

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

2022

Hannu Oksanen

**ONTELOLAATASTON
JÄYKISTYSVOIMIEN SIIRTO
TOIMITILARAKENTAMISESSA**

TURKU AMK 
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Opinnäytetyö (AMK) Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

2022 | 39 sivua, 10 liitesivua

Hannu Oksanen

ONTELOLAATASTON JÄYKISTYSVOIMIEN SIIRTO TOIMITILARAKENTAMISESSA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia jäykistysvoimien siirtämistä ontelolaatastolta jäykistävälle rakenteelle. Työ on rajattu liitosten leikkauskestävyyteen ja niiden laskemiseen. Kuormien laskenta on rajattu työn ulkopuolelle. Työssä käsitellään myös leikkausliitokseen vaikuttavia tekijöitä, kuten tartuntaa, kitkaa, vaarvoja ja näiden yhteisvaikutusta.

Työssä tehtiin esimerkki toimitilarakennuksen pohja. Tähän pohjaan vaikuttaa tuulikuorma, mikä muodostaa vaakavoiman laatastolle. Tämän kuorman välittämiseksi jäykistäville rakenteille tehtiin eri liitostyyppisiä. Liitosten leikkausvoimakestävydestä esitetään laskelmat liitteissä.

Työssä käsitellään levyvaikutusta ontelolaatastossa ja kahden betonipinnan leikkauskestävyyttä. Työn tuloksena syntyi muutama liitos ja niiden leikkauskestävyysslaskelmat. Tämä opinnäytetyö on suunnattu suunnittelijoille, joilla on tarvetta betonirakenteiden leikkausliitoksille.

Asiasanat:

leikkausliitos, leikkauskestävyys, ontelolaatta, pintalaatta, ontelolaatan sauma

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil and Construction Engineering

2022 | number of pages: 39, number of pages in appendices: 10

Hannu Oksanen

TRANSMISSION OF SHEAR FORCES OF HOLLOW-CORE SLABS IN AN OFFICE BUILDING

The purpose of this thesis was to study the transfer of shear forces from a hollow slab to a stiffening structure. The work is limited to the shear strength of the joints and their calculation, whereas the loads are outside the scope of this study. Factors affecting the shear joint such as adhesion, friction, dowels and their interaction are also discussed in the work.

An example of the layout of an office building was made in the work. This layout is affected by the wind load, which creates a horizontal force on the slab. To transmit this load to the stiffening structures, a few different types of joints were made. Calculations of the shear strength of the joints are presented in the appendices.

The work resulted in a few joints and their shear strength calculations. The work deals with the plate effect in the hollow core slab and the shear strength of two concrete surfaces. This thesis is aimed at designers who have a need for shear joints in concrete structures.

Keywords:

Shearjoint, shear resistance, hollow-core slab, structural topping, grout joint

Sisältö

Käytetyt lyhenteet	7
1 Johdanto	9
2 Levyvaikutus ontelolaatastossa	10
2.1 Vaakakuormien siirtäminen	10
2.2 Voimien jakautuminen jäykistävälle rakenteelle	10
2.3 Levyjäykistys	10
2.4 Sideraudoitus	12
2.5 Pintalaatta	13
3 Kahden betonipinnan välinen leikkauskestävyys	17
3.1 Betonipintojen välinen leikkausliitos	17
3.1.1 Betonin tartunta	18
3.1.2 Leikkauskitka	18
3.1.3 Vaarnat	21
3.1.4 Mekaaniset liitokset	22
3.1.5 Tekijöiden yhteisvaikutus	24
3.2 Ontelolaatan sauman pituussuuntainen leikkauskestävyys	26
4 Ontelolaataston ja jäykistävän rakenteen liitos	30
4.1 Esimerkkikohde	30
4.2 Kuormat ja rasitukset	30
4.3 Tarkasteltavat liitokset	30
5 Yhteenveto ja johtopäätökset	38
Lähteet	39

Liitteet

Liite 1.Toimitilarakennuksen tasopiirustus.

- Liite 2. Leikkausvoiman laskeminen.
- Liite 3. Liitoksen leikkauskestävyys.
- Liite 4. Ontelolaatan sauman leikkauskestävyys.
- Liite 5. Pintalaatan leikkauskestävyys.
- Liite 6. Ontelolaattojen välisen liitoksen leikkauskestävyys.

Kaavat

Kaava 1. Minimi raudoitussuhde.	14
Kaava 2. Raudoitussuhde.	14
Kaava 3. Pintalaatan leikkauskestävyys	14
Kaava 4. Pintalaatalle jakautuva leikkausvoima.	15
Kaava 5. Tartunnan leikkauskestävyys.	18
Kaava 6. Betonin vetolujuuden mitoitusarvo.	18
Kaava 7. Kitkan leikkauskestävyys.	19
Kaava 8. Normaalijännitys liitoksessa.	19
Kaava 9. Halkeamaleveys sileilläpinnoilla.	20
Kaava 10. Halkeamaleveys karkeilla pinnoilla.	20
Kaava 11. Rasmussenin ja Pruijsiersin kaava teräsvaarnan kestävyydelle.	22
Kaava 12. Termin ϵ kaava.	22
Kaava 13. Kahden betonipinnan välinen leikkauskestävyys.	24
Kaava 14. Vetolujuuden mitoitusarvo.	24
Kaava 15. Leikkauksesta halkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin.	24
Kaava 16. Ontelolaatan sauman suurin leikkauskestävyys.	26
Kaava 17. Suurin leikkauskestävyys haljenneessa saumassa.	26
Kaava 18. Ontelolaatan sauman leikkauskestävyys.	26

Kuvat

Kuva 1. Levyvaikutus ontelolaatastossa.	11
Kuva 2. Leikkausvoiman ja momentin muodostuminen laatastossa.	11
Kuva 3. Laattoja kiertää rengasraudoitus, joka varmistaa levyvaikutuksen.	12
Kuva 4. Pintalaatta ontelolaataston päällä.	13
Kuva 5. Laataston momenttivarsi.	15
Kuva 6. Leikkauskitka.	19
Kuva 7. a) Halkeamaleveys ja siirtymä b) Halkeamaleveyden ja siirtymän yhteys sekä puristusjännityksen vaikutus.	20
Kuva 8. Leikkausvoima vaarnassa a) määritelmät b) periaatteita.	21
Kuva 9. Mekaaninen liitos.	23
Kuva 10. Kahden betonipinnan välinen liitos vaarnattuna.	25
Kuva 11. Leikkausvoima ontelolaatan saumassa.	27
Kuva 12. Leikkausjännityksen, normaalijännityksen ja halkeamaleveyden yhteyden kuvaaja.	29
Kuva 13. Hissikuilun ja ontelolaatan pitkän sivun välinen liitos 1.	31
Kuva 14. Liitos 1, asettelu ylhäältä katsottuna.	32
Kuva 15. Ontelolaatan päädyn ja hissikuilun välinen liitos 2.	33
Kuva 16. Liitos 2 ylhäältä kuvattuna.	34
Kuva 17. Kahden otelolaatan välinen sauma.	35
Kuva 18. Liitos 3 kahden ontelolaatan välillä.	35
Kuva 19. Ontelolaattojen välinen liitos ylhäältäpäin.	36
Kuva 20. Pintalaatta.	37

Taulukot

Taulukko 1. T_{max} ja T_R kun saumabetoni on C25/30.	27
---	----

Käytetyt lyhenteet

A_c	pintalaatan betonin leikkauspinta-ala
\varnothing	terästangon halkaisija
μ	kerroin, joka on riippuvainen rajapinnan karheudesta
A_i	rajapinnan pinta-ala
A_s	rajapinnan läpi kulkevan raudoituksen poikkileikkausala
B	laataston leveys
C	kerroin, joka on riippuvainen rajapinnan karheudesta
f_{ck}	betonin puristuslujuus
$f_{ck,mc}$	saumabetonin ominaispuristuslujuus
$f_{ck,cube}$	betonin ominaiskuutiolujuus
f_{ctd}	betonin vetolujuuden mitoitusarvo
f_{ctm}	betonin vetolujuus
f_{yk}	teräksen ominaislujuus
h_j	sauman korkeus
k	kerroin leikkauskestävyydelle
L_v	sauman leveys
N_{Ed}	normaalivoima
t	pintalaatan paksuus
T_{max}	suurin leikkausjännitys saumassa

T_r	leikkausjännitys haljenneessa saumassa
T_{Rdi}	pituuussuuntainen keskimääräinen leikkausjännitys
V_{Rdi}	rajapinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo
w	liittymäpintojen välinen halkeamaleveys
α	vaarnakulma
α_{ct}	kerroin, joka ottaa huomioon vetolujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikuttamistavasta riippuvat epäedulliset tekijät. kussakin maassa arvo voidaan esittää kansallisessa liitteessä. suositusarvo on 1,0.
ρ	raudoitussuhde
σ_c	puristusjännitys
σ_n	normaalijännitys liitoksessa
σ_s	raudoitustangon vetojännitys

1 Johdanto

Suomalaisessa rakentamisessa ontelolaatta on eniten käytetty laattaelementti ja sillä on mahdollista päästä aina 20 metrin jänneväleihin asti. Käyttökohteita ovat asuintalot, toimisto- ja teollisuusrakennukset. Ontelolaataston edut paikallavalettuihin rakenteisiin ovat muottityön ja tukemisen vähäisyys, nopea rakentamistapa sekä valmiin työtason saaminen varhaisessa vaiheessa. Valikoima eri ontelolaatoista on hyvin kattava monenlaisiin tarkoituksiin. Laattojen tyypillinen nimellisleveys on 1 200 mm, mutta onteloiden lukumäärä ja muoto vaihtelevat elementin paksuuden mukaan. (Parman ontelolaatatot suunnitteluohje)

Laatasto täytyy kuitenkin saada ensin toimimaan levykenttänä, jotta kuormat saadaan siirrettyä jäykistävälle rakenteille, kuten hissikuilulle. Levyvaikutus saadaan aikaan parhaiten käyttämällä sopivaa sideraudoitusta ja pintalaattaa.

Tämä työ on rajattu koskemaan liitosten kestävyyttä leikkausvoiman siirron suhteen ontelolaatastolta jäykistävälle rakenteelle sekä ontelolaatan sauman leikkauskestävyyttä pintalaatalla ja ilman pintalaattaa. Työssä on tehty esimerkki toimitilarakennuksesta, johon vaikuttaa vaakakuorma. Työssä tarkastellaan työssä eri liitoksia ja niiden kykyä välittää vaakasuuntaista leikkausvoimaa rakennuksessa. Työn toimeksiantajana toimii A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

2 Levyvaikutus ontelolaatastossa

2.1 Vaakakuormien siirtäminen

Jäykistyksen suunnittelussa täytyy varmistua aina kahdesta vaatimuksesta. Vaakakuormat siirtyvät ilman, että tapahtuu suuria muodonmuutoksia ja jäykisteinä toimivat pystyrakenteet säilyttävät stabiiliteetin. Vaakakuormat saadaan siirrettyä pystyrakenteille levyosien avulla. Välipohjat, kuten ontelolaatasto toimivat vaakasuorina jäykisteinä ja leikkausseinät sekä jäykistystornit toimivat pystysuorina jäykisteinä. (Leskelä 2008, 180.)

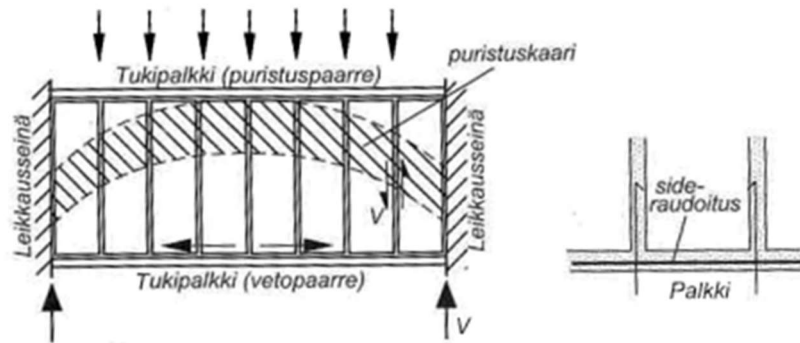
2.2 Voimien jakautuminen jäykistävälle rakenteelle

Voimien jakaantuminen jäykistävien rakenteiden kesken riippuu eri tekijöistä. Jäykistysrakenteen siirtymäjäykkyydestä, joka tarkoittaa esimerkiksi leikkausseinän yläpään vaakasiirtymää tasonsa suunnassa. Jäykistysrakenteet yritetään sijoittaa niin, että jokainen osa kuormittuu mahdollisimman tasaisesti. Vaakatasossa olevilla jäykistysrakenteilla on kiertokeskiö, jonka kautta menevä vaakavoima ei aiheuta vääntöä. Yleensä ei ole mahdollista sijoittaa jäykistysrakenteita niin, että vääntövaikutuksia ei syntyisi. Pilaritkin voidaan suunnitella ottamaan osan vaakakuormista, mutta yleensä tätä ei huomioida, koska niiden kapasiteetti on sen verran pieni.

2.3 Levyjäykistys

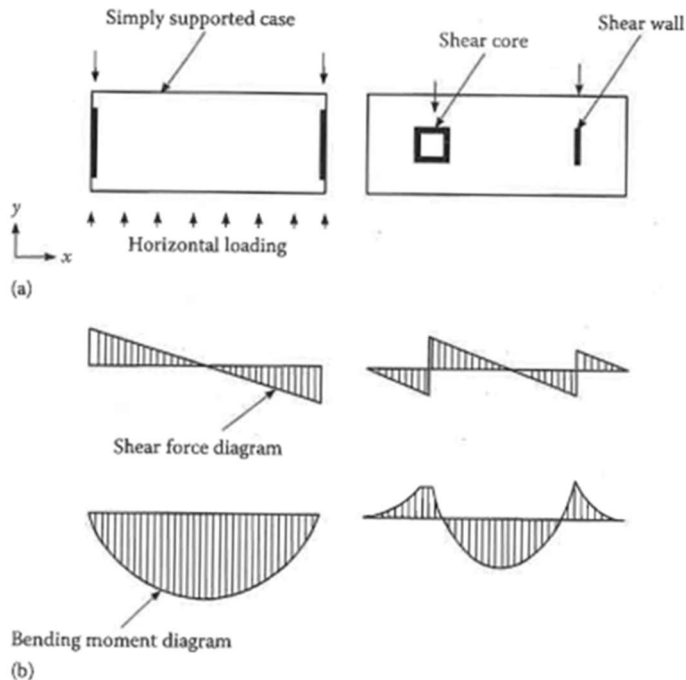
Suuri osa välipohjista Suomessa tehdään ontelolaatoilla ja näissä laatastoissa täytyy varmistua, että laatasto toimii yhtenäisenä levykenttänä. Levyvaikutuksen ansiosta saadaan vaakakuormat välitettyä leikkausseinille. Levykenttä toimii rakennemallissa palkin tavoin, jossa siihen muodostuu puristusta ja vetoa. Tukina toimivat leikkausseinät, joten niiden ja laataston väliseen liitokseen kohdistuu

suurin leikkausvoima. Tämä esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Levyvaikutus ontelolaatassa (Leskelä 2008, 186).

Yksittäisten laattojen välillä leikkausvoima siirtyy saumojen välityksellä. Saumojen avautumisen estäminen ja näin ollen levyvaikutuksen syntyminen varmistetaan levykentän ympäri tulevalla sideraudoituksella. Kuvassa 2 esitetään leikkausvoima- ja momenttikuvaajat. (Leskelä 2008, 186.)

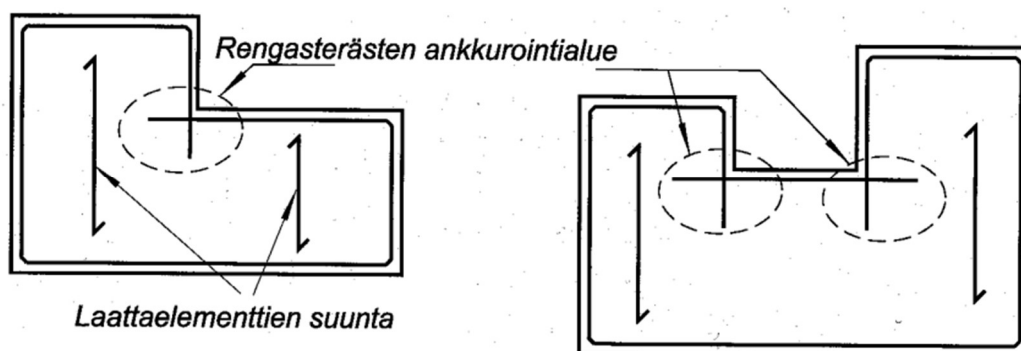


Kuva 2. Leikkausvoiman ja momentin muodostuminen laatastossa (Elliot 2017, 398).

2.4 Sideraudoitus

Sideraudoitusta tarvitaan, jotta saadaan laatastossa olevat laattaelementit kytkettyä yhteen niin, että levyvaikutus voi syntyä. Sideraudoitukseen kuuluvat rengasraudoitus ja saumaraudoitus. Rengasraudoitus kierteää laataston ja estää ontelolaattojen päitä erkanemasta toisistaan. Rengasraudoituksen määrä riippuu tasolle tulevasta vaakasuuntaisesta kuormasta ja jäykistävien pystyrakenteiden välimatkasta. Laataston toiminta jäykistävänä levynä edellyttää pituus- ja poikittaissuuntaisilta saumoilta leikkauskestävyyttä. Jos saumoihin kohdistuu murtorajatilassa sauman leikkauskestävyyden ylittävä jännitys (0,15 MPa), täytyy saumoihin lisätä saumateräkset leikkauskestävyyttä lisäämään. Onnettomuustilanteessa saumaraudoituksen tehtävänä on estää jatkuva sortuma. Rengasterästys esitetään kuvassa 3. (BY 2012, 23.)

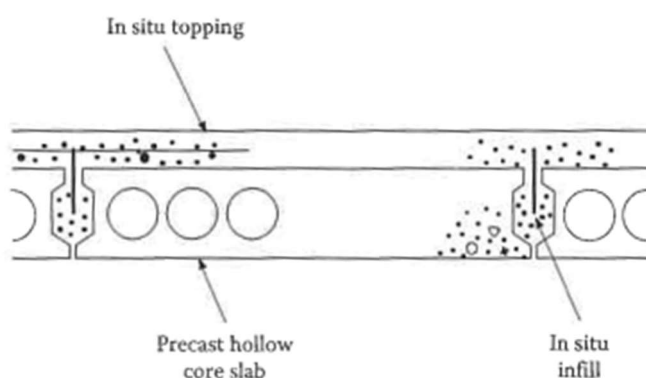
Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan tilannetta, jossa vähäinen sortuma voi edetä laajaksi ja vaarantaa koko rakennuksen kestävyden. Jatkuva sortuminen voi kehittyä äkillisesti tai se voi alkaa ja jatkua hitaana vaurioprosessina. Jatkuva sortuma johtuu rakennuksen kuormien uudelleen jakautumisesta, jos yksi rakennusosa menettää kantokykynsä. (RIL 201-4-2017, 20.)



Kuva 3. Laattoja kierteää rengasraudoitus, joka varmistaa levyvaikutuksen (Leskelä 2008, 544).

2.5 Pintalaatta

Pintalaatta on raudoitettu betonilaatta, mikä valetaan ontelolaataston päälle. Rakenteellista kestävyyttä voidaan lisätä pintalaatan avulla, jos se on ankkuroitu ontelolaatastoon ja voidaan ajatella sen toimivan liittorakenteena. Pintalaatta esitetään kuvassa neljä. Pintalaatan paksuuden pitää olla vähintään 40 mm. Suurinta paksuutta ei ole rajoitettu mutta se on käytännössä 75-100 mm. Yleensä pintalaatassa käytetään C25/30 lujuuden betonia mutta voidaan käyttää myös korkeamman lujuuden betonia. Tärkeimpiä syitä pintalaatan käyttöön ovat leikkauskestävyyden lisääminen, levykentän tomivuuden varmistaminen, värähtelyn pienentäminen ja akustisten ominaisuuksien parantaminen. Liittolaatta, jossa ontelolaatan päälle tulee pintalaatta, suunnitellaan kahdessa osassa. Ensiksi ontelolaataston täytyy kantaa omapainonsa ja pintavalu, millä ei ennen betonin lujuuden kehitystä ole kestävyyttä. Kun betoni on täysin kehittynyt, voidaan laatastoa tarkastella liittolaattana. (Elliot 2017, 181-182.)



Kuva 4. Pintalaatta ontelolaataston päällä (Elliot 2017, 182).

Tietyn tyyppiset laatastot eivät pysty välittämään vaakasuuntaisia kuormituksia, joten ne täytyy välittää muilla tavoilla. Esimerkiksi laatasto voi olla liian ohut siihen vaikuttaviin voimiin nähden tai laatastoa ei saada tarpeeksi hyvin liitettyä pystysuuntaisiin jäykistäviin rakenteisiin. Pintalaatta on hyvä tapa vahvistaa laataston leikkauskestävyyttä näissä tilanteissa. Lasketaan leikkausvoiman suhteen, että raudoitettu pintalaatta välittää koko leikkausvoiman. Seuraavaksi

on esitetty kaavat, joilla voidaan laskea raudoitetun pintalaatan leikkauskestävyys. (Elliot 2017, 420.)

Raudoitussuhteen täytyy täyttää minimi raudoitussuhde. Minimi raudoitussuhde saadaan kaavalla:

$$\rho = \max \left(0,0013 \text{ Tai } 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \cdot A_c$$

Kaava 1. Minimi raudoitussuhde (Elliot 2017, 423).

Raudoitussuhde saadaan kaavalla:

$$\rho = \frac{A_s}{A_c}$$

Kaava 2. Raudoitussuhde.

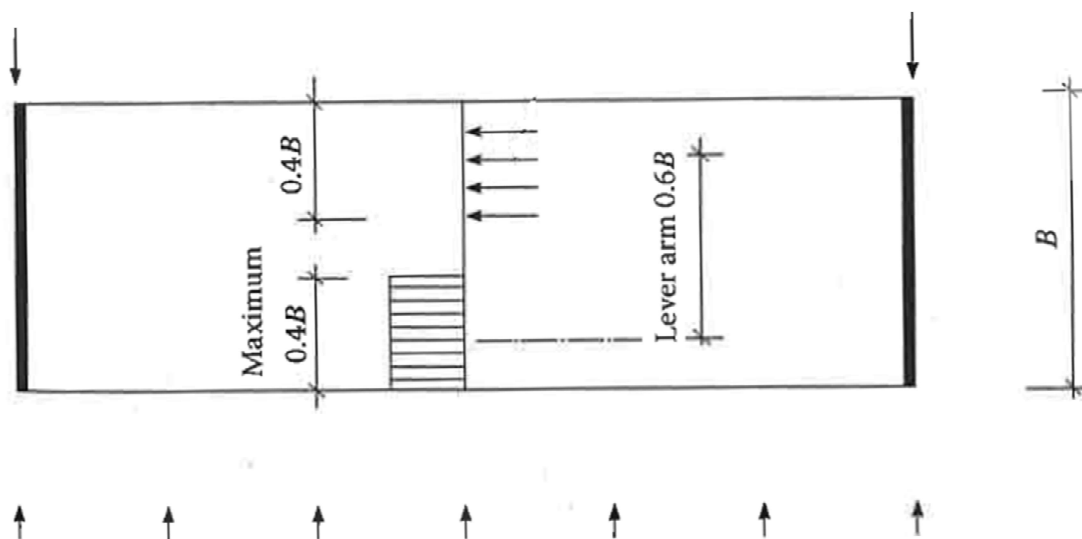
Pintalaatan leikkauskestävyys saadaan kaavalla

$$v_{Rdi} = \max \left(0,12 \cdot k \cdot (\rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \text{ Tai } 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$k = 1 + \sqrt{200/0,6 \cdot B}$$

Kaava 3. Pintalaatan leikkauskestävyys (Elliot 2017, 420).

Kaavassa oletetaan, että sisäinen momenttivarsi $0,6 \cdot B$. (Kuva 5.)



Kuva 5. Laataston momenttivarsi (Elliot 2017, 421).

Leikkausvoiman jakautumiseen pintalaatalle vaikuttaa laatan leveys ja paksuus. Leikkausvoima saadaan kaavalla

$$v_{Edi} = \frac{V_{Ed}}{0,6 \cdot B \cdot t} < v_{Rdi}$$

Kaava 4. Pintalaatalle jakautuva leikkausvoima (Elliot 2017, 422).

Pintalaatan tartunta ontelolaatastoon täytyy tehdä huolella. Ontelolaataston päältä tulee poistaa sahausliete, sementtiliima sekä mahdollinen huonokuntoinen betoni. Menetelmiä poistoon on vesisuihkupuhdistus, sinkopuhallus tai pinnan hionta. Korjauskohteissa huonopintaisen betonipinnan poistoon käy parhaiten jyrshintä. Ontelolaataston pinta kastellaan 2 vuorokautta ennen valua ja paras tartunta saavutetaan, kun pinta on mattakostea ennen valun aloittamista. Liian kuiva pinta on parempi tartunnan kannalta kuin liian märkä. Tärkeintä kuitenkin on, että alustan pinta on puhdas. (Betonilattiat 2012, 28)

Ontelolaatan ja pintabetonin välillä ei tarvitse käyttää tartuntateräksiä. Kokeissa on havaittu, että ontelolaataston ja pintalaatan välinen tartunta on riittävä. Pidemmällä jänneväleillä pintalaatta ei lisää sallittua pystysuuntaista kuormaa ontelolaataan verrattuna. Halkeilu ja taipuma rajaavat pidemmällä jänneväleillä sallitun kuorman, ja tämä kuorma voi ylittyä jo pelkällä ontelolaatan ja

pintabetonin painolla. Pintalaatta lisää aina vaakasuuntaista leikkauskestävyyttä ja tekee laatasta yhtenäisemmän sekä jäykemmän levyn.
(Elementtisuunnittelu)

3 Kahden betonipinnan välinen leikkauskestävyys

3.1 Betonipintojen välinen leikkausliitos

Tarkastellaan kahden betonipinnan välistä leikkauskestävyyttä ja siihen vaikuttavia tekijöitä, kuten tartuntaa, kitkaa ja vaarvoja. Leikkausvoima on harvoin ainoa voima, mikä liitokseen vaikuttaa. Yleisesti leikkausvoimat siirretään kahden betonipinnan yli suoralla tai taivutuksesta johtuvalla puristuksella. Leikkausvoiman siirtymistä tapahtuu vedetyssä saumassa, jos sauma on raudoitettu. Leikkausvoimaliitoksia esiintyy yleensä rakenneosien välillä, joilla on merkittävän suuri pinta-ala toisiaan vasten, mikä välittää leikkausvoimaa. Elementtien ja paikallavalukaistojen tai pintavalun välillä yleisesti esiintyy leikkausvoimien siirtymistä.

Leikkausvoiman siirtyminen on monimutkainen ilmiö, koska se on riippuvainen pienistä pintamuodoista, materiaaliominaisuuksista, liitokseen vaikuttavista rasituksista ja työnlaadusta. Suunnittelijoiden täytyy olla varovaisia useammastakin syystä. Vaikka leikkausvoima saattaa kertyä suurelta alueelta rakenneosaan, pinta-ala sen siirtämiseen eteenpäin jäykistävälle rakenteelle voi olla paljon pienempi. Betonin vesi-sementti-suhde ja pinnan puhtaus ennen valua, jonka välillä leikkausvoima siirretään, on erityisen tärkeää hyvän tartunnan saavuttamiseksi. Leikkaukselle murtumismuoto on hauras eikä se palaudu elastisesti. Näistä kaikista syistä varmuuskertoimet ovat melko suurina marginaaleina kokeellisten testien välillä. Leikkausvoimaa voidaan siirtää tartunalla, leikkauskitkalla, konsoleilla, vaarnoilla ja raudoituksella. (Elliot 2017, 462-463.)

3.1.1 Betonin tartunta

Elementtiä vasten valettu paikallavalu luo tartunnan elementin ja paikallavalun pintojen välille. Kahden betonipinnan välinen leikkauskestävyys muodostuu, kun paikallavalubetoni kulkeutuu elementin huokosiin ja halkeamiin. Tartunnan kestävyys vaikuttaa pääasiassa työnlaatu, elementin pinnan muoto ja puhtaus, mikä edesauttaa tartuntaa. Vaikka liitos on vahva ottamaan vastaan yksinään leikkausvoimaan, voi pienikin mahdollinen vetorasitus aiheuttaa äkillisen murtuman. Tästä syystä harvoin luotetaan liitoksessa pelkästään betonin tartuntaan. Tartunnasta saatava leikkauskestävyys voidaan laskea, kun tiedetään, minkälainen pinta jo valetussa betonissa tai elementissä on. (Elliot 2017, 463)

Tartunnan leikkauskestävyys saadaan kaavalla 5:

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd}$$

Kaava 5. Tartunnan leikkauskestävyys (Elliot 2017, 463).

missä, C:n arvo vaihtelee välillä 0,2-0,4 riippuen betonipinnasta.

Betonin vetolujuuden mitoitusarvo saadaan kaavalla 6:

$$f_{ctd} = \frac{0,7 \cdot f_{ctm}}{1,5}$$

Kaava 6. Betonin vetolujuuden mitoitusarvo (Elliot 2017, 463).

3.1.2 Leikkauskitka

Samoin kuin tartunta myös leikkauskitka perustuu kahden pinnan väliseen yhteyteen ja riippuu koheesiosta c sekä kitkakertoimesta μ . Kun liitos sisältää tiettyä karheutta, leikkausvoima välittyy kitkan ansiosta, vaikka liitoksessa olisi halkeamia, jos halkeamat ovat alle kriittisen leveyden. Leikkauskitka esitetään

kuvassa 6. Halkeaman kriittinen leveys on tyypillisesti 0,5 mm-2,0 mm riippuen miten pinta on valmisteltu. (Elliot 2017, 463-464.)

Kitkan leikkauskestävyys saadaan kaavalla:

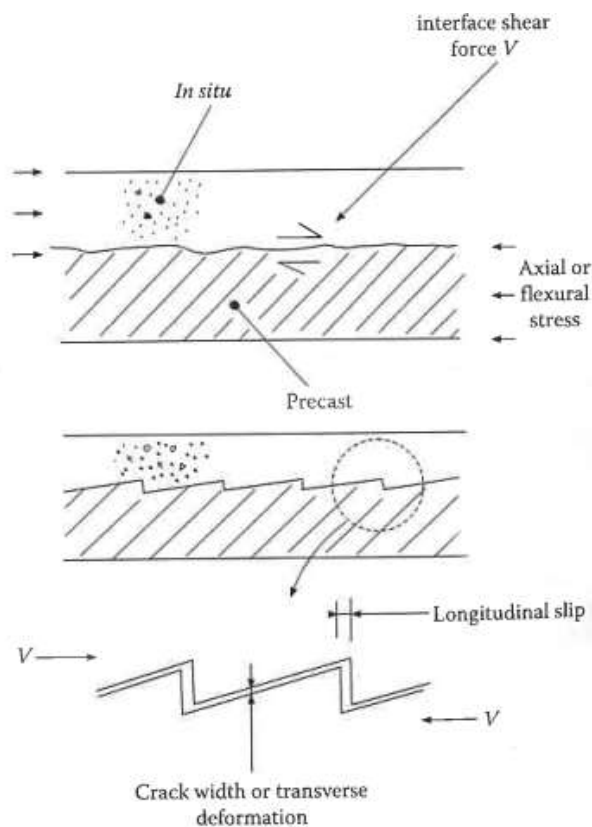
$$v_{Rdi} = \mu \cdot \sigma_n$$

Kaava 7. Kitkan leikkauskestävyys (Elliot 2008, 464).

Liitoksen normaali-jännitys saadaan kaavalla 8 (ks. kuva 6):

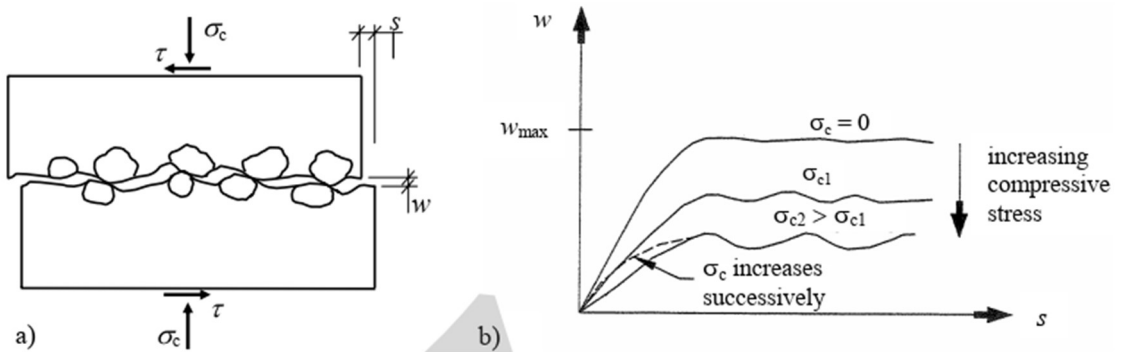
$$\sigma_n = \frac{N_{Ed}}{A_j}$$

Kaava 8. Normaali-jännitys liitoksessa (Elliot 2017, 464).



Kuva 6. Leikkauskitka (Elliot 2017, 464).

Leikkausvoiman vaikutuksesta voi tapahtua siirtymiä betonipintojen välillä. Siirtymän suuruudella s on suora yhteys halkeama leveyteen w . Siirtymän kasvaessa kasvaa myös halkeama leveys, kunnes se saavuttaa maksimi arvonsa. Liitoksessa vaikuttava puristusjännitys vaikuttaa pienentävästi halkeaman leveyteen. Kuvassa 7 havainnollistetaan tekijöiden yhteyttä. (Fib 2008, 224-225.)



Kuva 7. a) Halkeamaleveys ja siirtymä b) Halkeamaleveyden ja siirtymän yhteys sekä puristusjännityksen vaikutus (Fib 2008, 225).

Halkeamaleveys sileillä pinnoilla saadaan kaavalla:

$$w = 0,05 \cdot s$$

Kaava 9. Halkeamaleveys sileilläpinnoilla (Fib 2008, 225).

Halkeamaleveys karkeilla pinnoilla saadaan kaavalla:

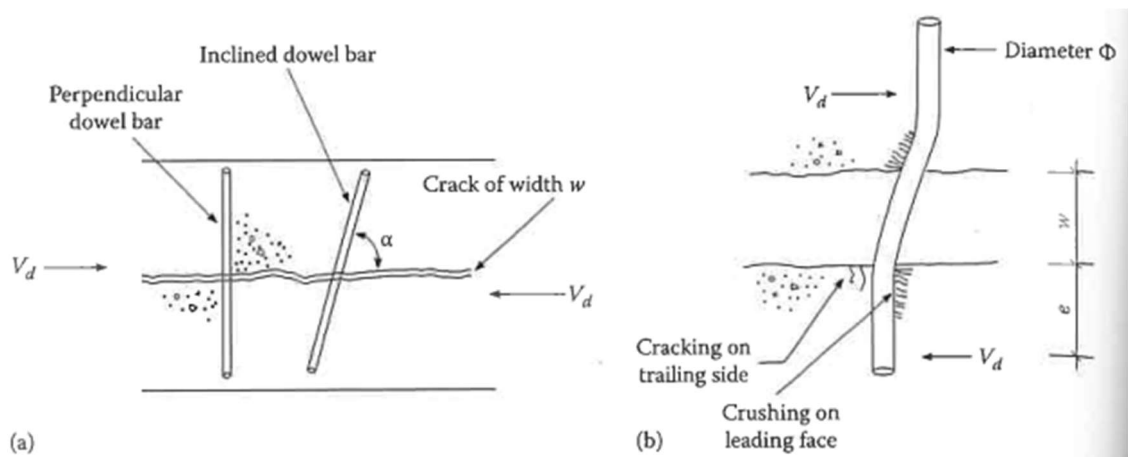
$$w = 0,6 \cdot s^{\frac{2}{3}}$$

Kaava 10. Halkeamaleveys karkeillapinnoilla (Fib 2008, 225).

Nämä kaavat ovat voimassa kun, $w \leq w_{max}$. Kaava 9 toimii, kun $s \leq 2,0$ mm ja kaava 10, kun $s \leq 2,5$ mm. Kun siirtymä kasvaa tästä suuremmaksi oletetaan halkeamaleveyden pysyvän siitä huolimatta samana. (Fib 2008, 224-225.)

3.1.3 Vaarnat

Liitoksen leikkausvoimia voidaan siirtää terästangoilla, jotka menevät liitoksen läpi ja on ankkuroitu molempiin osiin. Näitä terästankoja kutsutaan vaarnoiksi. Jos liitokseen kohdistuu vetovoimaa vaarnat toimivat yksinään ja ottavat koko leikkausvoiman vastaan, koska vetovoiman läsnäollessa ei voida huomioida kitkan ja tartunnan leikkauskestävyyskapasiteettia. Murtuminen voi esiintyä vaarnan edessä betonin paikallisella murskaantumisella, mikä johtaa vaarnan taivutusvarren suurenemiseen. Tämä voi lopulta johtaa vaarnan plastiseen taivutusmurtumaan. Kuvassa 8 esitetään tätä tilannetta. Hauras leikkausmurtuminen on erittäin epätodennäköistä, ellei pintojen välistä halkeamaleveyttä ole pidetty pienenä ulkopuolisella puristusvoimalla. (Elliot 2017, 463-46.)



Kuva 8. Leikkausvoima vaarnassa a) määritelmät b) periaatteita (Elliot 2017, 470).

Niveltyemisellä tarkoitetaan, kun teräs kehittää tietyllä etäisyydellä toisissaan olevat plastiset nivelet, jolloin nivelten väli pääsee siirtymään vinoon kulmaan α . Teräksen vetovoima on suurimmillan plastinen voima $A_s \cdot f_{yd}$. Tämän voiman

vaakakomponentti muodostaa niveltymistapauksen leikkauskestävyyden. Täytyy kuitenkin huomioida, että niveltymisen kestävyys kehitystapa edellyttää suurta liittymäpintojen leikkaussiirtymää tai liukumaa. Liukuma eliminoi muun rakenteen toimivuutta, joten täyttä plastista kestävyttä ei voi käyttää. (Leskelä 2008, 282-283.)

Teräsvaarnan kestävyys saadaan kaavalla:

$$V_{si,Rk} = 1,35 \cdot (\sqrt{1 + 9\varepsilon^2} - 3\varepsilon) \cdot \varnothing^2 \cdot \sqrt{f_{yk} \cdot f_{ck.cube}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_s}{f_{yk}}\right)^2}$$

Kaava 11. Rasmussenin ja Pruijsiersin kaava teräsvaarnan kestävyydelle (Leskelä 2008, 283).

Termi ε saadaan kaavalla:

$$\varepsilon = \frac{e_V}{\varnothing} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck.cube}}{f_{yk}}}, \text{ missä } e_V = \frac{w}{2}$$

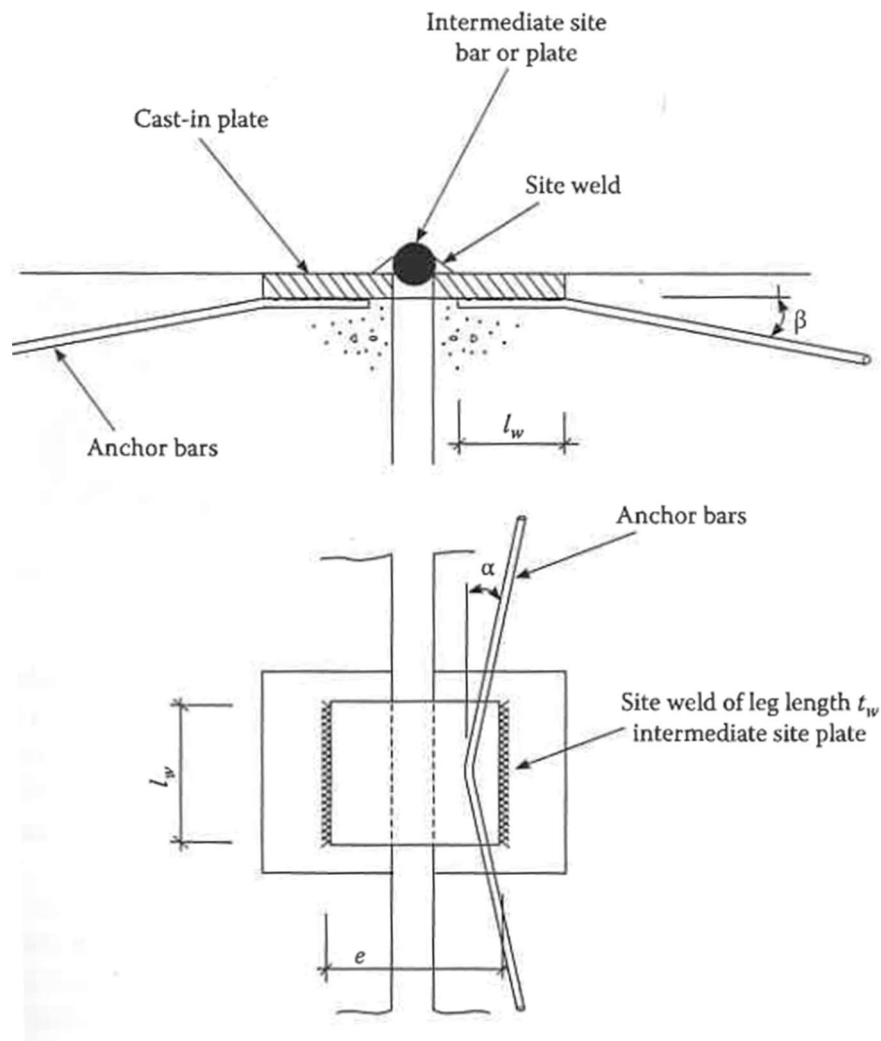
Kaava 12. Termin ε kaava (Leskelä 2008, 283).

Kaavan 11 viimeinen neliöjuuri huomio sen, että vaarnatangon vetojännitys σ_s pienentää vaarnan kestävyttä, koska suurin taivutusmomentti plastisissa nivelissä pienenee σ_s :n vaikutuksesta.

3.1.4 Mekaaniset liitokset

Leikkausvoimaa voidaan siirtää mekaanisilla leikkausliitoksilla. Suunnittelussa kiinnitetään huomiota liitokseen, jotta saavutetaan korkea leikkausjäykkyys. Yleisiä liitoksia ovat liitokseen hitsattu levy tai tanko, joka ottaa vastaan leikkausvoimaa. Liitoksessa molempien liitettävien kappaleiden betoniin on upotettu ankkurit, joissa on kiinni metallinen levy. Levyt hitsataan kiinni toisiinsa käyttämällä välissä tankoa tai toista levyä. Upotettujen levyjen lämpölaajeneminen otetaan huomioon, jotta voidaan estää ympäröivän betonin halkeilu. Tyypillinen betoniin upotettu levy on kooltaan 150 x 75 x 10 mm ja väliin

hitsattuna levynä käytetään kooltaan 100 x 100 x 6 mm levyä. Liitoksen murtorajatilan leikkauskestävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat upotettujen levyjen vetokestävyys betonista ja hitsauksen leikkauskestävyys kahden levyn välillä. Edellä kuvattu liitos on yleisesti ottaen kestävä mutta vaativampi toteuttaa. Kuvassa 9 esitetään mekaaninen liitos. (Elliot 2017, 473-475.)



Kuva 9. Mekaaninen liitos (Elliot 2017, 473).

3.1.5 Tekijöiden yhteisvaikutus

Tartunnan, kitkan ja vaarujen yhteinen leikkauskestävyys voidaan laskea kahden betonipinnan välisessä liittymässä kaavalla 13. Tähän kaavaan vaikuttaa, kohdistuuko liitokseen vetoa vai puristusta. Kuva 10 havainnollistaa vaarnattua kahden betonipinnan välistä liitosta.

Kahden betonipinnan välinen leikkauskestävyys saadaan kaavalla:

$$V_{Rdi} = C \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \frac{A_s}{A_i} \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

Kaava 13. Kahden betonipinnan välinen leikkauskestävyys (SFS-EN 1992-1-1, 91).

σ_n on rajapintaan kohdistuva, sen leikkausvoiman kanssa samanaikaisesta ulkoisesta normaalivoimasta aiheutuva pienin mahdollinen normaalijännitys, puristus positiivisena $\sigma_n < 0,6 \cdot f_{cd}$ sekä veto negatiivisena. Kun σ_n on vetoa, tulolle $c \cdot f_{ctd}$ käytetään arvoa nolla.

Vetolujuuden mitoitusarvo saadaan kaavalla 14.

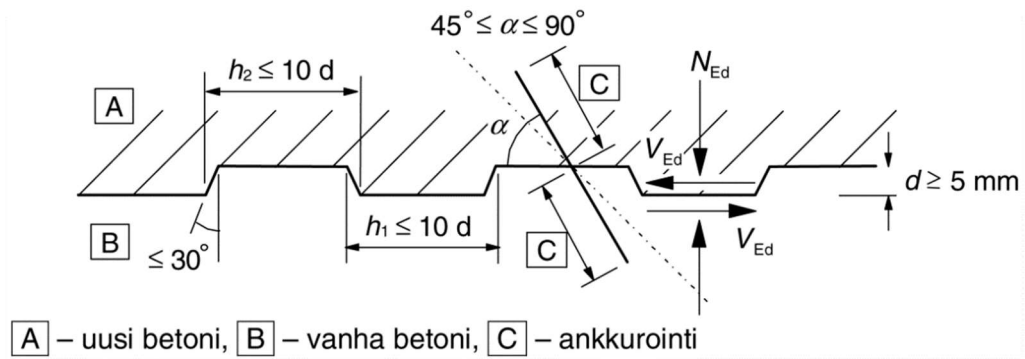
$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}$$

Kaava 14. Vetolujuuden mitoitusarvo (SFS-EN 1992-1-1, 35).

Leikkauksesta halkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin saadaan kaavalla 15.

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

Kaava 15. Leikkauksesta halkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin (SFS-EN 1992-1-1, 86).



Kuva 10. Kahden betonipinnan välinen liitos vaarnattuna (SFS-EN 1992-1-1, 92).

Liittymäpinnat luokitellaan hyvin sileiksi, karheiksi tai vaarnatuiksi ja näiden avulla voidaan valita kertoimet C ja μ .

- hyvin sileä: teräsmuottia, muovimuottia tai erityisesti käsiteltyä puumuottia vasten valettu pinta, $C = 0,025 \dots 0,1$ ja $\mu = 0,5$
- sileä: liukuvalettu tai ekstrudivalettu pinta tai valun tiivistämisen jälkeen hoitamaton pinta, $C = 0,20$ ja $\mu = 0,6$
- karhea: vähintään 3 mm syvä uritus noin 40 mm välein, joka on tuotettu harjaamalla tai puhdistamalla kiviaines näkyviin tai muuten vastaavasti käsiteltynä, $c = 0,40$ ja $\mu = 0,7$
- vaarnattu: pinta, jossa kuvan 3 mukainen hammastus, $c = 0,5$ ja $\mu = 0,9$ (SFS-EN 1992-1-1, 91-92.)

3.2 Ontelolaatan sauman pituussuuntainen leikkauskestävyys

Ontelolaattojen sauman suurin leikkausjännitys on riippuvainen sauman puristusjännityksestä. Suurempi puristusjännitys aiheuttaa suuremman leikkauskestävyyden.

Ontelolaatan sauman suurin leikkauskestävyys saadaan kaavalla 16.

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

Kaava 16. Ontelolaatan sauman suurin leikkauskestävyys (Leskelä 2008, 561).

Haljenneen sauman leikkauskestävyys saadaan kaavalla 17.

$$\tau_{Rdi} = 0,95 \cdot \sigma_c \cdot (\ln f_{ck,mc})^{0,25}$$

Kaava 17. Suurin leikkauskestävyys haljenneessa saumassa (Leskelä 2008, 561).

$$V_{Rdi} = \tau_{Rdi} \cdot h_j \cdot L_v$$

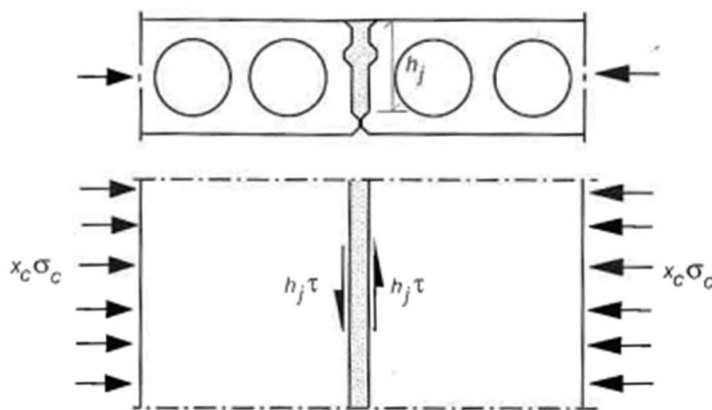
Kaava 18. Ontelolaatan sauman leikkauskestävyys.

Sauman mitoitusleikkauslujuudelle esitetään standardissa EN 1992-1-1 +A1+AC saumabetonin laadusta riippumaton arvo $T_{Rdi} = 0,15$ MPa. Vertaamalla sitä suurimpaan leikkauskestävyyteen haljenneessa saumassa saadaan puristusjännitykseksi $\sigma_c = 0,12$ MPa, mikä ei aiheuta saumabetonin C25/30 puristumurtumista Taulukossa 1 esitetään leikkauskestävyyden ja puristusjännityksen yhteys. (Leskelä 2008, 561.)

Taulukko 1. T_{max} ja T_R kun saumabetoni on C25/30 (Leskelä 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

Kuvassa 11 esitetään ontelolaattaan kohdistuva puristusjännitys ja ontelolaatan leikkaus. Suurempi puristusjännitys aiheuttaa suuremman leikkauskestävyyden.



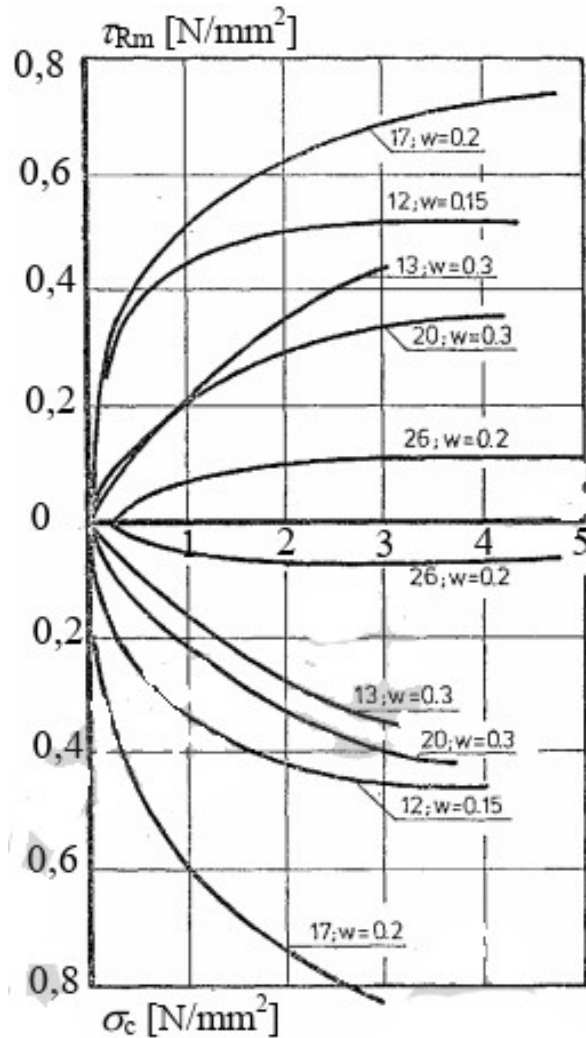
Kuva 11. Leikkausvoima ontelolaatan saumassa (Leskelä 2008, 561).

Täytyy kuitenkin huomioida mitoituksessa, jotta voidaan käyttää mitoitusleikkauslujuutta $T_{Rdi} = 0,15$ MPa, täytyy saumassa olla puristusjännitys. Rengasraudoitus pitää laattakentän kasassa ja estää halkeamien avautumisen. Rengasraudoitetussa ontelolaattakentässä voidaan käyttää koko laatojen saumojen pituudella keskimääräistä mitoitusleikkauslujuutta $T_{Rdi} = 0,15$ MPa.

Leikkausvoiman välittymiseen ontelolaatastolla laatalta toiselle on muutamia erityispiirteitä, jotka vaikuttavat leikkausvoiman välittymiseen. Seuraavaksi kerrotaan näitä erityispiirteitä, joita Cholewicki ja Elliott ovat tutkimuksissaan huomanneet. Erityisen pitkillä laatoilla, joiden jänneväli on yli 12 metriä, rengasteräksien etäisyys toisistaan on huomattava, mikä vaikuttaa jännityksiin laattojen saumoissa. Laattojen valmistustavasta johtuen niiden reunat ovat

suhteellisen sileitä. Joka tapauksessa laattojen reunalle tehdyt urat parantavat leikkauskestävyyttä. Pienet erot laattojen leveydessä ($\pm 5\text{mm}$) parantavat leikkauskestävyyttä, jos verrataan ideaali laatastoon, jossa kaikki laatat ovat täysin samanlaisia. Lämpötilan muutoksista ja kutistumisesta johtuvia saumojen halkeilua ei voida estää. Kuitenkin niiden leveyttä voidaan hallita raudoituksella. (Fib 2008, 257)

Niin kuin aiemmin todettiin voidaan olettaa, että saumoihin tulee halkeilua ainakin osittain jossain vaiheessa. Tämän takia leikkauskestävyys lasketaan perustuen haljenneen sauman kitkaan. Sauman halkeamien koon vaikutusta leikkauskestävyyteen on tutkittu. Delftin teknillisen yliopiston tutkimuksessa tutkittiin sauman halkeamaleveyksiä 0,15, 0,2 ja 0,3 mm ja niiden vaikutusta leikkausvoiman välittymiseen. Tutkimuksessa selvisi, että myös tasaisella betonipinnalla on riittävä karkeus välittämään leikkausvoimaa. Tämä kuitenkin johtaa siirtymään, mikä kitkateorian mukaan johtaa halkeamaleveyden kasvuun. Halkeamaleveyden pitäminen vakiona vaatii normaalivoimaa. Tutkimuksessa ilmeni kuitenkin, että halkeamaleveydellä ja sauman leikkauskäyttäytymisellä ei olisi selvää yhteyttä, mutta tuloksissa oli suuri hajonta. Tulokset esitetään kuvassa 12. (Fib 2008, 253-254.)



Kuva 12. Leikkausjännityksen, normaalijännityksen ja halkeamaleveyden yhteyden kuvaaja. (Fib 2008, 254).

Saumassa saadaan merkittävää kiilautumista, jos sauma on pitkä ja elementin leveys vaihtelee hieman, kuitenkin toleranssien sisällä. Testeissä on huomattu, että leikkausvoima siirtyy paikallisesti joistain kohdista saumaa, mikä selitettiin epäsäännöllisellä elementin geometrialla. (Fib 2008, 254.)

4 Ontelolaataston ja jäykistävän rakenteen liitos

4.1 Esimerkkikohde

Esimerkkikohteeksi valittiin rakennus, joka on noin 60 metriä pitkä ja 22 metriä leveä. Tarkastellaan rakennuksen yhden kerroksen tilannetta vaakasuuntaisen leikkausvoiman suhteen. Rakennuksessa on kaksi jäykistävää hissikuilua, joihin ontelolaatasto on kiinnitetty. Hissikuilujen pituus on noin kuusi metriä ja tällä alueella koko leikkausvoima pitää siirtää eteenpäin. Haasteeksi muodostuu juurikin suuri leikkausvoima ja pieni alue, josta se siirtyy eteenpäin. Tarkastellaan eri liitosten kykyä välittää leikkausvoimaa ontelolaatastolta jäykistävälle hissikuilulle. Rakennuksesta on tasokuva liitteessä 1. Tasokuvasta löytyy liitoksiin kohdistuvat leikkausvoimat, jotka lasketaan liitteessä 2.

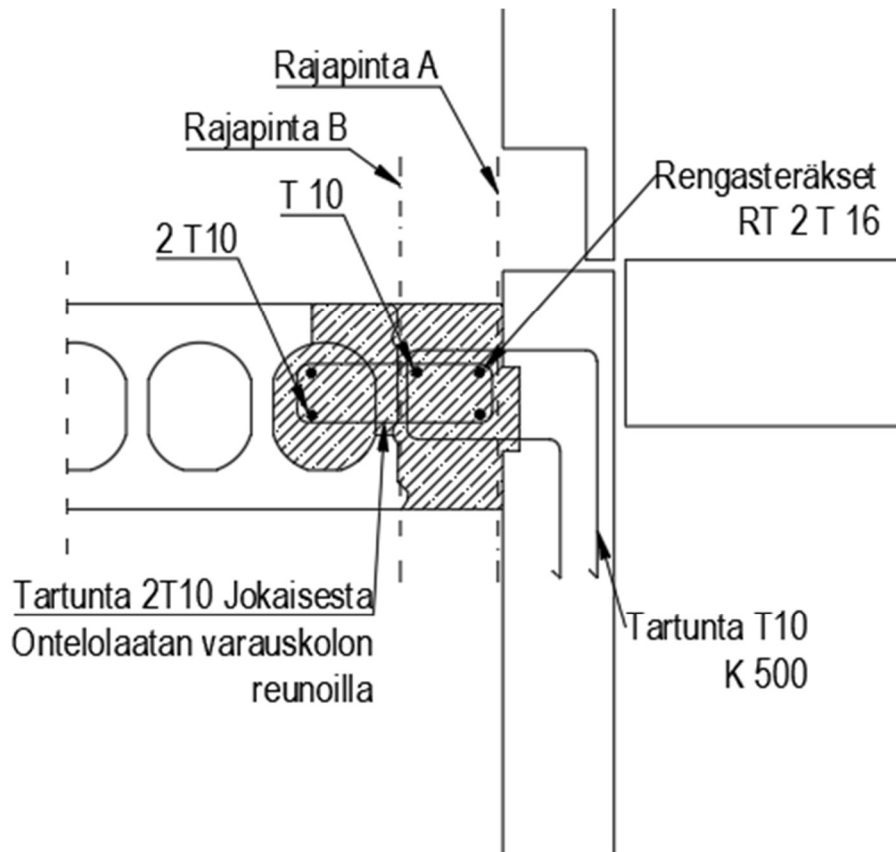
4.2 Kuormat ja rasitukset

Tarkastellaan tilannetta, kun rakennukseen vaikuttaa tuulikuorma pitkältä sivulta. Tuulikuorman ominaisarvona käytetään 1 kN/m^2 . Välipohjaan kuormaa keräävänä alueena käytetään kerroksen korkeutta, joka on 4 metriä. Liitteessä 2 esitetään laskelmat, joissa on laskettu hissikuilun kohdalla vaikuttava leikkausvoima. Tämän leikkausvoiman mukaan voidaan liitokset mitoittaa.

4.3 Tarkasteltavat liitokset

Työssä tarkasteltavat liitokset tehdään ontelolaataston ja hissikuilun välille sekä kahden ontelolaatan välille. Leikkausvoima siirretään laatastolta hissikuilulle. Ontelolaataston ja hissikuilun välinen liitos voidaan tehdä ontelolaatan kyljestä tai päästä, riippuen siitä miten päin laatasto on suunniteltu jäykistävään rakenteen suhteen. Liitoksiin tulee paikallavalukaista, johon sijoitetaan sopivat raudoitukset ja liitokset toimivat betonin tartunnan sekä raudoituksen leikkauskestävyyden avulla. Liitoksissa lasketaan niiden kykyä välittää leikkausvoimaa eteenpäin.

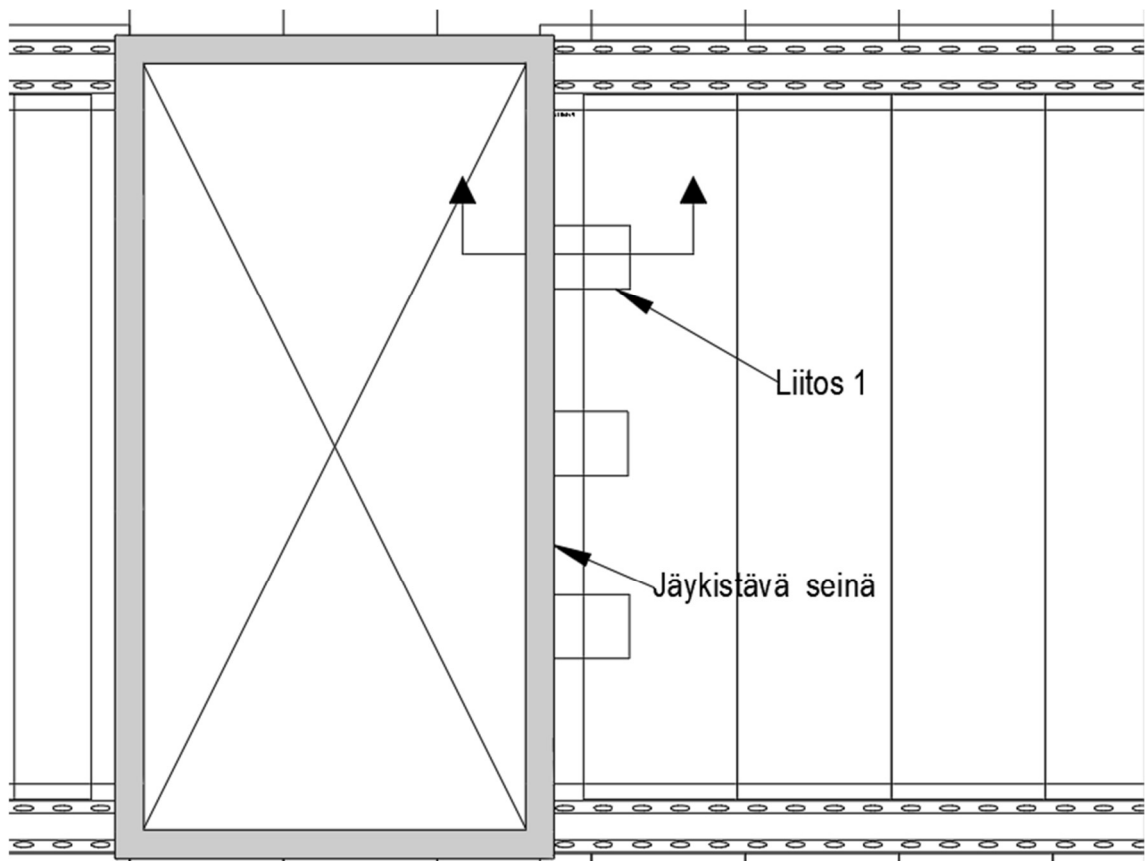
Lakelmat esitetään liitteissä. Eri liitoksista on detailjikuvat ja selitetty liitoksen toimintaa.



Kuva 13. Hissikuilun ja ontelolaatan pitkän sivun välinen liitos 1.

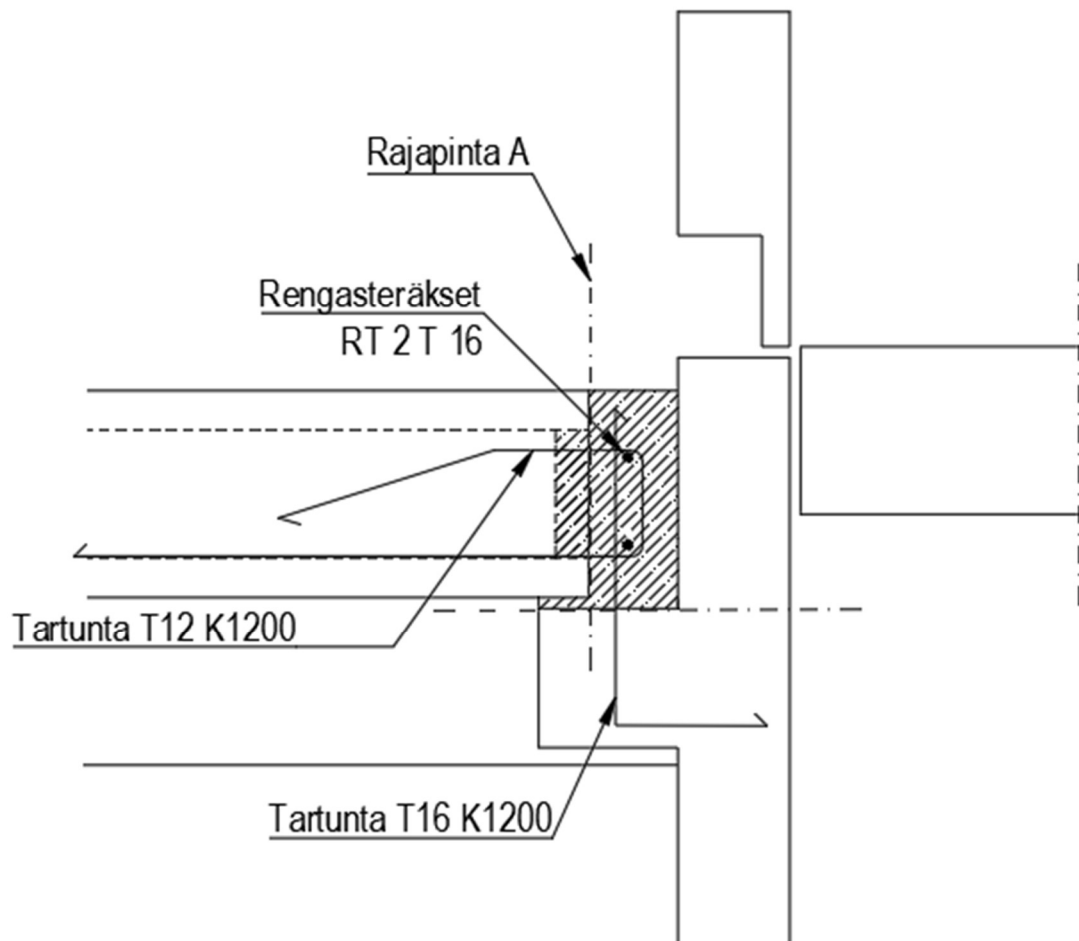
Ensimmäisessä liitoksessa kuvassa 13 käytetään paikallavalukaistaa ontelolaatan ja jäykistävän seinän välillä. Ontelolaattaan tehdään koloja, jotka toimivat leikkausliitoksena. Tartunnat seinän ja paikallavalun välillä ankkuroidaan seinän sisälle. Tartunnat voidaan sijoittaa sopivalle jaolle, koska paikallavalukaista kulkee koko ontelolaatan pituuden matkan. Ontelolaatan koloihin tulevat tartunnat tulevat kolon molempiin reunoihin suojabetoni huomioiden. Yhdelle liitokselle lasketaan leikkauskestävyys, jonka jälkeen näitä liitoksia sijoitellaan rasitusten mukaisesti riittävästi. Liitoksen ja rakenteen kestävyys kannalta täytyy tarkastella rajapinnat A ja B. Rajapinnan A kohdalla

leikkauskestävyyteen vaikuttaa seinän pinnan karheus, tartunnan koko ja jako sekä paikallavalun korkeus. Rajapinnan B kestävyyteen vaikuttavat pinnan läpi kulkevan terästyksen määrä ja ontelolaatan sivun korkeus sekä karheus. Tässä liitoksessa molempien rajapintojen rauditusmäärä on sama. Pieni eroavaisuus tulee pintojen karheudessa, jos jäykistävä rakenne on valettu muotilla ja ontelolaatta liukuvalulla, mikä vaikuttaa μ :n arvoon. Voidaan olettaa, että voimat jakaantuvat molemmille rajapinnoille samalla tavalla.



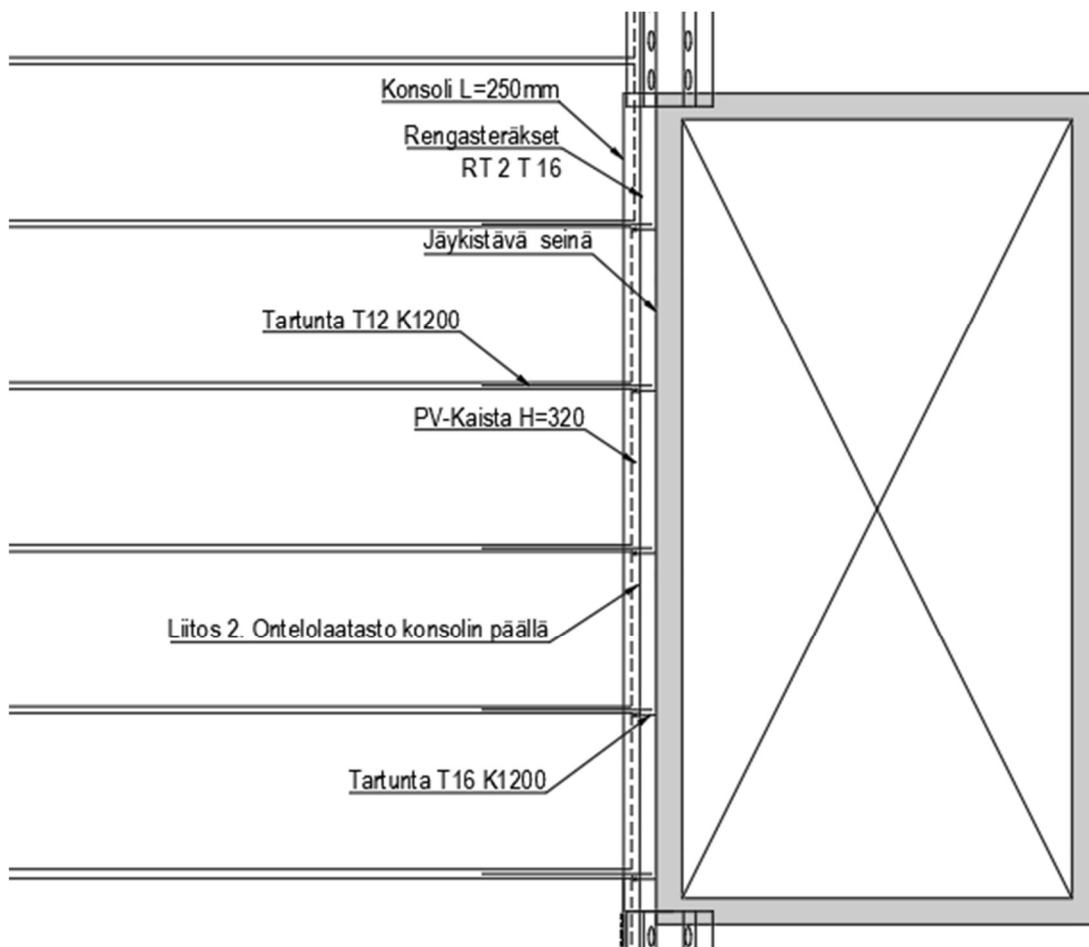
Kuva 14. Liitos 1, asettelu ylhäältä katsottuna.

Leikkausvoima välitetään laatastaoltta kuvassa 14 näkyvälle jäykistävälle seinälle. Ontelolaatan kylkeen kolotaan paikka rauditukselle ja betonille. Liitoksia sijoitellaan jäykistävän rakenteen kylkeen rasitusten mukaisesti riittävästi.



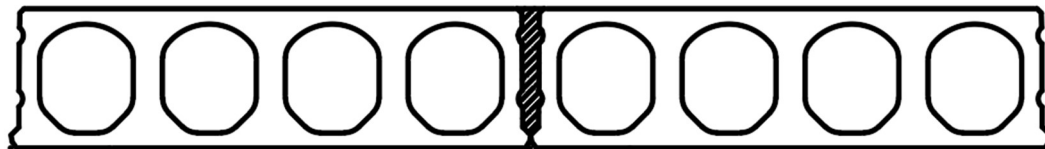
Kuva 15. Ontelolaatan päädyn ja hissikulun välinen liitos 2.

Tässä Liitoksessa 2 laatasto tukeutuu konsolin päälle ja laataston suunta on eri kuin edeltävässä liitoksessa. Konsoliin menevä tartunta on tärkeä viedä mahdollisimman alas kestävyys kannalta. Rajapinnan A leikkauskestävyys on riippuvainen sen läpi kulkevasta raudoituksesta ja ontelolaatan korkeudesta. Raudoitusten jako menee ontelolaataston leveyden mukaisesti.



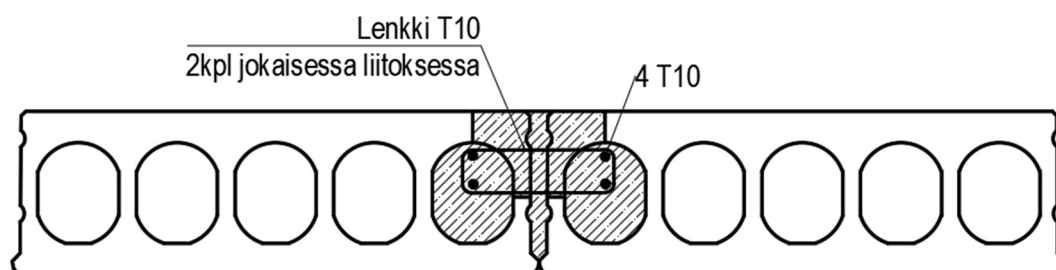
Kuva 16. Liitos 2 ylhäältä kuvattuna.

Ontelolaattojen välille valetaan sauma, joka ottaa vastaan leikkausvoimaa. Kahden ontelolaatan välinen sauma on nähtävissä kuvassa 17.



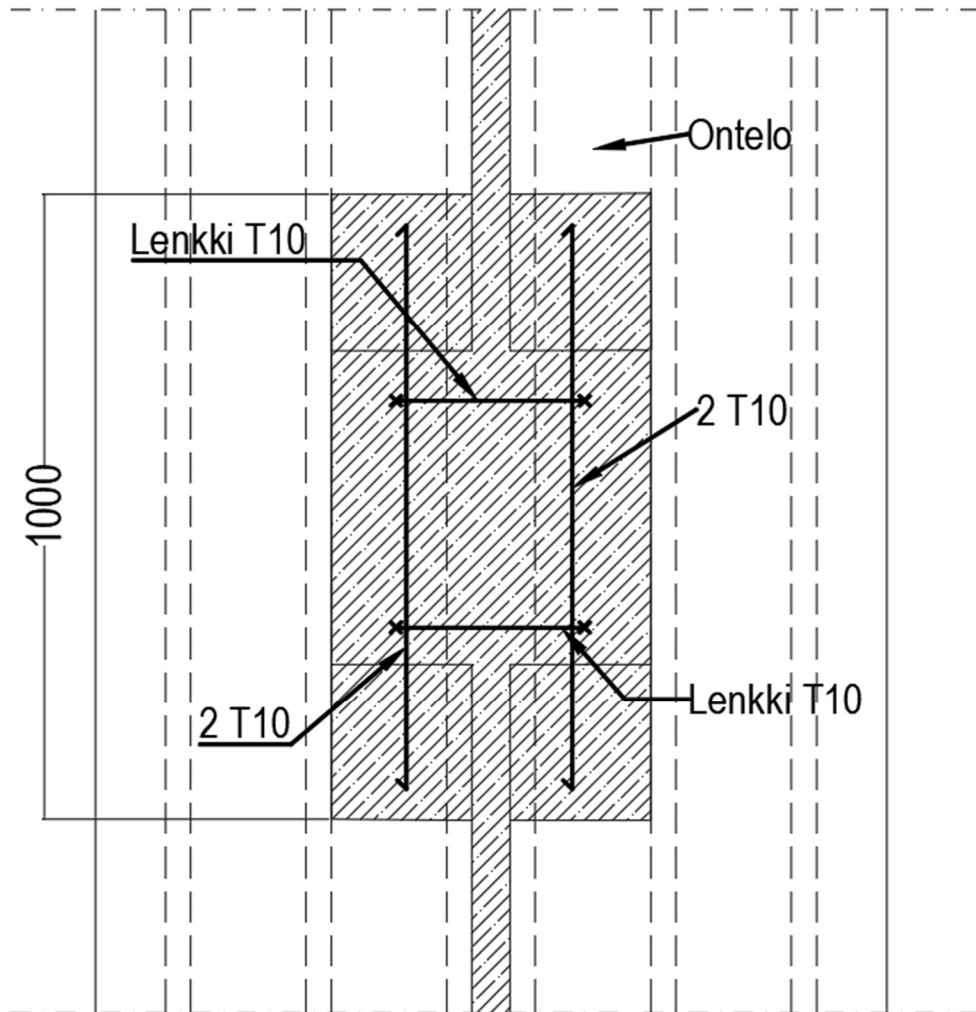
Kuva 17. Kahden ontelolaatan välinen sauma.

Sauman leikkauskestävyyteen vaikuttaa sauman korkeus ja sauman mitoitusleikkauslujuus, mikä on eurokoodin mukaisesti 0,15 MPa. Liittessä 4 saadaan laskettua, että O32 ontelolaattojen sauman välinen kestävyys on 43,5 kN/m.



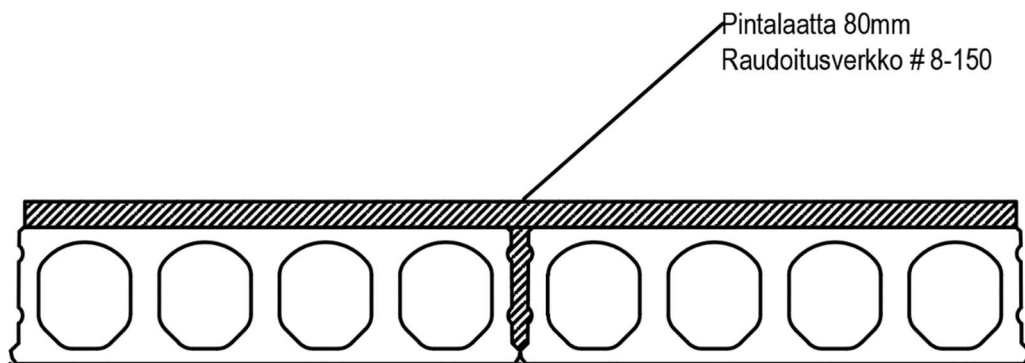
Kuva 18. Liitos 3 kahden ontelolaatan välillä.

Liitoksen 3 kestävyteen vaikuttaa terästen määrä ja ankkurointi. Raudoituksena käytetään kahta lenkkiä, jotka ankkuroidaan tangoilla ontelon puoliväliin.



Kuva 19. Ontelolaattojen välinen liitos ylhäältäpäin.

Tämän liitoksen kestävyys on parhaimmillaan 136kN / liitos. Tällöin täytyy kuitenkin varmistaa terästen ankkuroituminen.



Kuva 20. Pintalaatta.

Pintalaatan vaikutus kahden ontelolaatan väliseen leikkauskestävyyteen. Liitteessä 5 lasketaan tämän pintalaatan leikkauskestävyys metrin matkalle. Pintalaatan leikkauskestävyydeksi saatiin 25,5 kN / m. Se on pienempi kuin pelkän O32 ontelolaattojen välisen sauman leikkauskestävyys.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Opinnäytetyössä käsiteltiin leikkauskestävyyttä liitoksessa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Työn tarkoituksena oli tehdä liitoksia, joita voidaan hyödyntää jatkossa. Liitosten laskuihin käytettiin mathdcadia.

Betonipintojen väliseen leikkausliitokseen vaikuttaa useita tekijöitä, joten yksiselitteisen vastauksen antaminen on haastavaa. Työssä käsitellään läpi kaikkia näitä tekijöitä, vaikka suunnittelija ei kaikkiin näihin edes pysty vaikuttamaan. On kuitenkin hyvä tiedostaa, mistä asiat johtuvat. Ontelolaatan sauman keskimääräiseen leikkauskestävyyteen eurokoodi antaa arvon 0,15MPa.

Tämä tarkoittaa, että jos pystytään rengasraudoituksella pitämään halkeamaleveys vakiona, niin sauma pystyy edelleen välittämään leikkausvoimaa. Tällöin voitaisiin käyttää koko laataston pituutta leikkauskestävyyden laskennassa. Sauman keskimääräinen leikkauskestävyys koko tälle pituudelle on 0,15 MPa.

Liitosten laskennassa huomataan, että ontelolaatan sauman leikkauskestävyys on melko suuri paksummilla laatoilla. Tämä on suunnittelun kannalta hyvä asia ja helpottaa leikkausvoimien välittämisessä. Laataston kuitenkin ohentuessa tai rasiusten ollessa suuria voidaan käyttää laattojen välissä liitoksia tai pintalaattaa. Pintalaatta on edullinen vaihtoehto, jos sitä tarvitaan joka tapauksessa.

Liitoksissa on vielä reunaehtoja, joita voisi tutkia tarkemmin. Esimerkiksi itse ontelolaatan leikkauskestävyys ja liitosten ankkuroituminen isoissa kuormituksissa.

Lähteet

Betonilattiat 2012. Kortisto. Helsinki: Suomen Rakennusmedia. Saatavilla [Betonilattiat kortisto by Kivirakentaminen - Issuu](#)

BY 2012. Betoninormikortisto. Betoninormikortti 23 EC. Liitosten suunnittelu ja mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN 1991-1-7 yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys. Saatavilla http://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti_23ec.pdf

Elementtisuunnittelu. Verkkoaineisto. Viitattu 4.4.2022. Saatavilla [Liittorakenteet | Runkorakenteet | Elementtisuunnittelu](#)

Elliott, K. S. 2017. Precast Concrete Structures. 2. Painos. Lontoo: Taylor & Francis.

Fib 2008. Structural connections for precast concrete buildings. Fib Bulletin No. 43. Lausanne, Sveitsi.

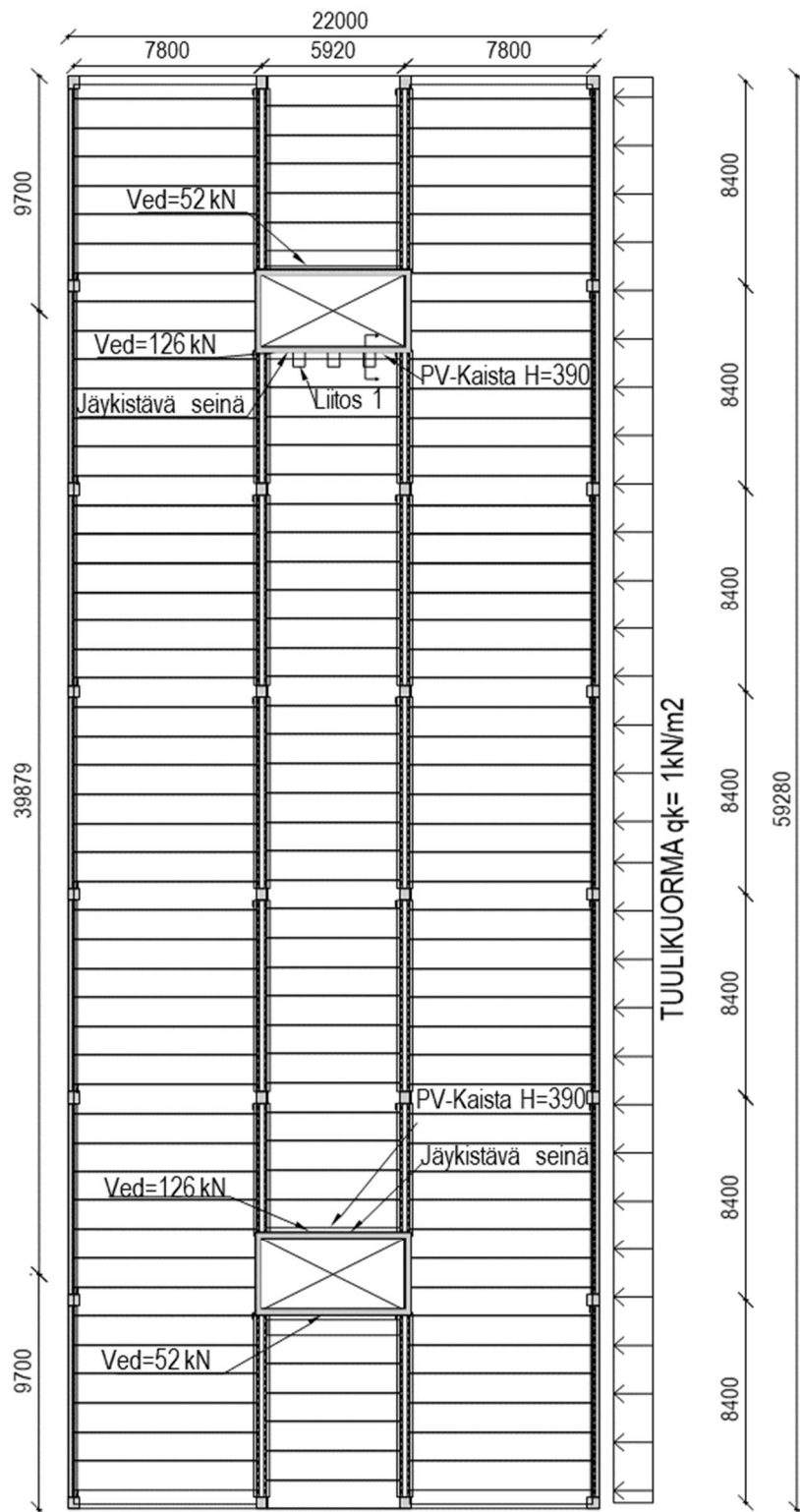
Leskelä, M. 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. by 210. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Parma 2018. Suunnitteluohje. Parman ontelolaatatot. Viitattu 20.5.2022. https://parma.fi/userassets/uploads/2018/12/parma_ontelolaatatot_suunnittelu_ohje_2018-1.pdf

Rakentajain kalenteri 2012. Helsinki: Rakennustieto.

RIL 201-4-2017. Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteessa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

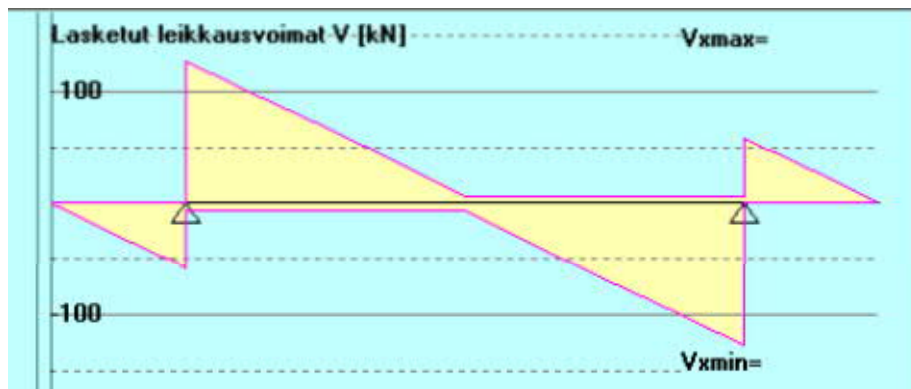


Rakennuksen pohjakuva, jossa näkyy jäykistävien rakenteiden sijoittelu ja laataston kantosuunta sekä päämitat.

Liite 2.

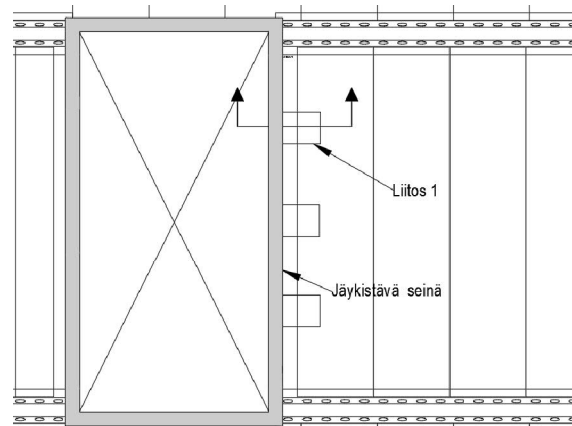
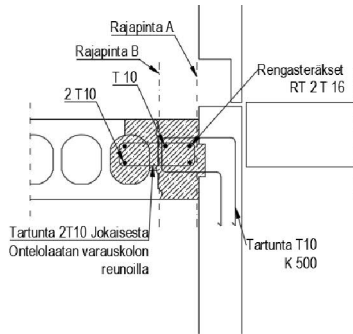
Leikkausvoiman laskeminen jäykistävän rakenteen kohdalla

Tuulen ominaiskuorma	$q_k := 1 \frac{kN}{m^2}$
Rakennuksen sivun pituus	$L := 60 \text{ m}$
Tukien välinen pituus keskeltä keskelle	$l := 40 \text{ m}$
Ulokkeiden pituus	$a := 9.7 \text{ m}$
Kerroskorkeus	$h := 4 \text{ m}$
Varmuuskerroin	$\gamma := 1.5$
Tuulen aiheuttama viivakuorma metrille	$q_d := q_k \cdot \gamma \cdot h = 6 \frac{kN}{m}$
Tukireaktio	$V_{ed} := \frac{q_d}{2} \cdot (l + 2 \cdot a) = 178.2 \text{ kN}$



Leikkausvoima kuvaaja.

Liite 3.



1. Liitos Leikkauskestävyys jäykistävän seinän ja liitoksen rajapinta A tarkastelu.

Betonin keskimääräinen vetolujuus

Käytetty betoni C30/37
 $f_{ctm} := 3.2 \text{ MPa}$

Betonin vetolujuuden mitoitusarvo

$$f_{ctd} := \frac{0.7 \cdot f_{ctm}}{1.5} = 1.493 \text{ MPa}$$

Rajapinnan karheuden kerroin

$$C := 0$$

Rajapinnan karheuden kerroin

$$\mu := 0.5$$

Normaalijännitys liitoksessa

$$\sigma_n := 0. \text{ MPa}$$

Raudoituksen säde

$$r := 5 \text{ mm}$$

Rajapinnan läpi kulkevan raudoituksen poikkileikkaus. Jokaiseen koloon laitetaan kaksi lenkkiä, joten siitä menee neljä kertaa tanko läpi.

$$A_s := 4 \cdot (\pi \cdot r^2) = 314.159 \text{ mm}^2$$

Rajapinnan korkeus

$$h := 320 \text{ mm}$$

Rajapinnan leveys

$$s := 1000 \text{ mm}$$

Rajapinnan pinta-ala

$$A_i := s \cdot h = 0.32 \text{ m}^2$$

Teräksen lujuus

$$f_{yd} := 435 \text{ MPa}$$

Vaarnan kulma

$$\alpha := 90^\circ$$

Leikkauskestävyys

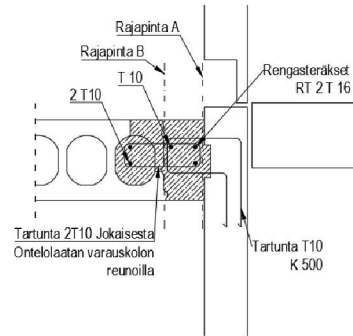
$$V_{Rdi} := C \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \frac{A_s}{A_i} \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) = 0.214 \text{ MPa}$$

Leikkauskestävyys metrin matkalla

$$V_{Rd} := A_i \cdot V_{Rdi} = 68.33 \text{ kN}$$

Liite 3.

1. Liitos Leikkauskestävyys
Tartunta T10. Liitoksen
keskialueen rajapinta B.



Käytetty betoni C30/37

Betonin keskimääräinen vetolujuus

$$f_{ctm} := 3.2 \text{ MPa}$$

Betonin vetolujuuden
mitoitusarvo

$$f_{ctd} := \frac{0.7 \cdot f_{ctm}}{1.5} = 1.493 \text{ MPa}$$

Rajapinnan karheuden
kerroin

$$C := 0$$

Rajapinnan karheuden
kerroin

$$\mu := 0.6$$

Normaalijännitys liitoksessa

$$\sigma_n := 0 \text{ MPa}$$

Raudoituksen säde

$$r := 5 \text{ mm}$$

Rajapinnan läpi kulkevan
raudoituksen poikkileikkaus.
Jokaiseen koloon laitetaan
kaksi lenkkiä, joten siitä
menee neljä kertaa tanko
läpi.

$$A_s := 4 \cdot (\pi \cdot r^2) = 314.159 \text{ mm}^2$$

Rajapinnan korkeus

$$h := 320 \text{ mm}$$

Rajapinnan leveys

$$s := 400 \text{ mm}$$

Rajapinnan pinta-ala

$$A_i := s \cdot h = 0.128 \text{ m}^2$$

Teräksen lujuus

$$f_{yd} := 435 \text{ MPa}$$

Vaarnan kulma

$$\alpha := 90^\circ$$

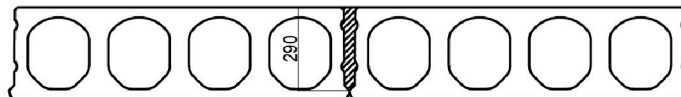
Leikkauskestävyys

$$V_{Rdi} := C \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \frac{A_s}{A_i} \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) = 0.641 \text{ MPa}$$

leikkauskestävyys

$$V_{Rd} := A_i \cdot V_{Rdi} = 81.996 \text{ kN}$$

Liite 4.



Kahden ontelolaatan välinen liitos pelkällä saumavalulla ilman pintalaattaa

Oletetaan, että rengasterästyksen ansiosta ontelolaattojen välille ei synny liian suuria halkeamia ja rengasterästys ottaa vetovoiman vastaan, jotta voidaan käyttää Eurokoodin mukaista sauman leikkauskestävyytenä 0,15MPa.

Lasketaan ontelolaatan sauman leikkauskestävyys yhden metrin matkalta

Lasketaan leikkauskestävyys saumalle.

Saumabetoni C25/30

Ontelolaatan O32 korkeus $h := 320 \text{ mm}$

Ontelolaatan sauman mitoitusleikkauslujuus Eurokoodin mukaisesti. $\tau_{Rdi} := 0.15 \text{ MPa}$

Ontelolaatan sauman tehollinen korkeus $h_j := h - 30 \text{ mm} = 290 \text{ mm}$

Tarkasteltava pituus $s := 1 \text{ m}$

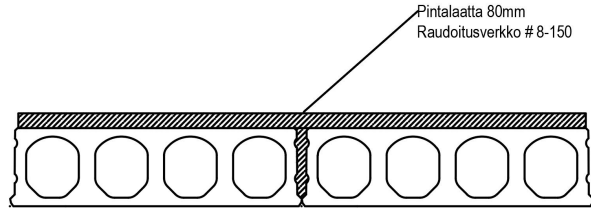
Välissä oleva pinta-ala $A := h_j \cdot s = 0.29 \text{ m}^2$

Leikkauskestävyys metrin matkalla

$$V_{Rdi} := A \cdot \tau_{Rdi} = 43.5 \text{ kN}$$

Liite 5.

Kahden ontelolaatan välinen liitos
raudoitetulla pintalaatalla #8-150
Ei käytetä yksiköitä tässä laskussa,
koska murtopotenssit sekoittavat ne.



Lasketaan leikkauskestävyys.
Otetaan huomioon pelkän
pintalaatan leikkauskestävyys
betoni C30/37

$$V_{ed} := 126000 \text{ N}$$

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

Betonin keskimääräinen vetolujuus

$$f_{ctm} := 3.2$$

Tarkasteltava pituus

$$s := 1000 \text{ mm}$$

Pintalaatan paksuus

$$t := 80 \text{ mm}$$

Laataston leveys.
Oletetaan puristusvyöhykkeen
pituuden olevan 0.6 B

$$B := 22000 \text{ mm}$$

pintalaatan leikkauksen
pinta-ala
Raudoite

$$A_c := s \cdot t = 8 \cdot 10^4$$

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

Leikkausvoima pintalaatassa

$$v_{ed} := \frac{V_{ed}}{t \cdot 0.6 \cdot B} = 0.119 \text{ MPa}$$

minimi raudoitussuhde

$$\rho := \max \left(0.0013, 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}^{\frac{2}{3}}}{f_{yk}} \right) \cdot A_c = 104$$

Raudoituksen säde

$$r := 4$$

Yhden metrin matkalla
rajapinnan läpi kulkevan
raudoituksen poikkileikkaus

$$A_s := 7 \cdot (\pi \cdot r^2) = 351.858$$

Raudoitussuhde

$$\rho := \frac{100 \cdot A_s}{A_c} = 0.44$$

Kerroin mikä ottaa huomioon
puristusvyöhykkeen pituuden

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200}{0.6 \cdot B}} = 1.123$$

Liite 5.

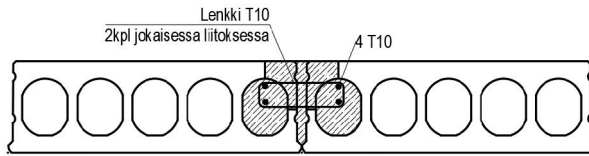
$$v_{Rdi} := \max \left(0.12 \cdot k \left(\rho \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}}, 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \right) = 0.318 \quad \text{MPa}$$

$$v_{edi} < v_{Rdi} \quad \text{Ok}$$

$$\text{Metrin matkalla pintalaatan leikkauskestävyys} \quad V_{Rd} := s \cdot t \cdot v_{Rdi} = 2.548 \cdot 10^4 \quad \text{N}$$

Tässä tapauksessa ontelolaatan sauman leikkauskestävyys on suurempi kuin pintalaatan leikkauskestävyys. Sauman leikkauskestävyyteen vaikuttaa paljon ontelolaatan sauman tehollinen korkeus. Matalalla ontelolaatalla saadaan pintalaatasta enemmän hyötyä leikkauskestävyyteen.

Liite 6.



Tapa 1

Kahden ontelolaatan välinen liitos yhden metrin matkalla. raudoituksella 2T10 lenkkiä. Liitoksia on aina yksi metriä kohden.

Lasketaan kestävyys ensin lyhyen tappivaarnatapin leikkauskapasiteetti kaavan avulla. Tällä tavalla saadaan ainakin varmalla puolella oleva kestävyys.

Reunaehtona täytyy teräksen ankkuroitua betoniin vähintään 8ϕ
Tämä toteutuu tässä liitoksessa

Saumabetoni C25/30

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$$

Teräksen lujuus

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

Raudoituksen halkaisija

$$\phi := 10 \text{ mm}$$

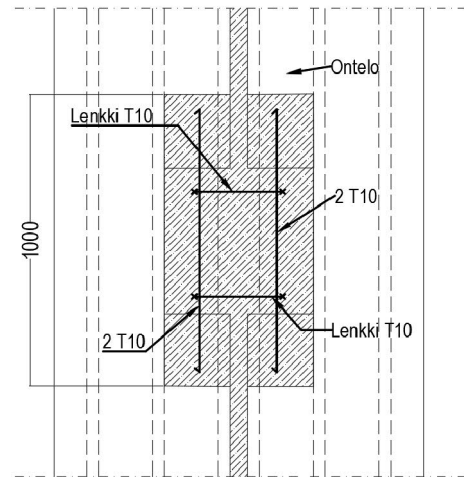
Murtorajatilan kapasiteetti yhdelle teräkselle

$$F_{dp} := 0.8 \cdot 1.2 \cdot \phi^2 \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{1.15} \cdot \frac{f_{ck}}{1.5}} = 8.172 \text{ kN}$$

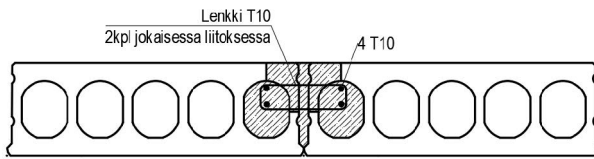
Liitoksessa menee läpi kaksi lenkkiä eli yhteensä neljä kertaa 10mm tankoa. Voidaan siis kertoa kestävyys neljällä

yhden liitoksen leikkauskestävyys

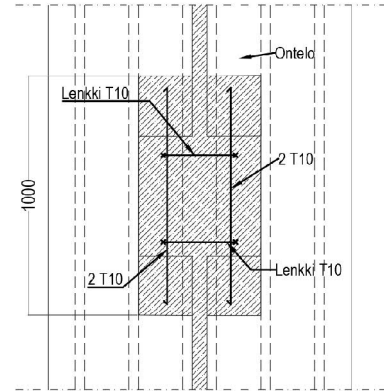
$$V_{Rd} := 4 \cdot F_{dp} = 32.688 \text{ kN}$$



Liite 6.



Kahden ontelolaatan välinen liitos
metrin matkalla.
raudoituksella 2T10 lenkkiä. Tapa 2



Lasketaan kestävyys Eurokoodin vaarnaavaalla. Tällä tavalla saadaan parempi kestävyys liitokselle.

Reunaehtona täytyy teräksen ankkuroitua paremmin kuin lyhyessä tappivaarnaavassa, koska vetovoima on suurempi. Ankkuroidaan teräkset lenkin päissä oleviin teräksiin.

Liitosten sijoittelua laatastoon täytyy kanssa miettiä, jos liitos tulee vedetylle alueelle kohdistuu siihen vetoa, joka syö liitoksen kapasiteettia. Paras paikka olisi varmaankin mahdollisimman lähellä neutraaliakselia leikkausvoiman kannalta.

Saumabetoni C25/30

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa}$$

Teräksen lujuus

$$f_{yd} := 435 \text{ MPa}$$

Raudoituksen säde

$$\phi := 5 \text{ mm}$$

Sauman tehollinen korkeus

$$h_j := 290 \text{ mm}$$

Liitoksen pituus

$$s := 500 \text{ mm}$$

Raudoitus pinta-ala

$$A_s := 4 \cdot \pi \cdot \phi^2 = 314.159 \text{ mm}^2$$

Pinta-ala

$$A_i := h_j \cdot s = 0.145 \text{ m}^2$$

Vaarna kulma

$$\alpha := 90^\circ$$

Rajapinnan karheuden kerroin. Voidaan käyttää ykköstä, koska rajapinta on käytännössä samaa valua.

$$\mu := 1$$

Leikkauskestävyys

$$V_{Rdi} := \frac{A_s}{A_i} \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha)) = 0.942 \text{ MPa}$$

Yhden liitoksen leikkauskestävyys

$$V_{Rd} := A_i \cdot V_{Rdi} = 136.659 \text{ kN}$$