi asennetaan konsoliin siten, että konsolin vaakaraidoitus ei siirrä

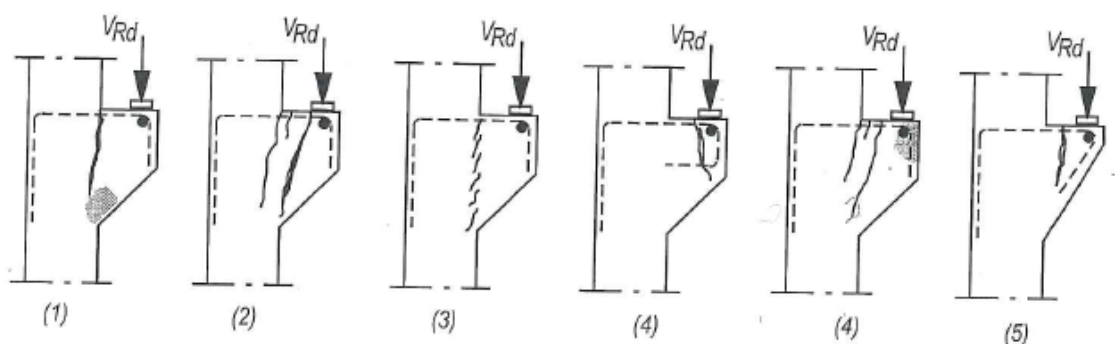
tapin kautta vaakavoimia konsolin pääraudoitukselle, asennetaan konsoliin erilliset haat siirtämään vaakavoimat. Haan lisääminen on usein tarpeellista ontelo- ja kuorilaattaliitoksissa.

Seinäkonsoleita käytetään esim. kohteissa, joissa konsolista katsoen seinän toisella puolella on laatastonsijaan avointa tilaa eli välipohjat ovat keskenään eri tasoissa. Tämä on yleistä esim. teollisuuskohteissa, joissa toimistotilat sijaitsevat korkean konehallin tai vastaavan tilan vieressä.

3 Konsolin mitoituksen teoria

Konsoli on mitoitettava vastustamaan pystysuuntaista voimaa (F_{Ed}), vaakasuuntaista voimaa (H_{Ed}) ja näiden voimien aiheuttamaa taivutusmomenttia (M_{Ed}). Tilanteessa, jossa konsoliin ei vaikuta ulkoista vaakakuormaa, oletetaan vaakavoiman silti olevan vähintään $H_{Ed} > 0,2 \cdot F_{Ed}$, johtuen liittymäpinnassa olevasta kitkasta sekä kiinnityksistä johtuvista pakkovoimista. (BY210, 457.)

Konsolin murtumistapa riippuu konsolin mitoista ja raudoituksesta. Kuvassa 4 on esitetty yleiset murtumistavat. Konsolimitoituksen suunnittelussa on pyrittävä siihen, että taivutusmurto on konsolin murtomekanismi. Puhdas leikkausmurto on mahdollista syntyä ulokkeen oltaessa lyhyt, mikä tarkoittaa suhdetta $L_s/d < 0,5$. (BY210, 286-287.)



Kuva 4. Konsolin murtumistapoja (1) taivutusmurto, (2) vino puristusmurto, (3) puhdas leikkausmurto konsolin ja seinän välillä, (4) konsolin reunamurtuminen, (5) reunan vetomurtuminen (BY210, 287)

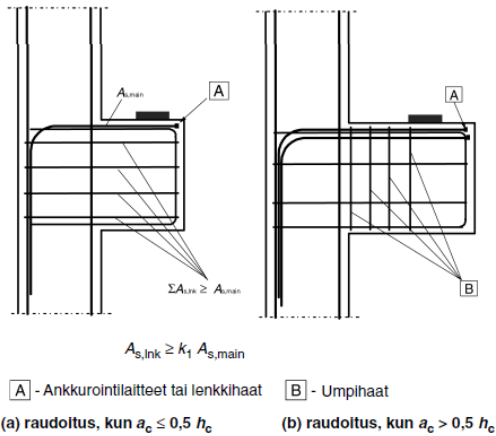
Suhteen putoaminen alle arvon 0,5 on hyvin yleistä, kun konsolin pääraudoituksenä käytetään useaa päällekkäin olevaa työsaumaraudoitetta. Konsolien tapauksissa leikkauskestävyys tarkastetaan konsolin ja seinän rajapinnan leikkautumisen kaavojen perusteella, jotka on esitetty myöhemmin.

Konsoli on mitoitettava kestämään siihen vaikuttavat voimat. Tämä mitoitus tehdään usein ristikkoteorialla. Lisäksi konsolin ja seinän liitos on mitoitettava kestämään. Tämä mitoitus tehdään laskemalla sauman leikkauskestävyys.

3.1 Ristikkoteoria

Ristikkoteoria on yksinkertainen menetelmä, joka ilmaisee tehokkaasti monimutkaiset voimakuviot. Teoria perustuu rakenteen sisään mallinnettaviin veto- ja puristussauvoihin, jotka liittyvät toisiinsa solmuissa. Näissä sauvoissa kulkevat voimat voidaan laskea rakenteiden mekaniikan sääntöjen mukaan. Ristikkomallilla varmistetaan, että voimasuureet voivat välittyä seinälle ja murtumista ei tapahdu ennen aikaisesti. Konsolissa leikkausvoima on suuri verrattuna momenttiin ja se välittyy seinän normaalivoimaksi vinoa puristussauvaa pitkin. (The Concrete Centre.)

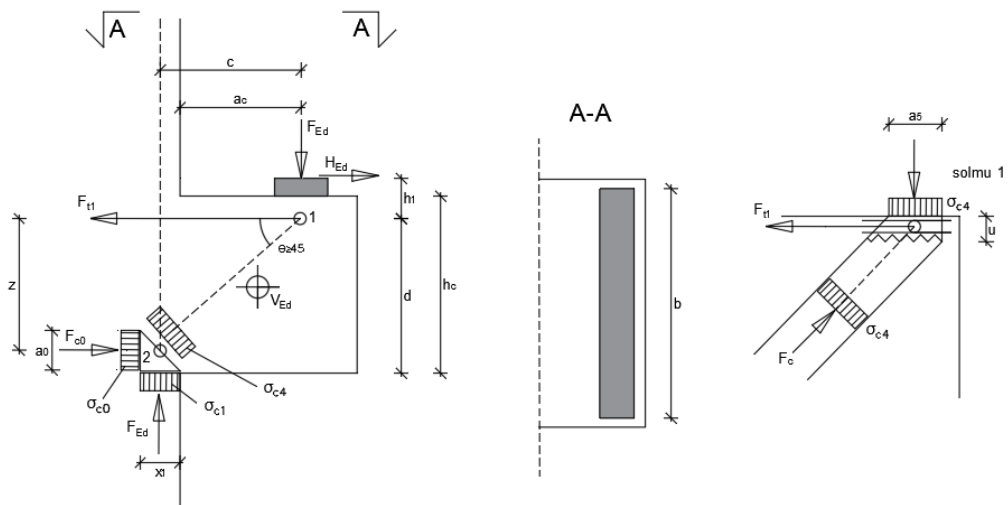
Puristussauvan kaltevuus voi vaihdella välillä $1,0 \leq \tan\theta \leq 2,5$. Jos $a_c < 0,5 h_c$, konsoli varustetaan päävetoraudoituksen lisäksi vaakasuuntaisilla tai kaltevilla umpihaoilla, jotka täyttävät ehdon $A_{s,ink} \geq k_1 A_{s,main}$. Kussakin maassa käytettävä kertoimen k_1 arvo voidaan esittää eurokoodin kansallisessa liitteessä. Suositusarvo on suomessa 0,25. Jos $a_c > 0,5 h_c$ ja $F_{Ed} > V_{Rd,c}$, konsoli varustetaan päävetoraudoituksen lisäksi pystysuuntaisilla umpihaoilla, jotka täyttävät ehdon $A_{s,ink} \geq k_2 * F_{Ed}/f_{yd}$. Kussakin maassa käytettävä kertoimen k_2 arvo esitetään eurokoodin kansallisessa liitteessä. Suositusarvo on suomessa 0,5. Vaaka ja pystysuuntaisten hakojen sijoittelu konsoliin on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Vaaka- ja pystyhakojen sijoittelu konsoliin (Eurokoodi 2 Osa 1-1, 218)

Päävetoraudoitus ankkuroidaan molemmista päistään. Se ankkuroidaan tukena olevan rakenneosan vastakkaiselle puolelle ja ankkurointipituus mitataan etupuolella olevan pystyraudoituksen sijainnista. Raudoitus ankkuroidaan konsoliin ja ankkurointipituus mitataan konsolin tukilevyn sisäreunasta. Jos halkeilun rajoittamiselle on erityisvaatimuksia, vinohailla estetään tehokkaasti sisänurkan aukeamista. (Eurokoodi 2 Osa 1-1 s. 217-218).

Konsolin kestävyuden mitoitus ristikkoteorialla voidaan toteuttaa Suomen betoniyhdistyksen julkaiseman kirjan BY210 mukaan seuraavien laskuvaiheiden mukaan. Koska kyseessä on seinäkonsoli, konsolin leveytenä b käytetään mitoituksen yksinkertaistamiseksi arvoa 1000 mm. Kuvassa 6 on esitetty konsolin ristikkomalli.



Kuva 6. Konsolin ristikkomalli

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{b \cdot f_{cd1}}, \text{ solmun 2 vaakasuora mitta} \quad (1)$$

$$f_{cd1} = 0,85 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd}, \text{ puristuslujuus} \quad (2)$$

$$\sigma_{c0} = \frac{f_{c0}}{b \cdot a_0} \leq f_{cd1}, \text{ solmun vaakasuora jännitys} \quad (3)$$

$$c = a_c + x_1/2, \text{ kuorman } F_{Ed} \text{ momenttivarsi} \quad (4)$$

a_0 solmun korkeus, joudutaan arvioimaan varmalle puolelle tai iteroimaan niin, että ehto $\sigma_{c0} < f_{cd1}$ toteutuu

$$z = d - a_0/2, \text{ puristus- ja vetoresultantin välinen momenttivarsi} \quad (5)$$

$$M_{Ed.s} = F_{Ed} \cdot a + H_{Ed} \cdot h_1, \text{ konsoliin kohdistuva momentti} \quad (6)$$

$$F_{c0} = M_{Ed.s}/z, \text{ solmun 2 puristusvoima} \quad (7)$$

$$F_{t1} = F_{c0} + H_{Ed}, \text{ vetovoima raudoituksessa} \quad (8)$$

$$\sigma_{c5} = \frac{F_{Ed}}{b \cdot a_5} \left(1 + \left(\frac{H_{Ed}}{F_{Ed}}\right)^2\right) \leq f_{cd3}, \text{ solmun 1 puristusjännitys} \quad (9)$$

$$f_{cd3} = 0,7 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd}, \text{ solmun 1 puristuslujuus} \quad (10)$$

$$\sigma_{c6} = F_{t1}/(b \cdot u) \leq f_{cd3}, \text{ vetovoiman } F_{t1} \text{ aiheuttaman paikallinen puristusjännitys solmussa 1} \quad (11)$$

3.2 Sauman leikkauskestävyys

Jotta vältetään saumaa vasten kohtisuorasti vaikuttavan leikkausvoimasta johtuvan halkeaman muodostumista seinäkonsolin ja kantavan seinän rajapintaan, on varmistettava, että rajapinnassa oleva leikkausjännitys ei ylitä rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvoa.

Suomen markkinoilla olevien työsaumaraudoitteiden valmistajilta löytyy omat kapasiteettitaulukot leikkauskestävyyksille. Valmistajien taulukoissa on kuitenkin eroja, vaikka kaikki laskevat leikkauskestävyydet samoilla kaavoilla. Tämä johtuu siitä, että osa valmistajista laskee kestävyudet Suomen Eurokoodin mukaan ja osa Saksalaisen DBV-ohjeen (Deutscher Beton und Bautechnik Verein) mukaan.

Leikkauskestävyyden $V_{Rd,c}$ [N/mm²] mitoitusarvo lasketaan Eurokoodin ”Eurokoodi 2 Betonirakenteiden suunnittelu Osa 1-1 Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt” suomalaisen kansallisen liitteen seuraavien kaavojen mukaan.

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \quad (12)$$

vähimmäisarvon ollessa

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d \quad (13)$$

missä

f_{ck} on betonin lieriölujuuden ominaisarvo 28 vuorokauden ikäisenä [N/mm²]

$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$ missä poikkileikkauksen tehollinen korkeus d on millimetreinä (13)

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02 \quad (14)$$

A_{sl} on tarkasteltavasta poikkileikkauksesta momentin itseisarvon pienemissuuntaan vähintään mitan $(l_{bd} + d)$ verran ulottuvan vetoraudoituksen pinta-ala

b_w on poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella [mm]

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (15)$$

N_{Ed} on kuormituksesta tai jännevoimasta aiheutuva poikkileikkauksen normaalivoima [N] ($N_{Ed} > 0$ puristuksessa). Pakkosiirtymätilan vaikutusta normaalivoimaan N_{Ed} ei tarvitse ottaa huomioon.

A_c on betonipoikkileikkauksen pinta-ala [mm²]. Huomioidaan vain halkeilematon betoni.

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c \quad (16)$$

$$V_{\min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} \quad (17)$$

$$k_1 = 0,15$$

Työsaumaraudoitteiden valmistajat laskevat saumojen kestävyys Eurokoodin kaavojen mukaan. Valmistajat ottavat lisäksi huomioon sauman karheusluokan. Karheusluokan lisäämisen jälkeen kaava muuttuu muotoon.

$$V_{Rd,c} = \frac{c}{0,5} * [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \quad (18)$$

missä

c on sauman karheusluokka

Tarkemman tiedon puuttuessa pinnat voidaan luokitella hyvin sileisiin, sileisiin, karheisiin tai vaarnattuihin, joista seuraavassa on esimerkkejä:

— Hyvin sileä: pinta, joka on valettu teräs-, muovi- tai erikoiskäsiteltyä puumuottia vasten: c = 0,025...0,10

— Sileä: liukuvalettu pinta tai ekstruuderipinta tai tärytyksen jälkeen jälkikäsittelemättä jätetty vapaa pinta: c = 0,20

— Karhea: pinta, jossa on vähintään 3 mm karheus noin 40 mm välein; se saavutetaan urituksella, paljastamalla kiviaines tai muilla menetelmillä, joilla saavutetaan vastaava ominaisuus: c = 0,40

— Vaarnattu: pinta, jossa hammastus: c = 0,50

Kuormien ollessa väsyttäviä tai dynaamisia kohdan kertoimen c arvo puolitetaan. (EC 2 Osa 1-1 s. 92)

Osa Suomen markkinoille työsaumaraudoitteita tuova yritys laskee kestävyys saksalaisen eurokoodin liitteiden arvoilla. Eroa suomalaisen ja saksalaisen eurokoodin laskennassa saadaan arvoille $C_{Rd,c}$ ja k_1 . Saksalaisen liitteen mukaan $C_{Rd,c} = 0,15/\gamma_c = 0,10$, $k_1 = 0,12$. Lisäksi raudoitusteräksen myötölujuuden mitoitusarvoon tehdään vähennys $0,8 * f_{yd}$, jota ei Suomessa käytetä.

On huomioitava, että edeltävät kaavat eivät huomioi konsoliin vaikuttavan pystykuorman synnyttävää momenttia ja tästä johtuvaa vetovoimaa saumassa. Tämän takia on ensisijaisen tärkeää mitoittaa konsolin kestävyys ristikkoteorialla, jonka avulla saadaan tietoon saumaan vaikuttavat voimat ja tämän jälkeen mitoittaa itse sauman leikkauskestävyys.

4 Konsolin mitoitus

4.1 Mitoituksen kulku käytännössä

Rakennesuunnittelija aloittaa konsolin mitoituksen valitsemalla konsoliin materiaalit. Tähän valintaan kuuluu betonin sekä raudoituksen lujuusluokkien valinta. Lähtökohtaisesti kannattaa suosia lujuudeltaan matalaluokkaisia betoneita, koska harvoin betonin puristusmurto on määräävä murtotapaus. Raudoitusteräksen on sen sijaan oltava korkea (500 N/mm^2 tavanomaisissa tapauksissa riittävä), koska varsinkin lyhyissä konsoleissa sauman leikkautuminen on usein murtomekanismi ja tavanomaisissa konsoleissa taivutusmurto on murtomekanismi.

Raudoituksen mittatietojen valinnassa otetaan huomioon haan korkeus, hakojen jako, tankojen halkaisija, montako raudoitetta laitetaan päällekkäin, betonipeitepaksuus sekä ankkuroinnin muoto ja mitat.

- Hakojen korkeuden kasvatus ja raudoitteiden päällekkäisyys vaikuttavat positiivisesti sauman leikkauskestävyyteen. Tässä on kuitenkin otettava huomioon puristussauvan kulmalle eurokoodissa annettu raja-arvo $1,0 \leq \tan\theta \leq 2,5$. Tämä tarkoittaa sitä, että konsolin korkeuden kasvaessa on konsolin pituutta myös kasvatettava tarpeen mukaan sekä käänteisesti korkeuden pienentyessä konsolia lyhennettävä. Liian suuri konsoli vie tilaa muilta rakenteilta, kun taas liian pienessä konsolissa terästen ankkurointipituus jää liian usein lyhyeksi. Kohdekohtaisesti on siis mietittävä, miten suuri konsoli on järkevää tehdä.
- Hakojen jakoa pienentämällä ja teräksen halkaisijaa kasvattamalla vaikutetaan positiivisesti sauman leikkauskestävyyteen ja vetosauvan kestä-

vyyteen. Jos konsolista halutaan tehdä esimerkiksi ulkonäkösyistä mahdollisimman pieni, hakojen jako sekä hakojen halkaisija ovat ainoita järkeviä vaihtoehtoja.

Työsauman karheuden valinta toteutetaan yksinkertaisesti valitsemalla valmistajien tuotteista haluttu karheusluokka. Usean valmistajan karheusluokka rajautuu joko sileään tai vaarnattuun saumaan. Vaarnattu sauma antaa laskennallisesti 2,5-kertaisen sauman leikkauskestävyyden sileään saumaan verrattuna.

Mahdollisen laakerin mittoja valittaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että korkea laakeri lisää vetoa raudoitukseen sekä puristusta betoniin. Tämä johtuu vaakakuormien aiheuttamasta momenttirasituksesta konsoliin. Laakerin leveyttä kasvattamalla pystytään vähentämään puristusjännitystä solmussa 1. Asennuspalat siirtävät kuormia vain asennusvaiheessa. Juotosvalun jälkeen kuorma siirtyy laatastolta konsolille juotosvalun kautta.

Konsolin mitoituksessa on tärkeää ottaa huomioon kuormituksesta johtuva sauman leikkauskestävyyden pienentyminen. Vetorasitus pienentää rajapinnan kitkaa ja puristus puolestaan kasvattaa kitkaa. Raudoitusvalmistajat antavat saumojen kestävyudet huomioimatta kuormituksen aiheuttamaa kestävyuden pientymää. Tässä on rakennesuunnittelijan oltava tarkkana, jottei kuormitus alenna kestävyyttä liikaa. Suoraan valmistajien taulukoita katsomalla ei siis päästä todelliseen sauman leikkauskestävyyteen.

4.2 Raudoitusten vertailu sauman leikkauskestävyyteen perustuen

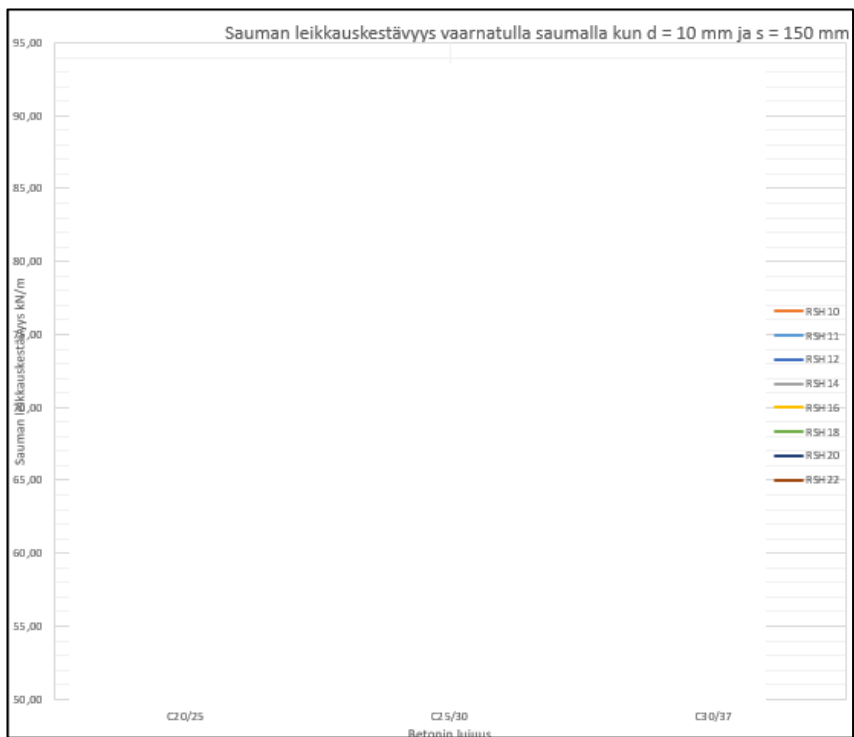
Raudoitusvalmistajien tuotteiden eroilla ei ole vaikutusta konsolin kestävyyteen. Kestävyys on riippuvainen ainoastaan raudoituksen sekä konsolin mittatiedoista sekä kuormituksesta. Ainut ero valmistajien välillä on, että osalla valmistajista on eri mitoissa olevia raudoituksia varastotuotteina. Seuraavassa taulukossa käydään läpi konsolivaihtoehtojen kestävyksiä ottamalla kantaa raudoituksen valmistajien yleisimpiin varastotuotteisiin. Vertaillaan kolmen eri valmistajan tuotteita HauCon Recostahl RSH, Ristimäki LP-V ja Peikko Arbox C.

Taulukosta 1 voidaan tarkastella HauCon Oy:n markkinoiman Recostahl RSH-työsaumaraudoituksen sauman leikkauskestävyys eri teräsmäärillä sekä betoniin

lujuuksilla. Taulukosta 2 voidaan tarkastella Recostahl-raudoitteen kestävyys kuvaajan muodossa, kun $d = 10 \text{ mm}$ ja $s = 150 \text{ mm}$.

| KAPASITEETTITAUUKKO | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------------|--------|-----------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| Raudoitus: HauCon Recostahl RSH | | | | | | | | | |
| D | Tyyppi | Tangon halk. | | Vaarnattu sauma | | | Sileä sauma | | |
| | | d (mm) | s (mm) | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 |
| | | | | | | | | | |

Taulukko 1. Recostahl RSH, sauman leikkauskestävyys taulukkona

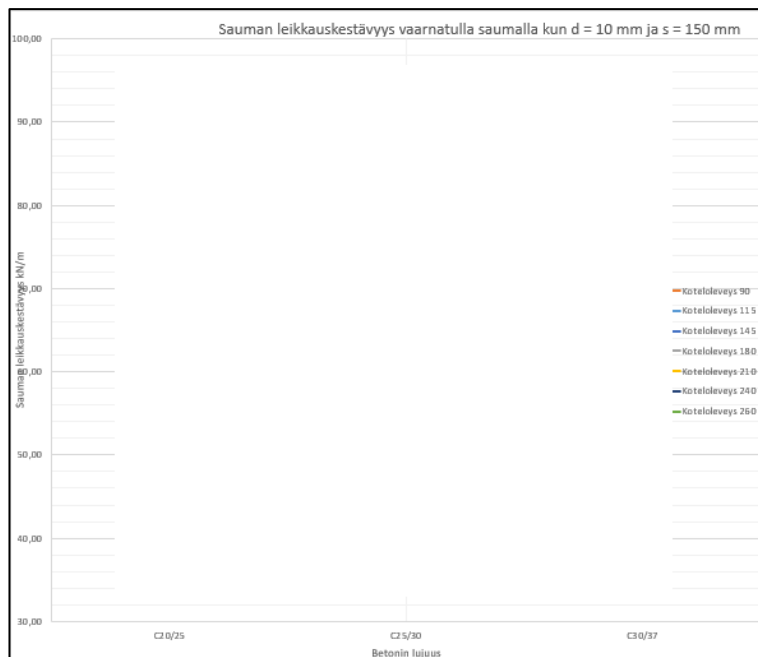


Taulukko 2. Recostahl RSH, sauman leikkauskestävyys vaarnatulla saumalla

Taulukosta 3 voidaan tarkastella Ristimäki LP-V-työsaumaraudoituksen sauman leikkauskestävyys eri teräsmäärillä sekä betoniin lujuuksilla. Taulukosta 4 voidaan tarkastella Ristimäki-raudoitteen kestävyys kuvaajan muodossa, kun $d = 10$ mm ja $s = 150$ mm.

| KAPASITEETTITAUUKKO | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------|--------|-----------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
| Rauditus: Ristimäki LP-V | | | | | | | | |
| D | Tangon halk. | | Vaarnattu sauma | | | Sileä sauma | | |
| | Kotelolev. d (mm) | s (mm) | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 |
| | | | | | | | | |

Taulukko 3. Ristimäki LP-V, sauman leikkauskestävyys taulukkona



Taulukko 4. Ristimäki LP-V, sauman leikkauskestävyys vaarnatulla saumalla

Taulukosta 5 voidaan tarkastella Peikko Arbox C-työsaumaraudoituksen sauman leikkauskestävyys eri teräsmäärillä sekä betoniin lujuuksilla. Taulukosta 6 voidaan tarkastella Arbox-raudoitteen kestävyys kuvaajan muodossa, kun $d = 10$ mm ja $s = 150$ mm.

| KAPASITEETTITAUUKKO | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|--------|-----------------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|
| Raudoitus: Peikko Arbox C | | | | | | | | | |
| D | Tangon halk. | | Vaarnattu sauma | | | Sileä sauma | | | |
| | Kotelolev. | d (mm) | s (mm) | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 |
| | | | | | | | | | |

Taulukko 5. Peikko Arbox C, sauman leikkauskestävyys taulukkona



Taulukko 6. Peikko Arbox C, sauma leikkauskestävyys vaarnatulla saumalla



Taulukko 8. Recostahl RSH, sauman leikkauskestävyys vaarnatulla saumalla kaadella päällekkäisellä raudoitteella

5 Mitoitustietojen vaikutus konsolin murtomekanismiin

Mitoituksessa on pyrittävä siihen, että taivutusmurto on konsolin murtomekanismi. Taivutusmurto tapahtuu, kun konsolin vetoraudoitus murtuu. Vetoraudoitus murtuu, kun raudoituksen kestävyys on pienempi kuin siihen vaikuttava vetävä voima.

Taivutusmurto saadaan vallitsevaksi murtomekanismiksi, kun konsolille tuleva kuorma on mahdollisimman kaukana konsolin ja seinän rajapinnasta suhteessa konsolin korkeuteen. Konsolia ei siis kannata mitoittaa korkeaksi suhteessa pituuteen, koska tällöin seinän ja konsolin välinen leikkausmurto tapahtuu ennen taivutusmurtoa. Leikkausmurto on vaarallinen siitä syystä, että sen vaikutuksia ei usein pysty visuaalisesti huomaamaan ennen kuin murto tapahtuu.

Betonin lujuusluokka vaikuttaa konsolissa pääasiassa ankkurointiin, betonin vinoon puristusmurtoon ja ristikkoteorian solmujen paikallisiin puristusmurtoihin. Solmun alueen puristuksen takia ei ole kustannussyistä järkevää kasvattaa betonin lujuusluokkaa vaan helpompi tapa on leventää konsolin tukipintaa. Kuormien ollessa suuria lujuusluokkaa kannattaa kasvattaa, ettei vino puristusmurto ole

vallitseva murtomekanismi. Kuormien kasvaessa raudoitusmäärät kasvavat, jolloin raudoituksen vetojännitys pienenee suhteessa betonin puristusjännitykseen, joten lujuusluokkaa on kasvatettava. Puristusmurto on leikkausmurron tavoin vaikeasti havaittavissa ennen murtotapahtumaa.

Seinän ja konsolin välinen leikkausmurto on murtomekanismi usein korkeissa konsoleissa tai tapauksissa, jossa kuorma tuodaan konsolille hyvin lähelle seinää. Betonin lujuusluokan kasvatus ei ole järkevää leikkauskapasiteetin parantamiseksi, koska raudoitus on pääasiallinen leikkausmurron vastustaja. Raudoitusmäärän kaksinkertaistaminen keskimäärin lisää leikkauskestävyyden arvon 1,5 kertaiseksi. Suurin tekijä leikkausmurtoa vastaan laskennallisesti on seinän ja konsolin rajapinnan läpi menevän raudoituksen määrä sekä rajapinnan karheusluokka.

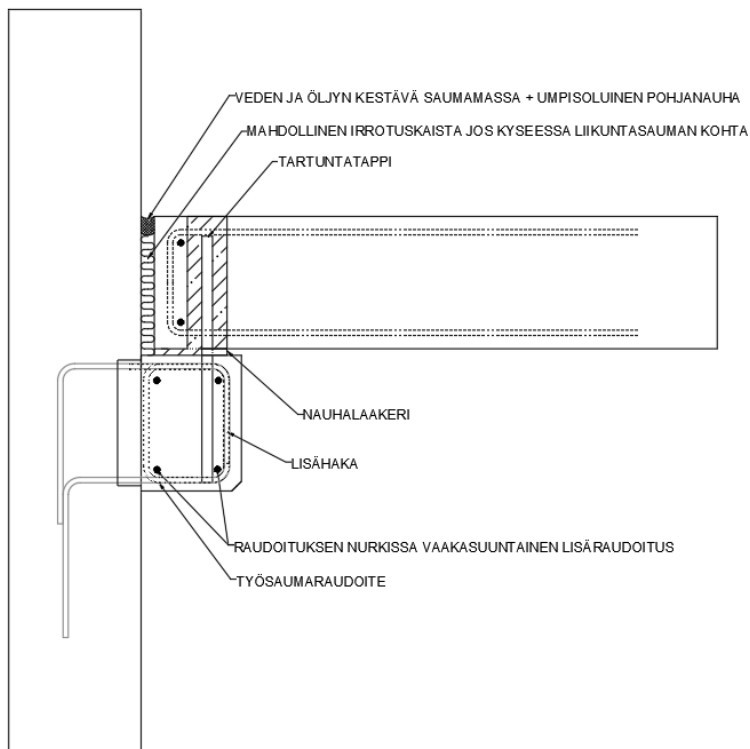
6 Konsolin ja tuettavan laataston liitokset

Seinäkonsolin ja elementtilaatastojen liitoksissa, jotka toteutetaan juotosvalulla, suurimman eron konsolin toimintaan tekee asennuspalojen tai laakerin käyttö. Asennuspalojen tai laakerien käyttö lisää paikallista puristusjännitystä asennusvaiheessa ennen jälkivalua, koska kuorma siirtyy laatastolta konsolille palojen tai laakerin kautta. Asennuspaloja käytetään elementtilaattojen asennusaikaiseen tuentaan. Kun jälkivalu on tehty, kuorma siirtyy laatastolta konsolille jälkivalun kautta.

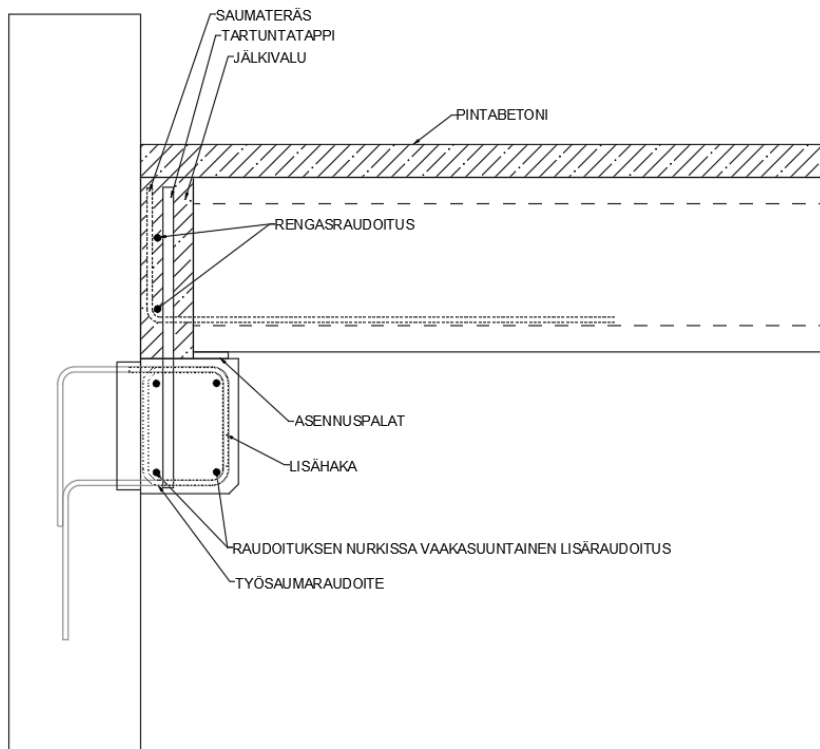
Massiivilaattaelementti tuetaan konsoliin kuvan 7 mukaisesti. Konsolista ulotetaan raudoitustappi laatan sisään, tappi siirtää laattaan tulevat vaakavoimat konsoliin. Jos kyseessä on liikuntasauaman kohta, laatan ja seinän väliin asennetaan irrotuskaista, joka sallii laatan muodonmuutokset. Kaistan yläpintaan asennetaan veden ja öljyn kestävä saumamassa. Liikuntasauaman kohdassa on laataston ja konsolin väliin on asennettava nauhalaakeri.

Ontelolaatta ja kuorilaatta tuetaan konsoliin kuvien 8 ja 9 mukaisesti. Laatan ja seinän väliin jätetään laatan koosta riippuen noin 50...150 mm rako. Rakoon nostetaan konsolista raudoitustappi, joka siirtää laatastoon vaikuttavat vaakavoimat

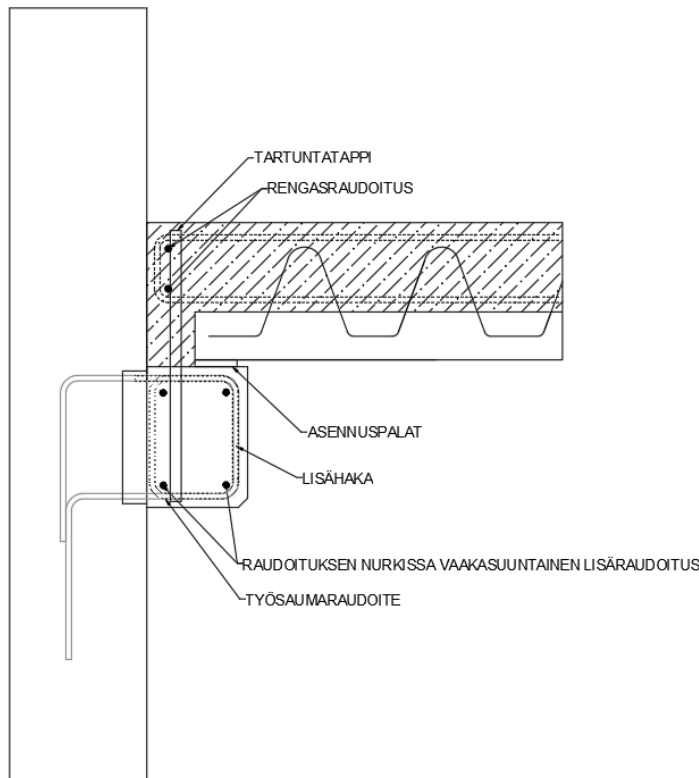
konsolille ontelolaataston sauma- ja rengasraudoituksen avulla. Laataston asennuksen jälkeen rako valetaan umpeen.



Kuva 7. Seinäkonsolin ja massivielementtilaatan esimerkkiliitos



Kuva 8. Seinäkonsolin ja ontelolaatan esimerkkiliitos



Kuva 9. Seinäkonsolin ja kuorilaatan esimerkkiliitos

7 Yhteenveto

Seinäkonsolien käyttöä suunnittelijan kannattaa harkita, kun laataston tukeminen suoraan kantavan seinän päälle ei ole mahdollista. Konsolien raudoituksessa kannattaa suosia kaupallisia työsaumaraudoitteita etenkin, jos halutaan tehostaa asennusnopeutta. Rakennesuunnittelussa työsaumaraudoitteiden käyttö on helppoa, koska lähes kaikilta valmistajilta löytyy eri rauditusvaihtoehdoille kapasiteettitaulukot näiden saumojen leikkauskestävyyksille. Taulukot eivät kuitenkaan ota kantaa itse konsolin kestävyteen, joten jokainen konsolitapaus on aina suunniteltava erikseen.

Opinnäytetyössä tutkittiin ja vertailtiin eri rauditusvalmistajien työsaumaraudoitteiden eroja konsolin ja seinän välisen sauman leikkauskestävyydelle. Valmistajien väliset erot rajoittuvat ainoastaan siihen millä eri mittatiedoilla, ankkurointivaihtoehdoilla ja sauman mahdollisilla vaarauksilla valmistajan kauppaavat raudoituksia.

Opinnäytetyössä tutkittiin, miten sauman leikkauskestävyyteen vaikuttaa usea päällekkäinen työsaumaraudoite. Rauditusmäärän ja konsolin korkeuden kasvaessa sauman leikkauslujuus kasvaa eli päällekkäisillä raudotteilla saadaan lisää kestävyttä. Konsolin korkeuden kasvaminen ei ole kuitenkaan aina edullista, sillä laatastolta tuleva pystykuorman kulkeutuminen puristuksena seinälle on pysyttävä raja-arvoissa $1 < \tan\theta < 2,5$. Tämä tarkoittaa sitä, että konsolin korkeuden kasvaessa on konsolista myös tarpeen mukaan myös tehtävä pidempi.

Lähteet

FISE Oy. Virhekortit. Toteutus. Teräsbetonikonsolin puutteellinen raudoitus. <https://fise.fi/virhekortti/terasbetonikonsolin-puutteellinen-raudoitus/> Luettu 10.1.2020.


HauCon Finland Oy. Tuoteluettelo. <https://docplayer.fi/43705462-On-uusin-jasen-pohjoismaita-kattavassa-ja-betonialan-rakennustarvikkeita-myyvassa-haucon-ryhmassa.html> Luettu 21.2.2020

Leskelä, M.V. 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus by 210. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y

Sweco Finland Oy. Tietoa Swecosta. <https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/> Luettu 10.1.1020.

The Concrete Centre. Codes. Eurocode 2. Strut and tie. <https://www.concretecentre.com/Codes/Eurocode-2/Stut-and-Tie.aspx> Luettu 21.1.2020

WE International Consultants Limited. Conceptual Design for a Precast Concrete Hotel in Iraq. <https://www.we-inter.com/Conceptual-Design-for-a-Precast-Concrete-Hotel-in-Iraq.aspx> Luettu 21.2.2020.

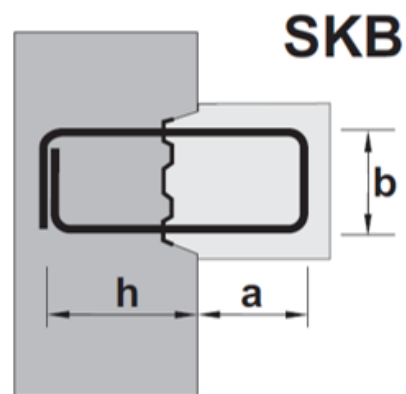
| | | | |
|---|--|-------------------------------------|-----------|
|  Sweco Rakennetekniikka Oy, Ilmalanportti 2, 00240 HELSINKI | | Rakennelaskelma, lähtötiedot | |
| | | Tekijä: | Sivu: |
| Rakennuskohde: | | Päiväys: | Sijainti: |
| Työ no: | | Sisältö: | |
| Jälkivalettu seinäkonsoli | | Versio 1.0 | |
| MATERIAALIT | | | |
| | | | |
| KONSOLI | | | |
| | | | |
| KUORMITUS | | | |
| | | | |

| LASKENTA | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Sauman leikkauskestävyys | | | | | | | | | |
| Ristikkoteoria | | | | | | | | | |

| ANKKUROINTI | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| PITUUSSUNNAINEN KUORMA | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| KÄYTTÖASTEET | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

**PAIKALLAVALURAKENTEIDEN
SWECO OHJEKORTTI**

JÄLKIVALETUN SEINÄKÖN SOLIN MITOITUS TYÖSAUMARAUDOITTEILLA



13.03.2020 VERSIO 1.0

SWECO RAKENNETEKNIikka OY

SIMO SILVENNOINEN



Muutosluettelo

| VERSIO. | PÄIVÄYS | MUUTOS KOSKEE | TARKASTETTU | HYVÄKSYTTY |
|---------|---------|---------------|-------------|------------|
| | | | | |
| | | | | |

Sisältö

| | | |
|---|---------------------|---|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Teoria | 1 |
| 3 | Mitoituksen vaiheet | 4 |
| 4 | Muuta | 5 |



