

Riku Kröger

BETONIELEMENTTIRAKENTEISEN SEINÄ-LAAT- TARUNKOISEN KERROSTALON LIITOKSET

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Riku Kröger: Betonielementtirakenteisen seinä-laattarunkoisen kerrostalon liitokset
(Connections of precast concrete elements in wall-slab structured buildings)

Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Toukokuu 2021

Betonielementtirakentaminen on ollut Suomessa suosittua jo pitkään ja liitokset ovat olennainen osa näitä betonirakenteita. Toisaalta elementtirakentamisella saavutetaan esimerkiksi parempi tuottavuus ja laatu verrattuna paikallavalettaviin rakennuksiin. Yksittäisistä betonielementeistä löytyy paljon tietoa muun muassa valmistajien omilta sivuilta, mutta elementtien liitoksista löytyvä tieto on suppeampaa ja se keskittyy vain mallidetalleihin. Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä esitellään perinteisen betonirunkoisen suomalaisen asuinkerrostalon elementtien välisiä liitoksia. Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena.

Liitoksien ymmärtämiseksi tulee ymmärtää rakennuksen kantavan ja jäykistävän rungon päärakennneosat. Runkojärjestelmät luvussa käsitellään tätä kokonaisuutta asuinkerrostalon näkökulmasta. Tyypillisin runkojärjestelmä asuinkerrostalolle Suomessa on kantavat seinät-laatat-runkojärjestelmä, joten luvussa keskitytään enemmän siihen. Runkojärjestelmien tueksi tulee ymmärtää myös rakennuksen jäykistykseen perusteet. Jäykistysjärjestelmän tehtävä on siirtää rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien aiheuttamat rasitukset perustuksille.

Liitoksien esittelyn tueksi tuodaan laskennallista pohjaa onnettomuustilanteen mitoituksen avulla. Onnettomuustilanne on usein laskennassa mitoitettava tarkastelu, käyttö- ja murtorajatilan lisäksi. Toisaalta onnettomuustilanteen siteiden ymmärtäminen on olennaista liitoksien tarkastelun ja sisäistämisen kannalta. Siteitä käytetään jokaisessa CC2b-seuraamusluokan kerrostalossa ja niihin voidaan soveltaa esimerkiksi raudoituksia, jotka ovat jo olemassa.

Itse malliliitoksissa tarkastelu on jouduttu rajaamaan kantaviin seinä- ja laattaelementteihin, sekä näiden välisiin pysty- ja vaakaliitoksiin. Vaakarakenteissa pääpaino on ontelo- ja kuorilaatteelementeillä, joiden liitoksia ulko- ja väliseinäelementteihin pyritään esittelemään ja ohjeistamaan kattavasti. Liitteen laskentaesimerkissä tarkastellaan ontelolaatan liitosta. Lisäksi käsitellään yleiset paikallavalettavien laattojen liitokset kantaviin seinäelementteihin ja seinäelementtien väliset pystysaumaliitokset.

Liitteeksi lisätään yksinkertainen laskentaesimerkki yhdestä yleisestä liitostyyppistä, ontelolaatan liitoksesta kantavaan väliseinään. Laskentaesimerkin mitoituksen lähtökohdaksi otetaan onnettomuustilanne, jolloin laskenta perustetaan Betoniyhdistyksen Betoninormikorttiin N:o 23EC. Tätä laskentaesimerkkiä voidaan soveltaa myös muihin esiteltäviin liitoksiin.

Avainsanat: Betonielementti, liitos, ontelolaatta

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. RUNKOJÄRJESTELMÄT	3
2.1 Kantavat seinät–laatat-runkojärjestelmä.....	3
2.2 Rakennuksen jäykistys.....	4
3. ONNETTOMUUSTILANTEEN MITOITUS.....	6
3.1 Vaakasiteet	7
3.2 Pystysiteet	9
3.3 Pystyrakenteiden sidonta vaakarakenteisiin.....	11
4. ONTELOLAATTOJEN LIITOKSET.....	12
4.1 Liitokset kantavaan ulkoseinään.....	13
4.2 Liitokset kantavaan väliseinään.....	16
5. KUORILAATTOJEN LIITOKSET	18
5.1 Liitokset kantavaan ulkoseinään.....	19
5.2 Liitokset kantavaan väliseinään.....	20
6. MUITA LIITOKSIA.....	22
6.1 Paikallavaletun laatan liitokset	22
6.2 Seinäelementtien pystysaumaliitokset.....	24
6.3 Seinäelementtien vaakasaumaliitokset	26
7. YHTEENVETO.....	28
LÄHTEET	29
LIITE A: LASKENTAESIMERKKI VAKIOLIITOKSESTA DO501	

1. JOHDANTO

Betonielementtirakentaminen on ollut Suomessa suosittua jo pitkään ja elementtejä käytetäänkin kaikentyypisessä talonrakentamisessa. Tehtaalla valmiiksi tehdyistä elementeistä voidaan koota esimerkiksi omakoti- ja rivitaloja, asuinkerrostaloja ja erilaisia toimisto- ja liikerakennuksia. Uusista kerrostalojen runkorakenteista noin kolmannes on koottu betonielementeistä, mutta asuinkerrostaloissa tämä osuus on todennäköisesti vieläkin enemmän (Betoniteollisuus Ry 2020a). Tulevaisuudessa rakennetaan entistä teollisemmin eli elementtien käyttö tulee lisääntymään. Näin saavutetaan esimerkiksi parempi tuottavuus ja laatu. Yksittäisistä elementeistä löytyy paljon tietoa, mutta niiden liitoksista tai yhteistoimivuudesta, kuten runkojärjestelmistä, huonommin.

Tämä opinnäytetyö pyrkii esittelemään ja ohjeistamaan yleisimmät betonielementtien väliset liitokset seinä-laattarunkoisessa asuinkerrostalossa. Aiheesta on aiemmin tehty opinnäytetöitä, mutta ne painottuvat yleisesti runkojärjestelmiin ja sen osiin, jolloin betonisen seinä-laattarungon elementtiliitoksia käsitellään suppeasti. Tämä opinnäytetyö pyrkii paneutumaan näihin elementtiliitoksiin. Työn tavoitteena on siis luoda kokonaisuus, josta saa yleisen käsityksen erilaisista betonielementtien liitoksista ja niiden toiminnasta. Työ tehdään pääasiassa suunnittelijan näkökulmasta.

Opinnäytetyö suoritetaan perinteisenä kirjallisuustutkimuksena. Tavoitteena on systemaattinen kirjallisuuskatsaus, joten työssä pyritään hyödyntämään tunnettuja luotettavia lähteitä, kuten Betoniteollisuus Ry:n ylläpitämä Elementtisuunnittelu-sivusto, sekä Betoniyhdistyksen betoninormikortit. Työ pyrkii vastaamaan kysymykseen: ” Millaisia betonielementtien liitoksia käytetään yleisesti seinä-laattarunkoisessa kerrostalossa?” Syventäviä kysymyksiä ovat: ” Mitä liitosten valinnassa ja suunnittelussa tulee ottaa huomioon?” ja ” Millainen runkojärjestelmä kerrostalon seinä-laattarunko on?”

Tämä opinnäytetyö käsittelee tavanomaisen betonielementtirakenteisen CC2-seuraamusluokan asuinkerrostaloa, sillä betonielementtien liitoksia on paljon ja tämä kerrostalotyyppi on Suomessa hyvin yleinen. Tällä pyritään saavuttamaan mahdollisimman hyvä aiheen kattavuus. CC2-asuinkerrostalossa on enintään 8 kerrosta ja sen kuvauksena on keskisuuret ihmishenkien menetykset tai merkittävät taloudelliset tai ympäristövahingot. Tämä kuvaa siis hyvin perinteistä Suomalaista asuinkerrostaloa. Työssä otetaan huomioon myös onnettomuustilanteet ja sen vaatimukset liitoksille, joten seuraamusluokka on

tarkemmin CC2b. Onnettomuustilanteen mitoitus ja huomioiminen tarkoittaa käytännössä jatkuvan sortuman rajoittamista. Lähtökohdaksi onnettomuustilanteen mitoitukseen otetaan Betoniyhdistyksen Betoninormikortti N:o 23EC. Suomessa kerrostaloissa on yleisesti vakioitu kaksi erilaista runkojärjestelmää: kantavat seinät–laatat-järjestelmä ja pilarit–palkit–laatat-järjestelmä. Asuinkerrostaloissa pilarit-pakit-laatat-järjestelmää ei yleisesti esiinny kuin liiketiloissa ja toimistoissa, jotka ovat asuinrakennusten yhteydessä. Näissä järjestelmissä liitostyypit ja perusrakenteet eroavat huomattavasti toisistaan. Keskitytään pelkästään kantavat seinät-laatat-järjestelmään, jotta valitut liitokset voidaan käydä läpi tarpeeksi kattavasti. Käsitellään pelkästään seinä- ja laattaelementtien välisiä pysty- ja vaakaliitoksia.

Yleisimmät välipohjan elementtilaatat ovat ontelolaatta, kuorilaatta, TT-laatta ja massiivilaatta. Näistä TT-laattaa käytetään harvoin asuinkerrostalojen välipohjarakenteena. Ontelolaatta on Suomessa yleisin välipohjarakenne, mutta myös kuorilaatalla on omat käyttökohteensa ja etunsa, esimerkiksi talotekniikan puolella, joten käydään molempien perusliitokset läpi. Välipohjarakenteena myös paikallavalettu laatta on Suomessa yleinen, joten sen liitokset seinäelementteihin käydään läpi. Paikallavaletun välipohjan paksuus on yleensä 260–280 mm. Seinärakenteista käydään läpi massiivibetoniset kantavat väli- ja ulkoseinäelementit, sekä ulkoseinissä käytettävät Sandwich-elementit. Työssä ei käsitellä elementtien liittymistä perustuksiin tai anturoihin.

Rakennuksen runkojärjestelmä määrittelee koko rakennuksen runkotyyppin, tämä vaikuttaa valittaviin rakenneosiin ja niiden välisiin liitoksiin. Onnettomuustilanteen mitoitus on liitosten kannalta yksi olennaisimmista mitoitusmenetelmistä. Se pitää tarkastella aina ja se tulee usein mitoittavaksi, käyttö- ja murtorajatilan ohella. Tällä pyritään luomaan laskennallista pohjaa sanallisten selityksien tueksi. Tätä varten yhdestä liitoksesta on tehty myös laskentaesimerkki liitteeksi työn loppuun. Kuten edellä jo mainittiin, niin ontelo- ja kuorilaatat ovat yleisiä ratkaisuja, joiden liitokset ovat keskeisintä aihealuetta työssä. Paikallavalettujen laattojen liitokset otettiin lyhyesti mukaan täydentämään elementtilaattojen detaljeja. Seinien väliset pystyliitokset täydentävät kokonaisuutta, jottei työ keskity pelkästään vaakaliitoksiin.

2. RUNKOJÄRJESTELMÄT

Runkojärjestelmät luovat nimensä mukaisesti pohjan rakennuksen rungolle. Runko koostuu kantavista ja jäykistävästä rakenteista. Kantavia rakenteita ovat esimerkiksi laatat, seinät, palkit, pilarit ja perustukset. Koko rakennuksen runko voidaan valmistaa tehtaalla valmiiksi tehdyistä elementeistä, joista runko sitten pystytetään työmaalla. Valmiiden elementtien asentaminen työmaalla vie vähemmän aikaa kuin perinteisen paikalla-valettavan rungon toteutus. (Betoniteollisuus Ry 2020i)

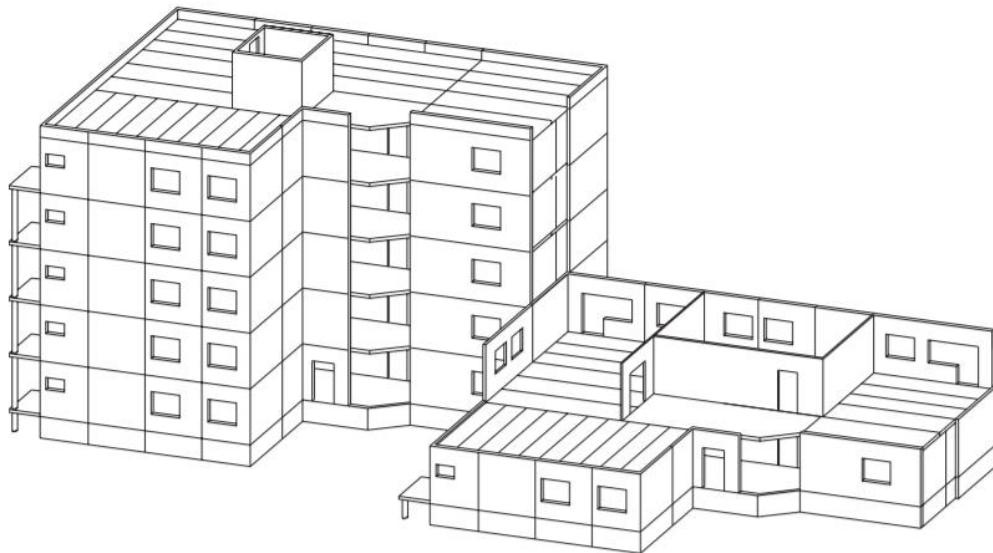
Asuinrakennuksen runkojärjestelmiin liittyy myös paljon mittasuosituksia ja säädöksiä, joilla pyritään yhtenäistämään rakennuksien valmistamista. Esimerkiksi asuinkerrostaloille on määritetty minimi kerroskorkeus 3000 mm ja minimi huonekorkeus 2500 mm. Usein käytetään myös vakiomittaisia moduulimittoja, jotka muodostavat moduuliverkon. Moduulimitta 12M on ontelo- ja kuorilaatan vakioleveys 1200 mm, joten se on yleisesti käytössä. (Betoniteollisuus Ry 2020b)

2.1 Kantavat seinät–laatat-runkojärjestelmä

Betonisen kerrostalon seinät–laatat-runkojärjestelmä koostuu nimensä mukaisesti kantavista väli- ja ulkoseinäelementeistä ja näihin tukeutuvista laatastoista kuvan 1 mukaisesti. Tämä runkoratkaisu on Suomessa yleisin. Parvekkeet sijoitetaan yleensä ei-kantaville sivuille, joka on usein pitkän julkisivun puoli. Pohjapinta-alaltaan pienemmissä kohteissa voidaan käyttää runkorakennetta, jossa on vain kantavat ulkoseinät ja laatat. Tällöin parvekesivun ulkoseinät voivat olla kantavia. Tätä runkorakennetta käytetään Suomessa vain pistetaloissa ja monimuotoisissa asuinrakennuksissa. Kaupunkien keskusta-alueilla käytetään usein runkojärjestelmänä yhteensovitettua rakennetta, jossa alimmat kerrokset ovat pilari-palkkilaattarunkoisia ja ylemmät kerrokset seinä-laattarunkoisia, mikä on yleisin runkorakenne asuinkerrostaloissa. Tällaisissa kerrostaloissa on usein alimmissa kerroksissa autojen parkkihalleja sekä toimistotiloja. (Betoniteollisuus Ry 2020b)

Perinteisessä seinät–laatat-runkojärjestelmässä väli- ja yläpohjan laatat voivat olla betonielementtejä, kuten ontelolaattoja tai paikalla-valettavia massiivirakenteita, joihin syvennytään tarkemmin luvussa 6. Yhteen suuntaan kantavat laatat tuetaan molemmista päistä betoniseinään, jolloin välipohjan laattojen suuntaisista julkisivuista voidaan tehdä ei-kantavia. Ontelolaatta ja kuorilaatta ovat yhteen suuntaan kantavia betonisia laatta-elementtejä. (Betoniteollisuus Ry 2020b) Kantavana pystyrunkona käytetään yleensä

massiivibetonista valmistettuja betoniväliseiniä ja julkisivuelementtien kantavaa sisäkuorta. Kantavat väliseinät ovat usein raudoittamattomia, varsinkin ylemmissä kerroksissa. Väliseinät ovat yleensä paksuudeltaan 200 mm. Ulkoseinät pyritään myös mitoittamaan raudoittamattomiksi, mutta usein se ei onnistu suurten aukotusten vuoksi. (RT 82-10821 2004, s. 3)



Kuva 1. *Kantavat seinät-laatat-runkojärjestelmän malliesimerkki (RT 82-10821 2004, s. 4)*

2.2 Rakennuksen jäykistys

Rakennuksen jäykistysjärjestelmä siirtää rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien aiheuttamat rasitukset perustuksille. Vaakakuormia ovat esimerkiksi tuulikuormat. Tasojen vaakarakenteiden tulee siirtää vaakakuormat jäykistäville pystyrakenteille. Seinä-laattarungon jäykistykseen käytetään kantavia betoniulkoseiniä, poikittaisia väliseiniä sekä porras- ja hissikuilujen seiniä kohteen mukaan. (Betoniteollisuus Ry 2020b) Tarvittaessa suuret rakennukset jaetaan liikuntasaumoilla osiin, jolloin ne toimivat laskennallisesti erillisinä rakennuksina. Asuinrakennuksen poikkisuunnassa on usein paljon jäykistäviä seiniä, jolloin jäykistys ei tuota ongelmia. Asuinrakennuksen pituussuunnassa, eli yleisesti lyhyemmässä suunnassa, jäykistys on rajoittavampi tekijä ja se tulee tarkistaa. (RT 82-10821 2004, s. 2)

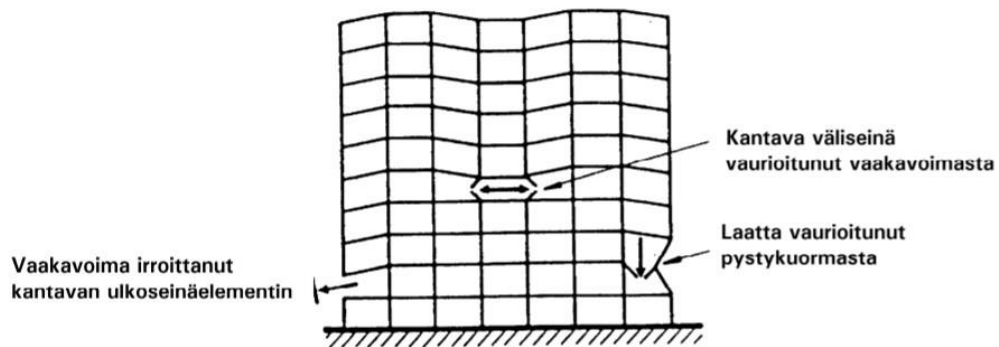
Käytettäessä yhteen suuntaan kantavia laattaelementtejä laatastolta ei käytännössä tule pystykuormaa pituussuuntaisille seinille. Laataston tulee kuitenkin siirtää rakennukseen kohdistuvat vaakakuormat jäykistäville seinille. Välipohjalaatasto sidotaan yhtenäiseksi

jäykäksi levyksi saumaterästen ja -valujen avulla. Laataston ympäri kulkee rengasraudoitus, jonka tulee kestää laatastolle kohdistuva momentti. Leikkausvoimat siirretään jäykistäville seinille laattasaumojen avulla. Momentti- ja leikkausvoimat tulee ottaa huomioon myös elementtien liitoskohdissa, jotta voimat välittyvät jäykistäville pystyrakenteille. (RT 82-10821 2004, s. 2) Rengasraudoitusta ja sisäpuolisia siteitä käsitellään tarkemmin kohdassa onnettomuustilanteen mitoitus.

Jäykistävät betoniseinät muodostuvat yksittäisistä betonielementeistä, jotka yhdistetään vaaka- ja pystyliitoksilla yhtenäiseksi levyksi (Betoniteollisuus Ry 2020b). Hoikemmassa suunnassa seinät mitoitetaan kerroksittain, ja ne katsotaan nivelellisesti tuetuiksi levyiksi. Seinät katsotaan jäykistäviksi rakenteiksi vain jäykemmässä suunnassa eli ns. pitkittäin. (RT 82-10821 2004, s. 3)

3. ONNETTOMUUSTILANTEEN MITOITUS

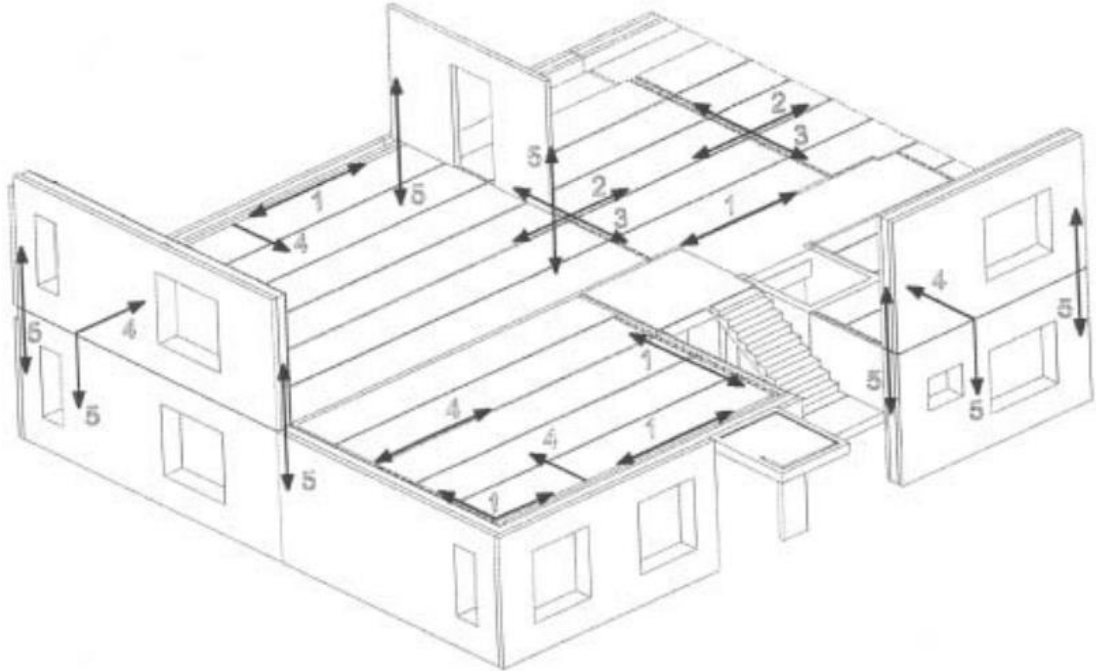
CC2b-seuraamusluokan asuinkerrostalo mitoitetaan ennakoitavissa oleville onnettomuustapauksille, kuten rakennuspalolle, sekä ennalta arvaamattomien onnettomuustilanteiden varalta. Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain ennalta arvaamattomia onnettomuustilanteita. Suunnittelussa täytyy aina ottaa huomioon ennalta arvaamattoman, määrittelemättömän, onnettomuustilanteen mahdollisuus. Tämä tarkoittaa sitä, että paikallinen vaurio ei saa johtaa jatkuvaan sortumaan. Jatkuva sortuma tarkoittaa paikallisen vaurion vuoksi ketjureaktiona tapahtuvaa sortumaa, joka johtaa rakennuksen sortumaan osittain tai kokonaan ja josta aiheutuu suuri henkilövahinkojen vaara. Laskennassa paikallinen vaurio huomioidaan poistamalla kantavia tai jäykistäviä rakenneosia, kuten laatta- tai seinäelementtejä kuvan 2 mukaisesti. Onnettomuustilanteen mitoitus luo rajoitteita erityisesti elementtiliitoksille. Jatkuva sortuma pyritään estämään sitomalla elementit toisiinsa saumoissa sijaitsevien sideterästen tai mahdollisten liitosten teräsosien avulla, joilla taataan riittävä jatkuvuus ja vetovoimakestävyys elementtien välille. (BY23EC 2012, s. 2, 3)



Kuva 2. Onnettomuustilanteen esimerkkivaurioita, joista ei saa seurata rakennuksen muiden osien sortumista (BY23EC 2019, s. 4).

Ennalta määräämättömässä onnettomuustilanteessa voidaan käyttää kolmea toimintaperiaatetta: paikallisen vaurion rajaaminen, sidejärjestelmät ja vaihtoehtoinen kuorman siirtoreitti (BY23EC 2019, s. 7). Tässä opinnäytetyössä paneudutaan tarkemmin vain sidejärjestelmiin, koska ne ovat betonielementtien liitoksien kannalta olennaisimmat. Eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 ympäristöministeriön kansallisessa liitteessä määritellään CC2b-seuraamusluokan rakennuksen sidejärjestelmänä käytettävän vaakarakenteissa

vaakasiteitä ja kantavissa tai jäykistävässä seinärakenteissa pystysiteitä. Lisäksi pystyrakenteet tulee sitoa vaakarakenteisiin kuvan 3 mukaisesti (Ympäristöministeriö 2019, s. 39).



Kuva 3. *Kantavat seinät-laattarungon sidejärjestelmä, jossa nro 1 ovat rengassiteet, 2 ja 3 sisäiset siteet, 4 kantavien rakenteiden vaakasidonta ja 5 kantavien rakenteiden pystysidonta (Betoninormikortti 23 2019 s.10).*

3.1 Vaakasiteet

Kaikkiin rakennuksen väli- ja yläpohjiin sijoitetaan sen ympäri kiertävät rengassiteet ja sisäpuoliset siteet. Siteet sijoitetaan mahdollisimman lähelle välipohjien reunoja, sekä seinälinjoja, jatkuvuuden varmistamiseksi. Säädöksen mukaan vähintään 30 % siteistä täytyy sijoittaa seinien ruudukolinjojen välittömään läheisyyteen. Vaakasiteinä käytetään betonirakenteisessa kerrostalossa yleensä betoniteräksiä tai verkkoraudoitteita tai näiden yhdistelmää. (Ympäristöministeriö 2019, s. 39)

Seuraavaksi esitettävät sidejärjestelmän mitoituskaavat pätevät vain jatkuvan sortuman estämisessä ja ne edustavat yhtä kuormitustapausta. Näiden lisäksi tulee aina tarkastella murto- ja käyttörajatilan kuormitustapaukset. Mitoitus perustuu Betoninormikorttiin 23 (2019), jonka perustana on käytetty eurokoodin onnettomuuskuormien osiota SFS EN 1991-1-7. Mitoitus koskee pelkästään CC2b-seuraamusluokkaa. Merkittävää on myös se, että sidejärjestelmän mitoitukseen voidaan käyttää hyväksi kaikkia jo olemassa

olevia raudotteita ja rakenneosia. Mikäli määritellyt sidevoimat saadaan siirrettyä olemassa olevilla rakenteilla, liitoksilla ja raudoituksilla ilman lisärakenteita, ei niitä välttämättä tarvitse lisätä. (BY23EC 2019, s. 9)

Seuraamusluokassa CC2b, rengas- ja sisäpuolisten siteiden sidevoimat T lasketaan seuraavasti.

Kun vaakarakenteen eli laataston pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k \geq 3,0 \text{ kN/m}^2$, niin sidevoima T

$$T_i = s \cdot 20 \text{ kN/m}. \quad (1)$$

Sidevoiman T vähimmäisarvo rengassiteillä on 70 kN. Jos sisäpuoliset siteet keskitetään tukilinjalle, kuten laattaelementtien päätysaumoissa, niin vähimmäisarvo 70 kN koskee myös näitä sisäpuolisia siteitä.

Kun vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2$, niin sidevoima T

$$T_i = s \cdot 3 \text{ kN/m}. \quad (2)$$

Sidevoiman T vähimmäisarvo rengassiteillä 10 kN. Jos sisäpuoliset siteet keskitetään tukilinjalle, kuten laattaelementtien päätysaumoissa, niin vähimmäisarvo 10 kN koskee myös näitä sisäpuolisia siteitä.

Kuvan 4 laatasta kiertävät rengassiteet on merkattu punaisella ja laattojen väliset sisäpuoliset siteet sinisellä. Kuvassa sidevoiman kertymäleveys s on sisäpuolisilla siteillä siteiden väli keskeltä keskelle, esimerkiksi suuntaan T_1 :

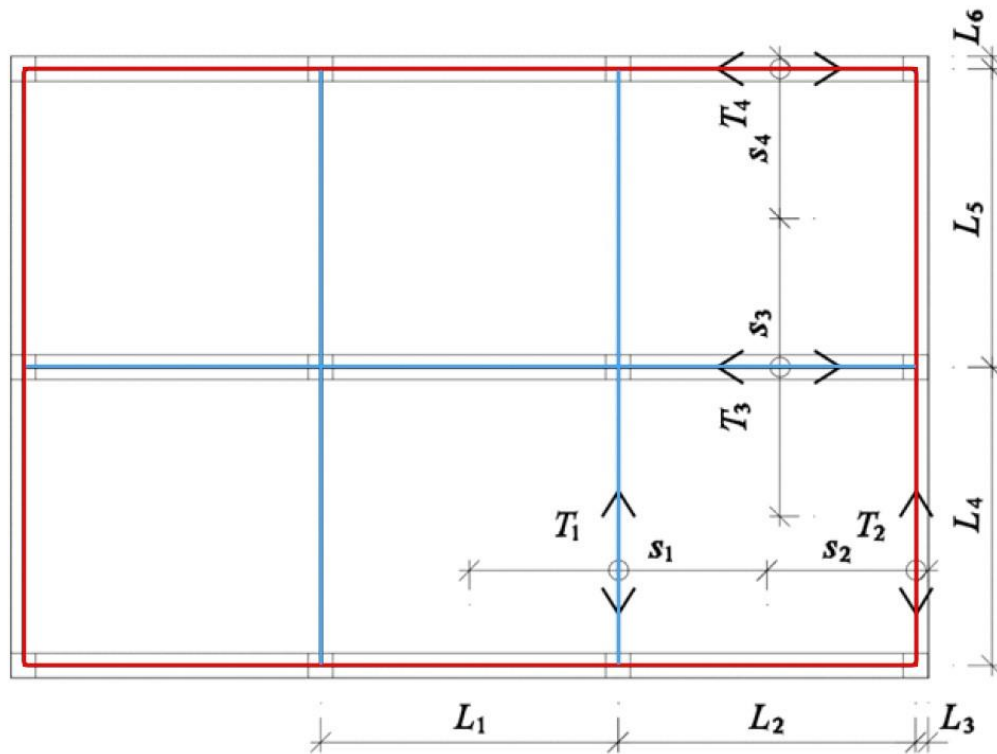
$$s_1 = (L_1 + L_2)/2. \quad (3)$$

Ja rengassiteillä rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdella lisättyä seinärakenteen paksuudella, esimerkiksi suuntaan T_2 :

$$s_2 = L_2/2 + L_3. \quad (4)$$

Vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvon ollessa välillä $g_k = (2,0-3,0) \text{ kN/m}^2$ sidevoiman arvo T interpoloidaan.

Rengasraudoituksen sidevoiman vähimmäisarvo 70 kN vaatii kiertäväksi rengasraudoitukseksi vähintään kaksi 10 mm halkaisijalla olevaa terästankoa. Tukilinjalle keskitetyiltä sisäpuolisilta siteiltä vaadittava sama 70 kN vähimmäisarvo, tämä koskee tapauksia, joissa sideväli on yli 3,5 m. 70 kN kuorma voidaan jakaa 3,5 m välille, jolloin näiltä sisäpuolisilta siteiltä vaaditaan 20 kN/m lujuus. Mikäli sisäpuoliset siteet sijoitetaan 1,2 m välein esimerkiksi laattojen saumoihin, niin yhden siteen tulee kestää 24 kN kuorma. Tämä vaatii vähintään 10 mm halkaisijalla olevan raudoitteen, 1,2 m välein (k1200). (BY23EC 2019, s. 12)



Kuva 4. Havainnollistava tasokuva mitoitusilanteesta (Ympäristöministeriö 2019, s. 40).

3.2 Pystysiteet

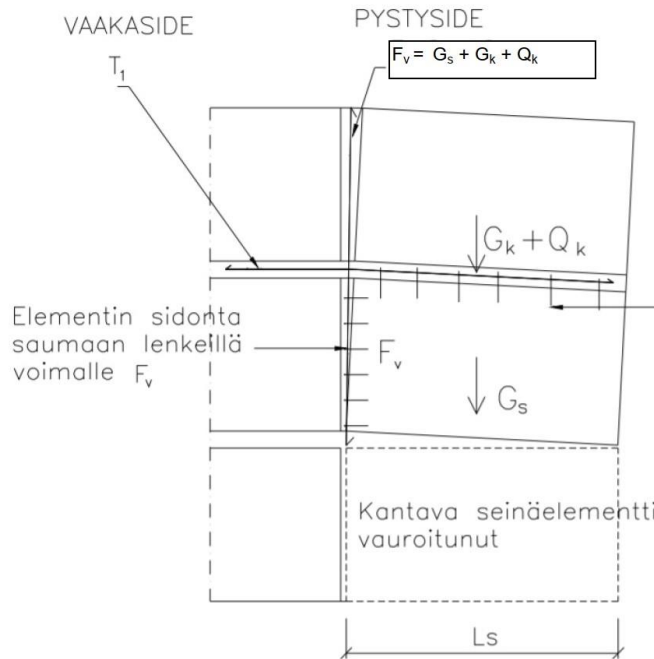
Eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 ympäristöministeriön kansallisessa liitteessä määritellään pystysiteet seuraavasti, jokaisessa kantavassa tai jäykistävässä seinässä tulee olla jatkuvat pystysiteet perustuksilta yläpohjalle saakka. (Ympäristöministeriö 2019, s. 43)

Kansallisessa liitteessä määritellään pystysiteiden mitoitusvoima F_v seuraavasti:

$$F_v = G_s + G_k + Q_k, \quad (5)$$

jossa G_s on seinäelementin omapaino, G_k seinäelementille tulevan pysyvän kuorman ominaisarvo yhdeltä kerrokselta ja Q_k seinäelementille tulevan muuttuvan kuorman ominaisarvo yhdeltä kerrokselta.

Pystysiteet voidaan sijoittaa myös seinäelementtien väliin pystysaumoihin kuvan 5 mukaisesti. Tällöin pystysiteen kiinnitys on tehtävä niin, että voima välittyy elementiltä pystysiteelle. Kiinnityksen kokonaiskapasiteetti täytyy vastata edellä määriteltyä voimaa F_v . Kiinnitys voidaan toteuttaa esimerkiksi elementin reunasta saumaan ulottuvilla tapeilla tai lenkeillä. (BY23EC 2012, s. 32)



Kuva 5. *Kantavan tai jäykistävän betonisen seinäelementin sidonta, seinän suuntaiselle vaaka- ja pystyvoimalle (BY23EC 2012, s. 32).*

Kantava tai jäykistävä seinäelementti mitoitetaan myös seinän tasoa vastaan kohtisuoralle vaakasuuntaiselle voimalle F_H seuraavasti:

$$F_H = \begin{cases} \geq 20 \frac{kN}{m} \cdot L_s, \\ \leq 150 kN \end{cases} \quad (6)$$

jossa L_s on kuvan 5 mukaisesti seinäelementin vaakamitta.

Kohtisuora liitosvoima jaetaan tasan ylä- ja alareunan kiinnityksen välille. Vaadittava rauditus voidaan sijoittaa elementtien väliseen pystysaumaan kuvan 5 mukaisesti, tai seinäelementin ylä- ja alareunan varauskoloihin. Yläpään liitoksessa voidaan huomioida elementin asennuksessa käytettävät nostolenkit. (BY23EC 2012, s. 32)

Seinäelementtien väliset pystysiteet voidaan toteuttaa pystysaumojen vaijerilenkkiliitoksiin tulevilla saumateräksillä, joista kerrotaan enemmän luvussa 6.2 seinäelementtien pystysaumaliitokset. Toisaalta mikäli seinäelementtien väliin lisättävän saumateräksen kestävyys ei riitä onnettomuustilanteessa, joudutaan seinäelementtien keskelle lisäämään saumateräksiä, kuten kuvassa 5. Tällainen voidaan toteuttaa esimerkiksi seinäkengillä, joista lisää luvussa 6.3 seinäkengät.

3.3 Pystyrakenteiden sidonta vaakarakenteisiin

Kantavat tai jäykistävät seinäelementit sidotaan jokaiseen väli- ja yläpohjatasoon. Sidevoimat F_{tie} määräytyvät laataston pysyvän kuorman ominaisarvon g_k perusteella, kuten vaakasiteiden mitoituksessa. (Ympäristöministeriö 2019, s. 42)

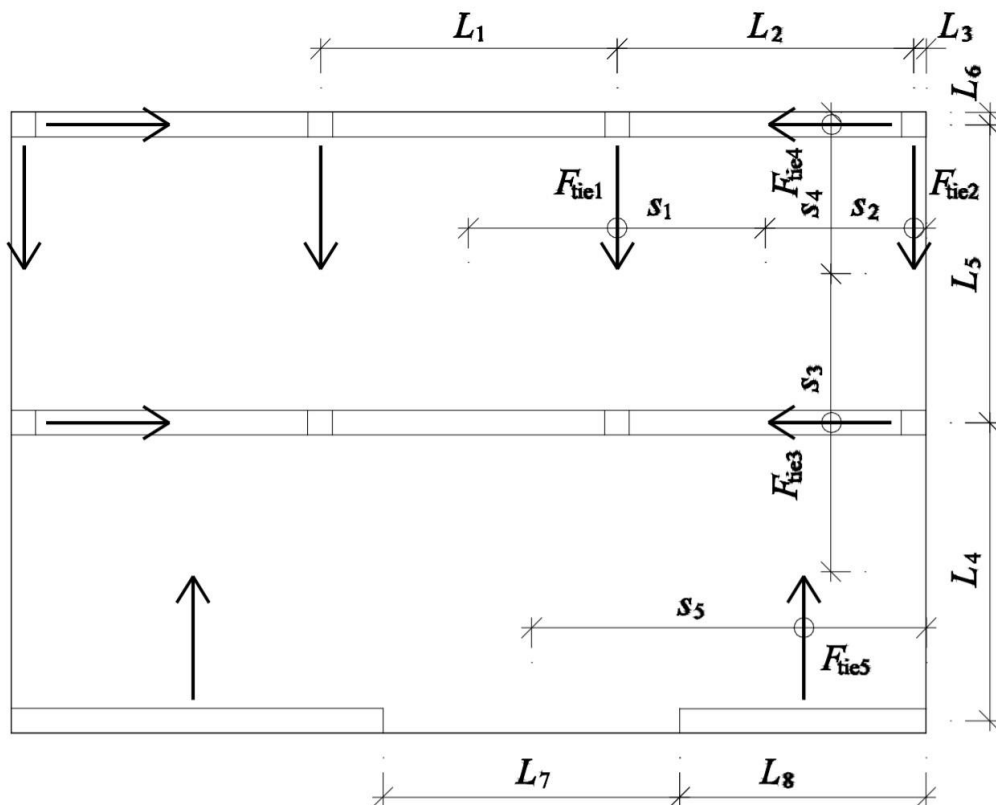
Kun laataston pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k \geq 3,0 \text{ kN/m}^2$, niin sidevoima F_{tie}

$$F_{tie} = s \cdot 20 \text{ kN/m.} \quad (7)$$

Kun laataston pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2$, niin sidevoima F_{tie}

$$F_{tie} = s \cdot 3 \text{ kN/m.} \quad (8)$$

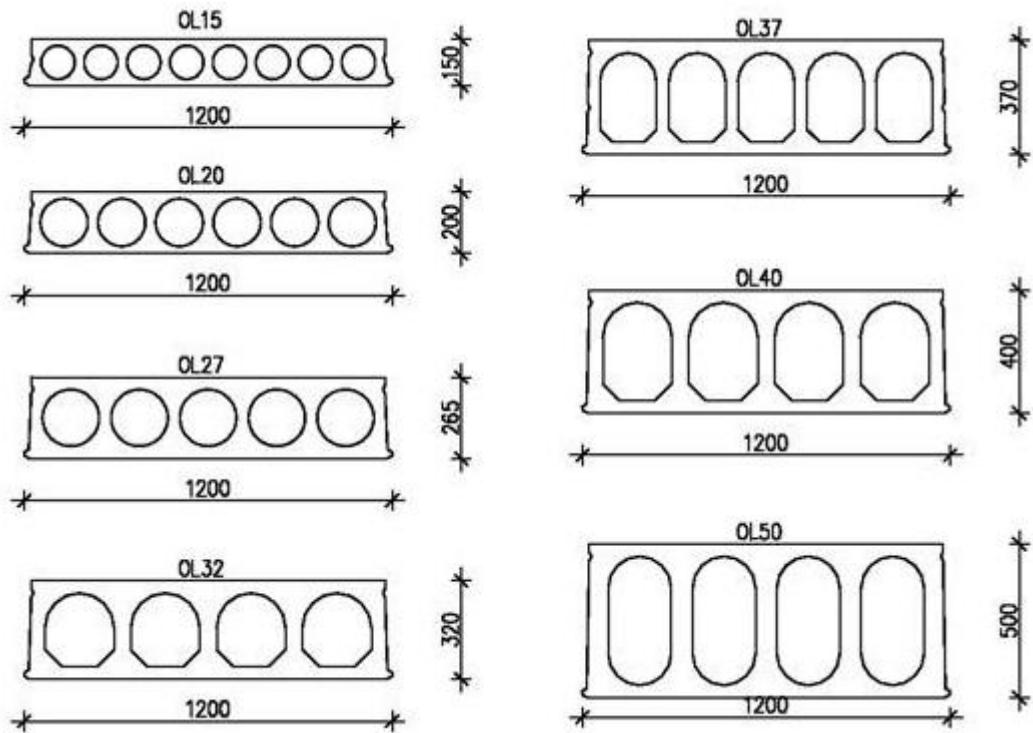
Sidevoimien arvo ei voi olla kuitenkaan enempää kuin 150 kN. Sidevoiman s kertymisleveyden määrittäminen vastaavalla tavalla kuin vaakasiteiden määrittämisessä kuvan 6 mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2019, s. 42)



Kuva 6. Kertymäleveyksien s määrittämisen havainnollistava kuva, F_{tie1} ja F_{tie2} jne. ovat mitoittavat sidontavoimat, L_1 ja L_2 jne. ovat siteiden etäisyydet ja L_3 ja L_6 seinien materiaalivahvuudet. (Ympäristöministeriö 2019, s. 43)

4. ONTELOLAATTOJEN LIITOKSET

Ontelolaatta on yleisin elementtilaatta. Ne ovat esijännitetyjä laattaelementtejä, joiden pituussuunnassa kulkee laattaa keventäviä onteloita. Laatan alareunassa kulkee teräspunoksia. Ontelolaatan vakioleveys on 1200 mm, mutta poikkileikkauksen korkeus vaihtelee suuresti käyttökohteesta riippuen. Kasvattamalla poikkileikkauksen korkeutta päästään ontelolaatalla jopa 20 metrin jänneväleihin. Kuvassa 7 on esitelty erilaisia ontelolaattojen poikkileikkauksia. Yleisimmät laattatyytit asuinkerrostaloissa ovat O27, O32 ja O37. (Betoniteollisuus Ry 2020f) Massiivibetonisia elementtilaattoja käytetään usein ontelolaattavälipohjan yhteydessä esimerkiksi porrashuoneiden ja käytävien kohdalla. (Betoniteollisuus Ry 2020j)



Kuva 7. Erilaisia ontelolaattojen poikkileikkauksia (Betoniteollisuus Ry 2020f)

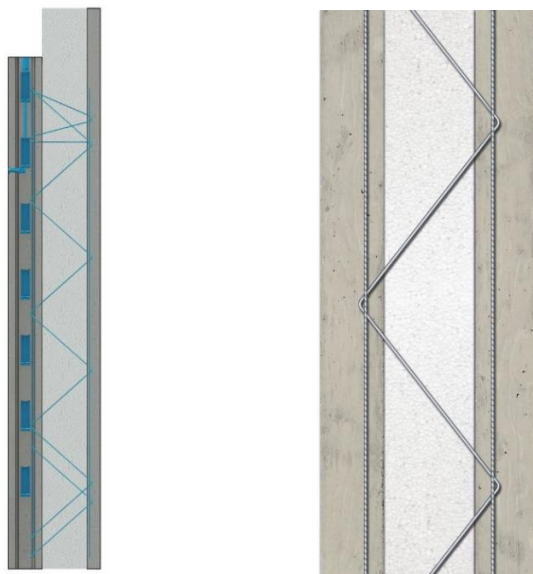
Työssä esiteltävät vakio-liitokset perustuvat Betoniteollisuus Ry:n ylläpitämään Elementtisuunnittelu.fi – sivustoon (2020). Liitoksia voidaan toteuttaa myös muilla tavoin, ja nämä detaljit toimivat vain malliesimerkkeinä, joita voidaan soveltaa tilanteen mukaan. Sivuston liitokset perustuvat hyvään ja johdonmukaiseen suunnitteluun. (Betoniteollisuus Ry 2020c)

Betonielementtien yleisin liitostapa on juotosliitos. Juotosliitoksella tarkoitetaan yleensä paikalla valettua betonijuotosta tai -valua, johon lisätään yleensä betonin lisäksi raudoitusta. Näitä ovat esimerkiksi onnettomuustilanteen mitoituksessa lasketut siteet. Raudoituksen avulla elementtien juotossaumaliitoksista muodostuu siteitä. (Betoniteollisuus Ry 2020c) Huomioitavaa on myös se, että onnettomuustilanteen vaatimina sisäisinä siteinä voidaan käyttää laatan punoksia laatan pituussuunnassa. Pituussuuntainen saumateräs ankkuroidaan laatan tukena toimivaan rakenteeseen kuvien 9 ja 10 mukaisesti. Tukena toimiva rakenne on tässä tilanteessa massiivibetoninen elementtiseinä. (BY23EC 2019, s. 12)

4.1 Liitokset kantavaan ulkoseinään

Sandwich-ulkoseinäelementti on asuinkerrostaloille hyvin tyypillinen ulkoseinäratkaisu. Se asennetaan työmaalla paikalleen valmiina seinärakenteen osana eli komponenttina. Sandwich-elementti muodostuu ulko- ja sisäkuoresta, sekä niiden välisestä eristeestä. Ne valmistetaan usein samassa tuotantoprosessissa. Ulko- ja sisäkuori liitetään toisiinsa ansaiden avulla. Sisäkuori siirtää kuormat alaspäin kohti perustuksia. (Betoniteollisuus Ry 2020d) Ansaat valmistetaan joko ruostumattomasta- tai betoniteräksestä esimerkiksi kuvan 8 mukaisesti. (Anstar 2021)

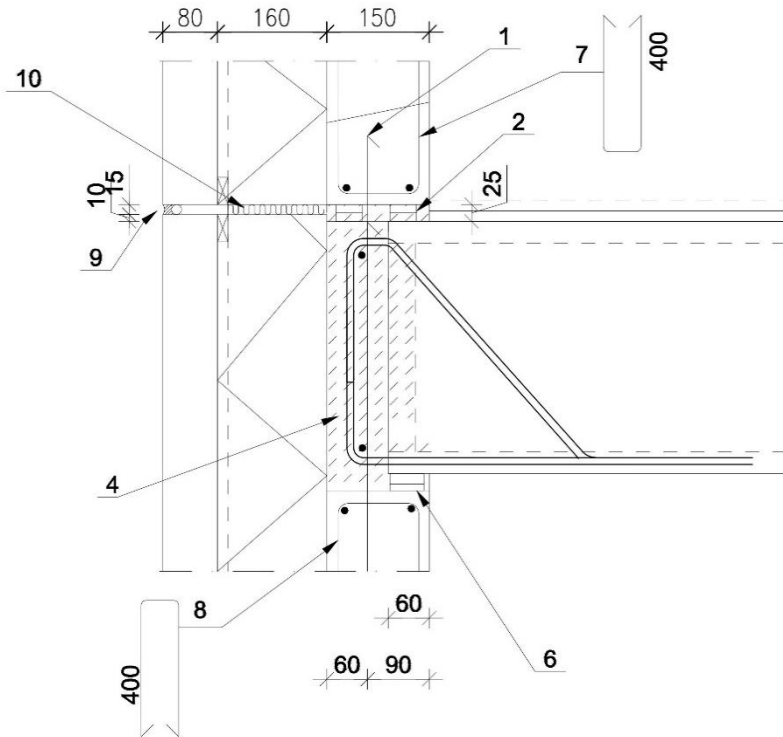
Toinen tyypillinen ulkoseinäratkaisu on eriytetty rakenne, jossa massiivibetoninen sisäkuorielementti asennetaan työmaalla ensin ja julkisivu rakennetaan sen jälkeen. Julkisivussa voidaan käyttää hyvin laajalti erilaisia ratkaisuja, eivätkä ne vaikuta kantavilta rakenteiltaan sisäkuoren toimintaan. (Betoniteollisuus Ry 2020d)



Kuva 8. Sandwich-seinäelementin diagonaaliinsaait (Peikko 2021)

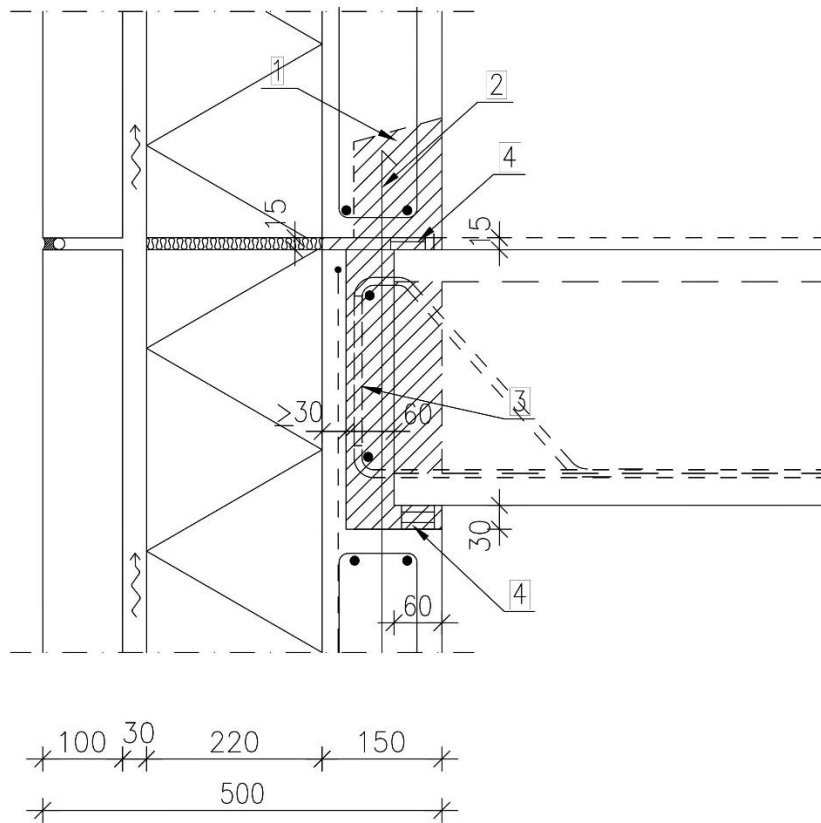
Ontelolaatan ja kantavan sandwich-elementin vakioliitoksessa sisäkuorielementti on 150 mm paksu massiivibetonielementti kuvan 9 mukaisesti. Kuvat 9 ja 10 on itse piirretty ottaen vaikutteita elementtisuunnittelu.fi – sivustolta (Betoniteollisuus Ry 2013a), sekä betonielementtidetaljeista (Turunen, M). Välipohjassa yleisimmät laattaratkaisut ovat joko O37 ontelolaatta, jossa pelkkä tasoite tai O32 laatta, jonka päällä kelluva lattia. Kuvan 9 detaljissa ontelolaatta on O37, jolloin sen paksuus on 370 mm. Laatan päälle tuleva tasoite on tässä tilanteessa 25 mm, mutta sen paksuus vaihtelee yleisesti 15–25 mm välillä. Laatan päälle jätetään vara esimerkiksi parketille tai muulle pintaratkaisulle valmistajan ohjeiden mukaan. Vaihtoehtoisessa rakenteessa O32 laatan päälle valitaan erityisesti askelääntä vaimentava eristelevy, jonka paksuus on esimerkiksi 30 mm. Eristeen päälle tulee vielä tasoite, jonka paksuus on esimerkiksi 40 mm. O32 laatan valintaan vaikuttaa usein lattialämmitysratkaisu. Yläpohjarakenteessa käytetään yleisesti O27 ontelolaattaa, jonka korkeus on 265 mm. (Betoniteollisuus Ry 2013a)

Liitoksessa ontelolaatan vähimmäistukipituus on 60 mm. Laatan tukipituus tulee kuitenkin tarkastella tapauskohtaisesti, laatan valmistajan ohjeiden mukaan. Ontelolaatan pää valetaan umpeen tukipituuden matkalta. Valu tehdään ylemmän seinäelementin alareunassa olevasta varauskolosta. Sisäiset siteet eli saumateräkset kulkevat ontelolaattojen saumoissa pitkittäin ja ne kiinnitetään liitoksen juotosvaluun kuvan osoittamalla tavalla, teräs on yleensä 2-osainen koukku. Laataston ympäri kiertävät rengasteräkset sijoitetaan saumaterästen sisäpuolelle, mikä sitkeyttää ja tukevoittaa rakennetta. Liitostapit viedään sisäkuorielementistä seuraavaan. Kuvan tapauksessa tapit ovat T16 teräksiä $k = 1200$ mm jaolla, mutta nämä raudoitukset tulee aina laskea liitoksen mukaan. Seinäelementtien väliin (kuvassa numero 10) tulee mineraalivilla- ja tuuletuskaista. Kuvassa numero 9 on elastinen saumaussmassa, jossa on mahdollinen tuuletus sisäkuoren ja eristeen väliin, seinäelementin rakenteesta riippuen. (Betoniteollisuus Ry 2013a)



Kuva 9. Ontelolaatan ja kantavan Sandwich-elementin vakioliitos (DO511) (Betoniteollisuus Ry 2013a)

Ontelolaatan ja kantavan sisäkuorielementin vakioliitos (eli eriytetty rakenne) on pohjimmiltaan melko samankaltainen kuin aiemmin käsitelty sandwich-elementin liitos ontelolaataan. Mallirauhoituksissa sisäiset siteet eli saumateräkset viedään vastaavalla tavalla 2-osaisena koukkuna takaisin laatan alareunaan, kuin sandwich-elementissäkin. Saumateräkset on merkattu kuvaan numerolla 3. Vakioliitoksen ontelolaatta on O32 laatta, jonka paksuus on 320 mm, mutta välipohjana tilanteessa voisi olla myös O37 ontelolaatta. Pintaratkaisut eivät muutu seinäratkaisun muuttuessa, myös liitostapit ja rengasteräkset ovat vastaavanlaisia. Huomionarvoista on alemman sisäkuorielementin yläreunan muoto, jossa betonikaistale nostetaan laatan yläreunan tasalle kuten kuvassa 11, tämä on niin kutsuttu ”valustoppi”. Eristeen ja ulkokuoren välissä on myös tuuletus. (Betoniteollisuus Ry 2013b)



Kuva 10. Ontelolaatan ja kantavan sisäkuorielementin vakioliitos (Betoniteollisuus Ry 2013b)

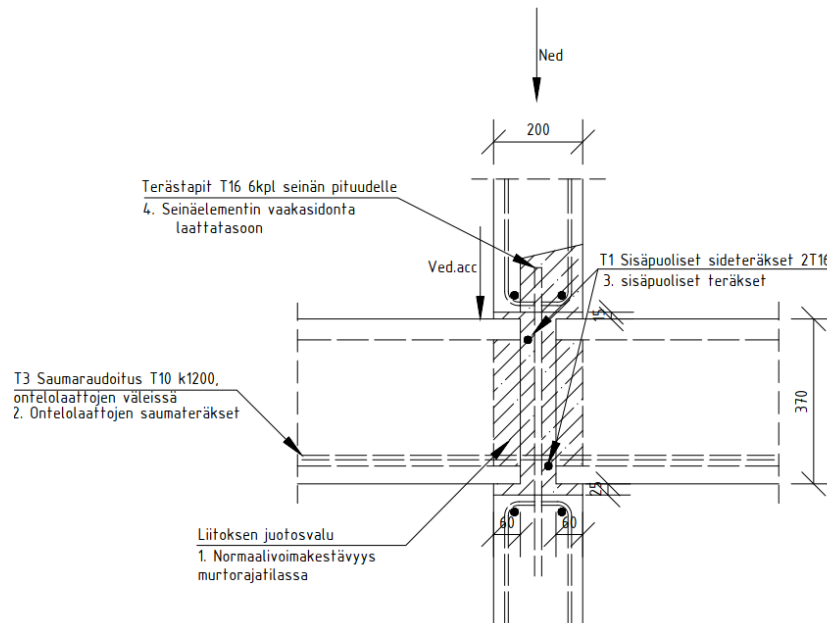


Kuva 11. Erilaisia massiivibetonisia sisäkuorielementtejä.

4.2 Liitokset kantavaan väliseinään

Kantavan ja jäykistävän seinän minimipaksuudeksi suositellaan 180 mm, mutta nykyään joudutaan käyttämään 200 mm rakennepaksuutta akustisista syistä, kuten kuvan 12 liitoksessa. (Betoniteollisuus Ry 2020e). Kantavien väliseinien rakenne on samankaltainen kuin ulkoseinien sisäkuorielementeissä. Seinät kiinnitetään toisiinsa ja liitokseen terästapeilla, jotka ulottuvat seinältä toiselle kuvan mukaisesti. Liitos juotetaan yhteen ylempään seinäelementin alareunan varauskolosta. Juotosvalu ulottuu ontelolaattoihin

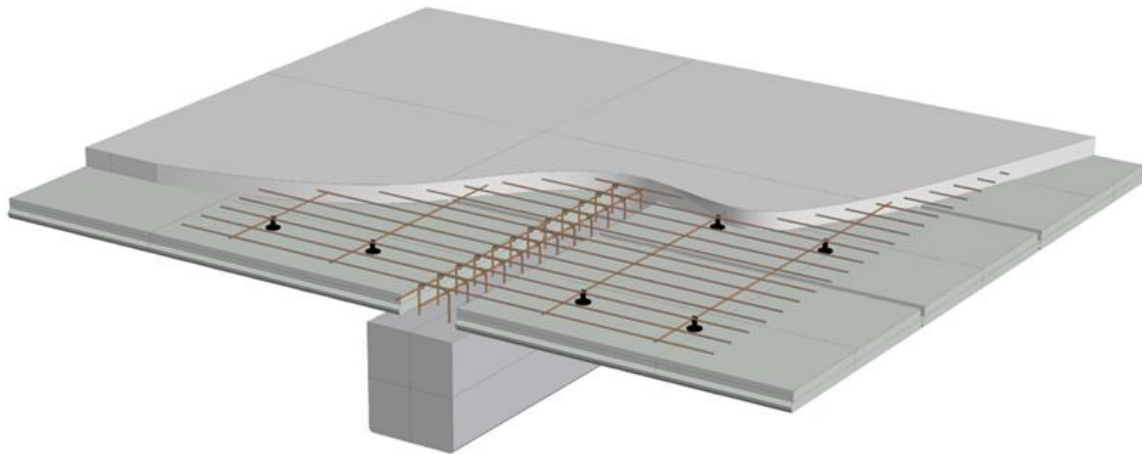
vähintään seinän paksuudelle. Sisäiset siteet eli saumateräkset kulkevat laatastolta toiselle poikittain ontelolaattojen saumoissa sekä liitosta pitkin kuvan 12 mukaisesti. Tämä kuva on itse piirretty käyttäen pohjana Elementtisuunnitelu.fi-sivuston DO501 liitosta (Betoniteollisuus Ry 2013a). Liitoksen kestävyys tulee aina tarkastella erillisillä laskelmissa, liitteenä esimerkkilaskelmat ontelolaatan ja kantavan väliseinän vakioliitoksesta.



Kuva 12. Ontelolaatan ja kantavan väliseinän vakioliitos (DO501)

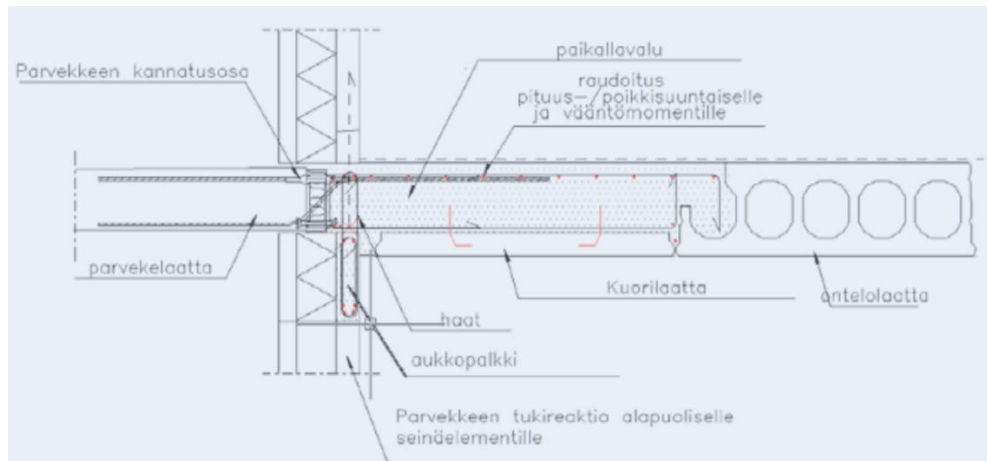
5. KUORILAATTOJEN LIITOKSET

Kuorilaatta on massiivibetonista valmistettu umpilaattaelementti. Se on ohut, esijännitetty laatta, joka toimii muottina paikallavalettavalle betonille. Kuorilaatta toimii pääraudoituksen sisältävänä liittorakenteena yhdessä päälle valettavan betonin kanssa kuten kuvassa 13. Työsauman yhteistoiminta varmistetaan tarvittaessa elementtiin sijoitettavilla ansailla. Laatan pituussuuntaiset jänneteräkset suunnitellaan siten, ettei erillisiä pääraudoituksen pääkantosuunnan teräksiä tarvita. Kuorilaatan vakioleveys on 1200 mm ja sillä päästään noin 10 metrin jänneväleihin. (Betoniteollisuus Ry 2020g) Poikkeileikkauksen paksuudet ovat 100, 120 ja 150 mm. Asuinrakennuksissa yleisin paksuus on 100 mm. Päälle valettavan pintalaatan paksuus vaihtelee 100 ja 200 mm välillä. (Betoniteollisuus Ry 2020h)



Kuva 13. Havainnollistava kuva kuorilaattarakenteesta (Betoniteollisuus Ry 2020h)

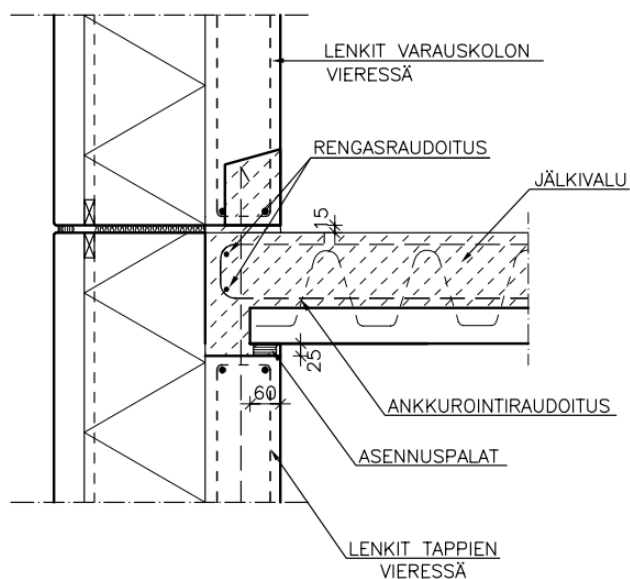
Asuntorakentamisessa kuorilaattoja on mahdollista käyttää koko välipohjan alueella tai osana muuta laatastoa. Kun kuorilaattaa käytetään koko välipohjan alueella, joudutaan talotekniikka asentamaan laatan pintavaluun. Kuorilaattoja käytetään asuinkerrostoissa pääasiassa vain jäykistykseen osana muuta laatastoa tai ulokeparvekesovelluksissa. Usein käyttöön vaikuttaa se, ettei haluta muotittaa paikallavaluholvia. Ulokeparvekkeen vaatima raudoitus saadaan ankkuroitua pintavaluun kuten kuvassa 14. (Parma 2016)



Kuva 14. Ulokeparvekkeen ankkurointi kuorilaatan avulla ontelolaatasta. (Parma 2016 s. 3)

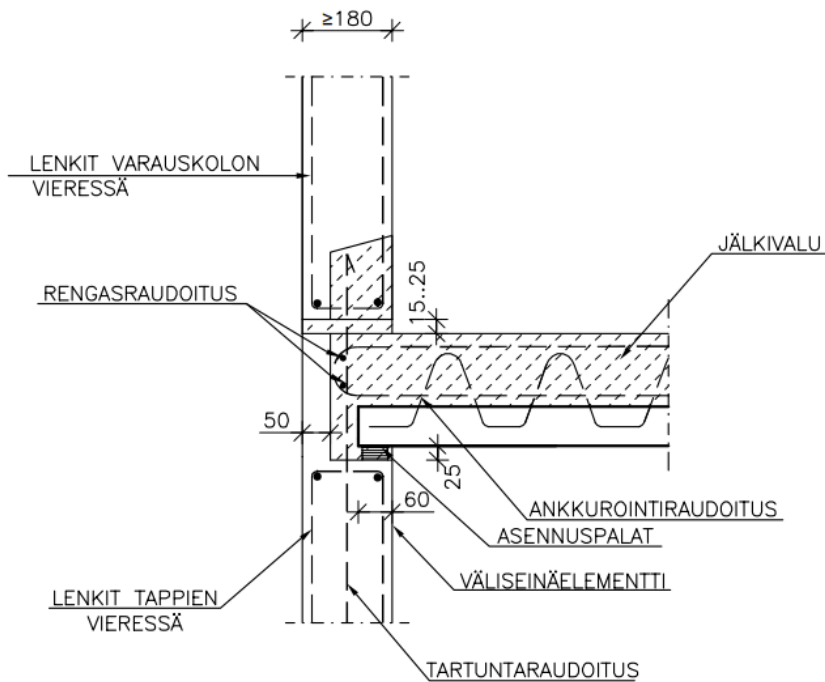
5.1 Liitokset kantavaan ulkoseinään

Kuorilaatan liitos kantavaan sandwich-elementtiin on hyvin samankaltainen kuin ontelolaatan ja kantavan Sandwich-elementin vakioliitos (DO511). Rengasraudoitus sijoitetaan vastaavasti lähelle laatan ulkoreunaa ja liitostapit viedään sisäkuorielementiltä toiselle, kuten kuvassa 15. Sandwich-seinäelementti on vastaava kuin ontelolaatan liitoksessa. Liitoksen juotosvalu voidaan tehdä samaan aikaan laatan jälkivalun kanssa. Erillistä saumaraudoitusta ei pääkantosuuntaan tarvita, mutta liitoksen läheisyyteen tulee sijoittaa ankkurointiraudoitus kuvan mukaisesti. Laatan tukipituudet tulee varmistaa laatan valmistajalta. (Betoniteollisuus Ry 2013a)



Kuva 15. Kuorilaatan ja kantavan sandwich-elementin liitos (DKL503) (Betoniteollisuus Ry 2013a)

Kuorilaatan ja kantavan sisäkuorielementin liitoksesta ei löydy vakioliitosta ainakaan elementtisuunnittelu-sivustolta, mutta teoriassa liitos on hyvin samankaltainen kuin kuorilaatan ja kantavan väliseinäelementin liitos päättyvässä kentässä, kuten kuvassa 16. Massiivibetoniseen sisäkuorielementtiin tulisi siis vielä eriste ja ulkoverhous, kuten vastaavassa ontelolaatan tapauksessa kuvassa 10. Ulko- ja sisäkuoren väliin ei tule ansaita ja tukena toimivan seinäelementin yläreunan laita on nostettu, kuten jo ontelolaatan tilanteessa on mainittu. Muutoin liitos on hyvin samankaltainen kuin sandwich-elementin liitos kuorilaattaan. (Betoniteollisuus Ry 2013a)

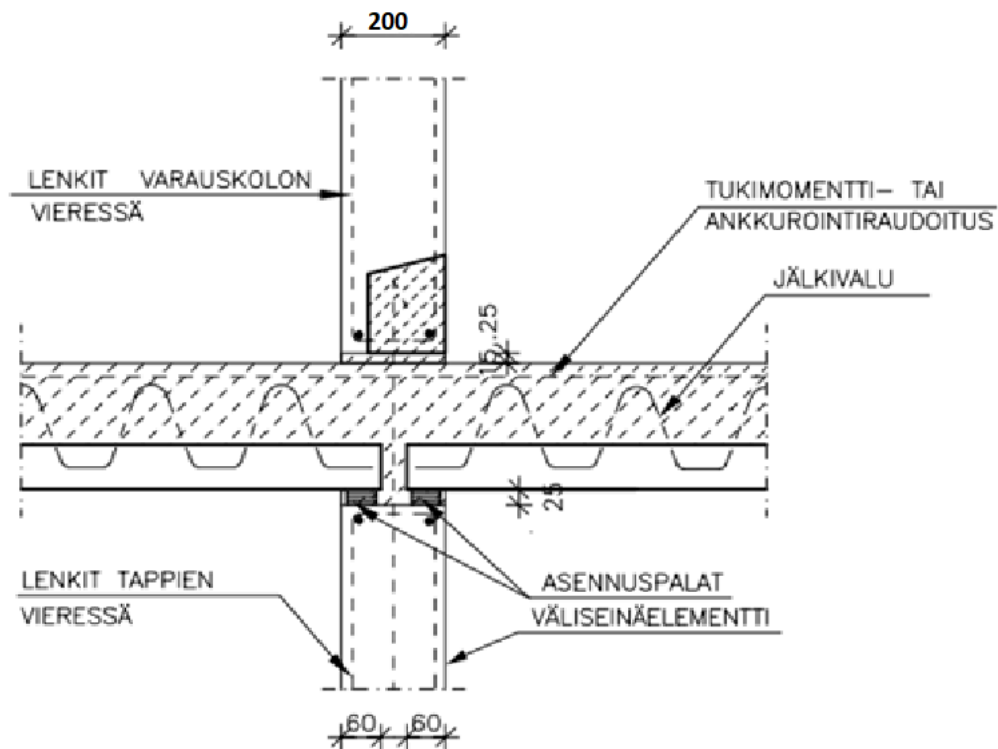


Kuva 16. Kuorilaatan ja kantavan väliseinäelementin vakioliitos (DKL502) (Betoniteollisuus Ry 2013a)

5.2 Liitokset kantavaan väliseinään

Kuorilaatan liitos kantavaan väliseinään jatkuvassa kentässä on hyvin samankaltainen kuin liitos ulkoseinään. Väliseinäelementtien kiinnittyminen liitokseen ja toisiinsa varmistetaan liitostapeilla, jotka juotetaan betonivalulla kokonaisuudeksi, kuten kuvassa 17. Tässäkään tapauksessa kuorilaatta ei vaadi erillisiä saumaraudoituksia. Liitoksen läheisyyteen laatan yläpintaan lisätään ankkurointiraudoitus, joka jakaa tukimomenttia. (Betoniteollisuus Ry 2013a) Ankkurointiraudoitus vaatii myös poikkileikkaukselta riittävän

korkeuden toimiakseen oikein. Raudoituksille on myös taattava rasisuusluokkien mukainen betonipeite. Yläpinnan ankkurointi- tai tukimomenttiraudoitusta voidaan hyödyntää myös onnettomuustilanteen raudoituksena. (Parma 2016)



Kuva 17. Kuorilaatan ja kantavan väliseinäelementin vakioliitos (DKL501) (Betonteollisuus Ry 2013a)

6. MUITA LIITOKSIA

Yhdistetty runkorakenne, jossa seinärakenteet pystytetään elementeistä, mutta laattarakenne tehdään paikallavalettuna, on yleisesti käytetty. Paikallavaletun laatan etuna on erilaisten käyttötarkoitusten ja tilanteiden huomioon ottaminen. Samaan rakenteeseen voidaan sijoittaa vaikkapa asuntoja ja toimitiloja helpommin. Laattaan voidaan myös lisätä raudoitusta, laattapaksuutta tai palkkikaistoja kuormituksen niin vaatiessa, joten sillä voidaan toteuttaa haastaviakin rakenteita. (RT 82-10814 2004, s. 2)

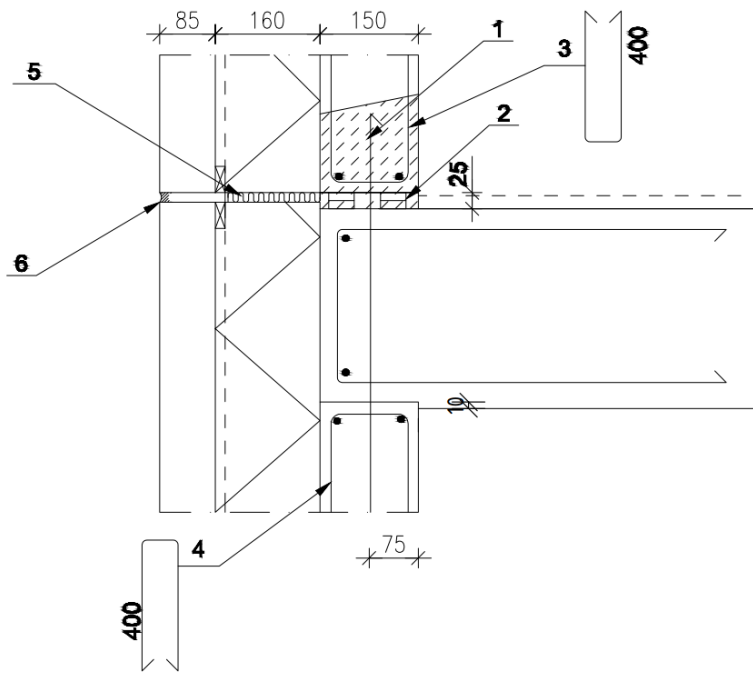
Kantavat seinät–laatat-runkojärjestelmässä on paljon kantavia liitoksia ja esitellyille liitoksille on myös olemassa vaihtoehtoisia ratkaisuja. Toisaalta on myös paljon ei-kantavia liitoksia, jotka toimivat jäykistävinä liitoksina. Massiivisten seinäelementtien välinen pystysaumaliitos on hyvin yleinen liitos, joka voi toimia sekä jäykistäväenä, että kantavana liitoksena. (Betoniteollisuus Ry 2013b)

6.1 Paikallavaletun laatan liitokset

Paikallavaletun laatan ja kantavan sandwich-elementin malliliitoksessa sisäkuorielementti on taas 150 mm paksu massiivibetonielementti, kuten kuvassa 18. Massiivilaatta on tässä kuvassa 300 mm paksu, mutta sen paksuus vaihtelee asuinkerrostaloissa yleensä 260–280 mm välillä. Sisäkuorielementtien kiinnitys toisiinsa ja liitokseen tapahtuu vastaavilla tapeilla kuin muissakin liitoksissa. Tässä tilanteessa tapit ovat T16 raudoitteita. Huomionarvoista 10 mm upotus laatan alareunassa verrattuna sisäkuoreen. (Turunen, M)

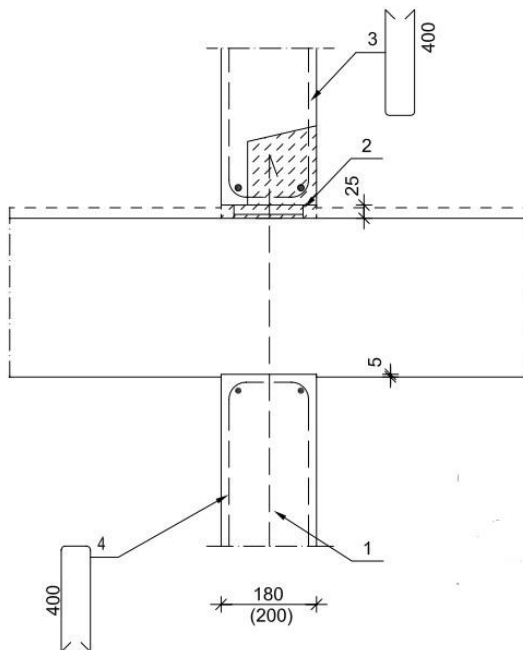
Paikallavalettu väli- tai yläpohjalaatta voidaan toteuttaa jännittämättömänä tai jännitettyinä rakenteena, mutta jännitetyt rakenteet ovat harvinaisia asuinkerrostaloissa kustannussyistä. Jännittämättömän laatan jänneväli joudutaan usein rajaamaan noin kahdeksaan metriin, mutta tähän vaikuttaa esimerkiksi se, onko laatta yhteen suuntaan vai ristiin kantava. Laataston paksuutta joudutaan usein kasvattamaan asuinkerrostaloissa ääneristysvaatimusten vuoksi. (RT 82-10814 2004, s. 2,7)

Onnettomuustilanteen raudoitteet, eli rengas ja sisäiset siteet on merkattu yleiseen tyyliin paikallavalettuun laattaan kuvaan 18. Paikallavaletun laatan raudoitukset suunnitellaan aina tapauskohtaisesti muun muassa kuorman ja raudoituksen mukaan, jolloin mallikuvat ovat yleisiä perustapauksia. Paikallavalettavissa laatoissa voidaan onnettomuustilanteen raudoituksessa hyödyntää muita laattaan sijoitettuja raudoituksia, aivan kuten laattaelementeissäkin. (Turunen, M)



Kuva 18. Paikallavaletun massiivilaatan ja kantavan sandwich-elementin liitos, muokattu (Turunen, M)

Paikallavaletun massiivilaatan liitos kantavaan väliseinäelementtiin sisältää samoja huomioita kuin ulkoseinäänkin. Liitos kuvassa 19. Seinältä toiselle kulkeva liitostappi toimii vastaavalla tavalla, kuin muissakin liitoksissa. Tässä malliliitoksessa on 5 mm upotus laatan alareunassa. Laatan sisäisiä onnettomuustilanteen siteitä ei ole merkattu tähän kuvaan laisinkaan. (Turunen, M)



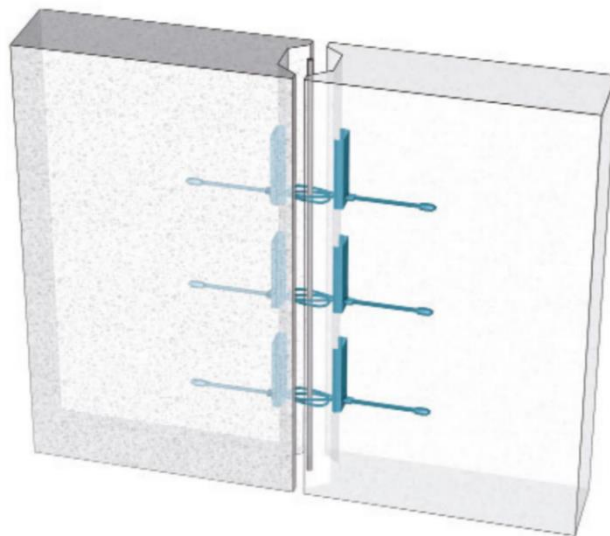
Kuva 19. Paikallavaletun massiivilaatan ja kantavan väliseinäelementin liitos (Turunen, M)

6.2 Seinäelementtien pystysaumaliitokset

Asuinkerrostalossa seinäelementtejä käytetään ulkoseinien sisäkuoressa, väliseininä ja kellarin maanpaineseininä. Yleensä seinät ovat puristettuja rakenteita, mutta esimerkiksi jäykistävillä seinillä voi olla vaakasuuntaisia rasituksia. Seinäelementit voidaan toteuttaa raudoitettuna tai raudoittamattomana rakenteena. Raudoittamattomiin elementteihin lisätään vain seinän suuntaiset pieliraudoitukset. Asuinrakennuksessa seinät pyritään mitoittamaan usein raudoittamattomiksi, koska niille tulevat kuormitukset ovat kohtuullisen pieniä, mutta tämä onnistuu yleensä vain väliseinissä. (Betoniteollisuus Ry 2020i)

Raudoittamattomien kantavien ja jäykistävien väliseinien suositeltava minimipaksuus on 180 mm. Usein asuinrakennuksissa nämä väliseinät ovat kuitenkin huoneistojen välisiä seiniä, joille suositellaan 200 mm minimipaksuutta. Huoneistojen välisissä seinissä ääneneristys on hyvin olennaista ja usein mitoittavaa. Ulkoseinien sisäkuorielementtien suositeltava minimipaksuus on yleisesti 150 mm. (Betoniteollisuus 2020e)

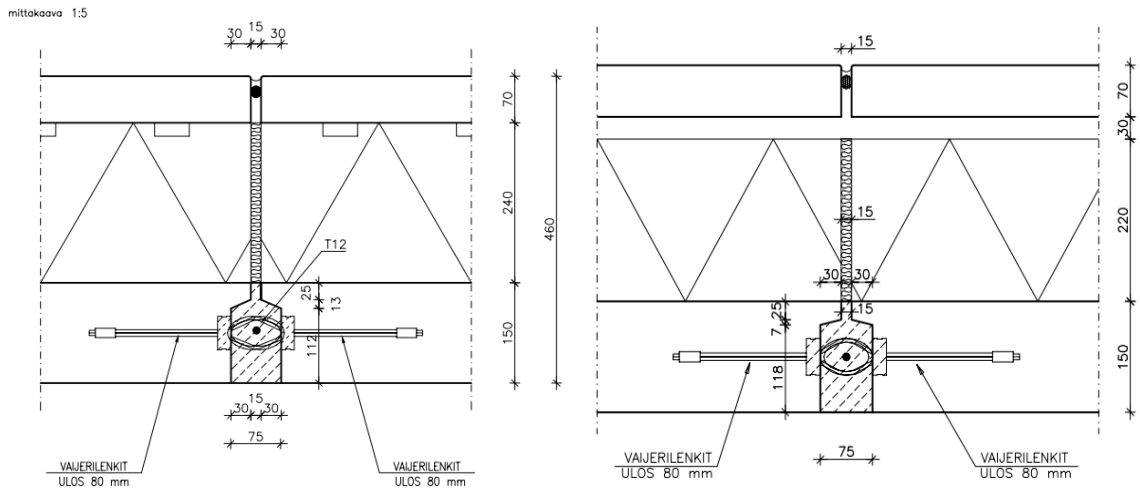
Seinäelementtien välisissä pystysaumaliitoksissa käytetään usein sinkitystä teräsvaijerista ja sinkitystä peltikotelosta koostuvaa vaarnalengkkiä. Vaarnalengkkiä läpi liitoksen pystysuunnassa viedään terästanko, kuten kuvassa 20. Liitos voidaan pystysauma betonoida tai juotosvalaa. Lenkit voidaan asentaa samaan tasoon molemmin puolin liitosta vaijerin joustavuuden ansiosta. (Romo, I)



Kuva 20. Seinien vaarnalengkki-liitosta havainnollistava kuva (Peikko 2019a)

Kantavien sandwich-ulkoseinäelementtien ja kantavien sisäkuorielementtien pystysaumaliitos toteutetaan yleisesti toisiaan vastaavalla tavalla, kuten kuvassa 21. Kyseessä on jo edellä alustettu vaarnatappiliitos. (Betoniteollisuus Ry 2013b) Liitoksella pystytään siirtämään pysty- ja poikittaissuuntaisia leikkaus- sekä vetovoimia. Vaijerilenkeillä luo-

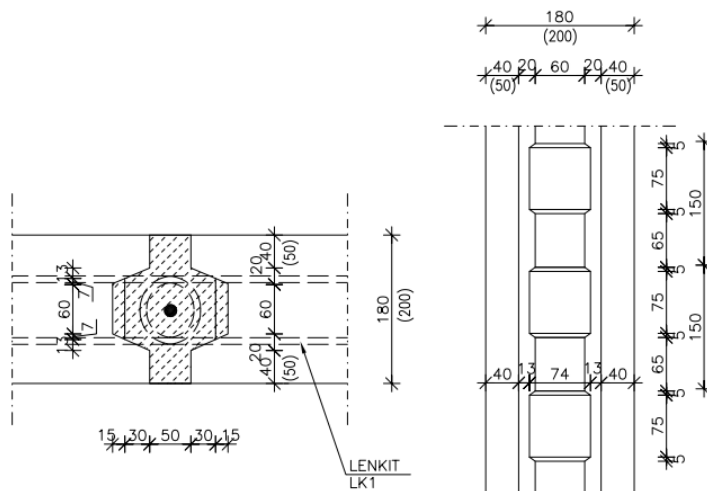
daan liitokseen vaarnapinta leikkausvoimien siirtämistä varten. Vaarnakotelot muodostavat tällöin puristus- ja vetosauvat, joilla voimat siirretään. Puristusvoima välitetään koteloihin juotetun betonivaarnan avulla ja vetovoima vaijerilenkkien avulla. (Peikko 2019a)



Kuva 21. *Kantavien sandwich-ulkoseinäelementtien pystysaumaliitos (DS501) vasemmalla ja kantavien sisäkuorielementtien liitos (DSK502) oikealla (Betoniteollisuus Ry 2013b).*

Kuvan 22 kantavien ja jäykistävien väliseinien pystysaumaliitos on toteutettu hieman vanhanaikaisilla pyöröteräslenkeillä. Näillä lenkeillä saavutetaan jopa parempi kestävyys kuin vaarnalenkeillä, mutta ne vaikeuttavat elementtien paikalleen asentamista, koska jäykästä teräksestä valmistetut lenkit eivät jousta asennustilanteessa. (Romo, I)

Tästä syystä pyöröteräslenkit tulee myös asentaa limittäin liitokseen pituussuuntaan nähden. Kyseinen liitos on suunniteltu pystyvalettavaksi, mutta myös pystysaumapumpusta varten löytyy vastaava detajli, erona lähinnä valettavan liitoksen muoto. (Betoniteollisuus Ry 2013b).

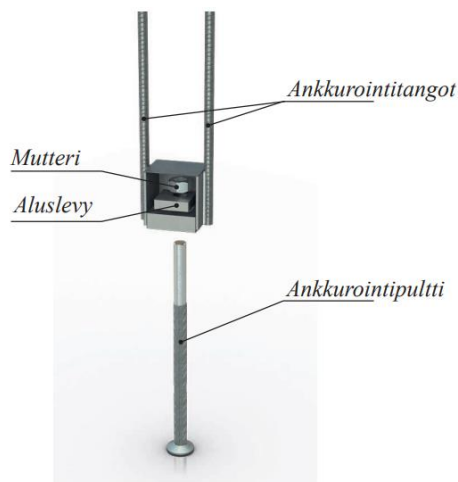


Kuva 22. *Kantavien ja jäykistävien väliseinien pystysaumaliitos (DV503) (Betoniteollisuus Ry 2013b).*

Jos vaarnalengkien läpi menevää harjaterästä hyödynnetään onnettomuustilanteen pystysiteenä ja päällekkäisten seinäelementtien saumat ovat samassa linjassa, voidaan alemman seinän harjaterästä jatkaa tartuntapituuden verran ylöspäin, jotta kuorma siirtyy harjateräkseltä toiselle. Jos pystysaumassa ei ole tarpeeksi tilaa limittäisille harjateräksille, niin harjateräksiä voidaan jatkaa erilaisilla raudoitusjatkoksilla. Yksi tällainen tuote on Peikko Groupin kehittänyt MODIX-raudoitusjatkos. Jatkoksessa molempien tankojen päihin puristetaan kierremuhvit terästen liitosta varten. (Peikko 2019b) Tällä menetelmällä voidaan toteuttaa pystysiteet perustuksilta yläpohjalle saakka. Jos seinäelementtien saumat eivät ole samassa linjassa joudutaan hyödyntämään elementin sisäisiä rautoja ja elementtien liitoksissa esimerkiksi seinäkenkiä. Näistä lisää luvussa 6.3 seinäkengät.

6.3 Seinäelementtien vaakasaumaliitokset

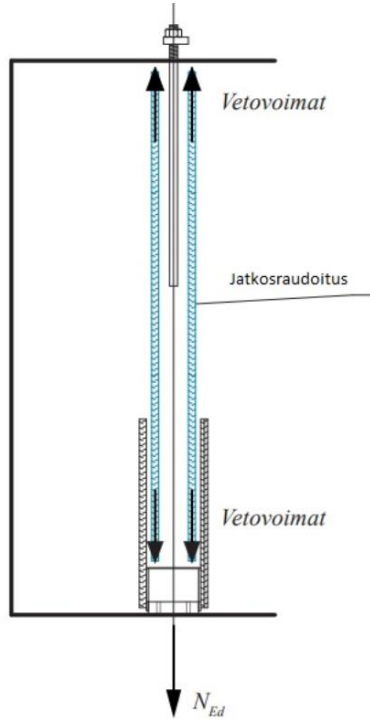
Seinäelementtien välinen vaakasaumaliitos voidaan toteuttaa seinäkenkäliitoksella. Tämä liitos koostuu seinän alareunaan tehtaalla valetusta seinäkengästä ja yläreunaan valetusta ankkurointipultista. Työmaalla ankkurointipultti kiinnitetään seinäkenkään aluslevyn ja mutterin avulla. Lopuksi liitoksen kotelot ja sauma seinän alapuolella juotetaan yhteen juotosmassalla. Peikko Groupin lanseeraamat SUMO-seinäkengät ja HPM-harjateräspultit ovat yksi malliratkaisu seinäkenkäliitokseen, nämä tuotteet kuvassa 23. (Peikko 2020)



Kuva 23. Seinäkenkä ja ankkurointipultti (Peikko 2020)

Rakenteellisesti seinäkenkäliitokset suunnitellaan aina siirtämään vetovoimia, joita betonielementit eivät kykene siirtämään tehokkaasti. Seinäelementit ja niiden välinen juotosbetoni siirtävät puristusrasitukset. Vetovoimat siirretään alareunan seinäkengistä tartunnan avulla elementin sisäiseen jatkosraudoitukseen. Raudoitus välittää voiman eteen-

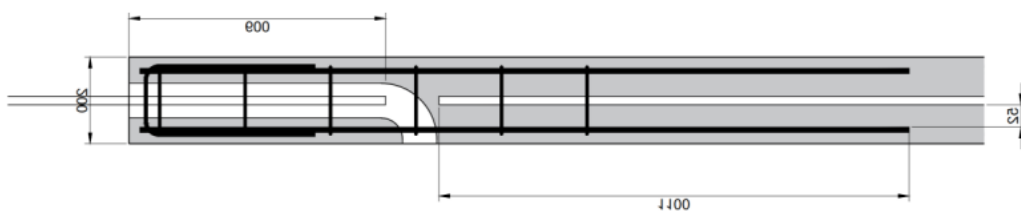
päin elementin yläreunan ankkurointipultille. Peikon SUMO-seinäkenkien suunnitteluohjeen mukaan jatkosraudoituksen limitysalueelle on asennettava poikittaisraudoitus molemmille puolille limitystä. Poikittaisraudoituksessa käytetään verkkoraudoitusta. Elementin sisäistä toimintaa havainnollistettu kuvassa 24. (Peikko 2020)



Kuva 24. Seinäkenkäliitos, elementin sisäinen rakenne. (Peikko 2020)

Seinäkenkäliitos voidaan myös korvata esimerkiksi Parman lanseeraamalla Spiralojuotosputkella. Valitettavasti Parma Oy ei julkisesti jaa suunnitteluohjeita ja mallikuvia kyseisestä tuotteesta, joten viitataan lyhyesti Tomi Rantasen (2020) kandidaatintyöhön, joka on tehty yhteistyössä Parma Oy:n kanssa. Aiheesta tarkemmin hänen työssään. (Rantanen, T 2020)

Spiralo-juotosputki raudoitetaan pystysuuntaisilla harjateräksillä ja niitä kiertävillä poikittaisilla hakaraudoituksilla seinäelementtiin. Liitos seinän yläreunasta seuraavan elementin alareunaan toteutetaan esimerkiksi T20 harjateräksellä, jonka yläreuna ulottuu seuraavaan Spiralo-juotosputkeen. Työmaalla juotosputki valetaan yhteen alemman seinän harjateräksen kanssa, kuten kuvassa 25. (Rantanen, T 2020)



Kuva 25. Spiralo-juotosputken seinäliitos. (Rantanen, T 2020)

7. YHTEENVETO

Betonirunkoisten asuinkerrostalojen yleisin runkoratkaisu on kantavat seinät–laatat-runkojärjestelmä. Pistetaloissa kantavat seinät voivat olla pelkästään ulkoseiniä. Myös yhteensovitettut runkojärjestelmät ovat yleisiä varsinkin kaupunkien keskusta-alueilla. Rakennuksen jäykistys tarkoittaa rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien siirtämistä perustuksille. Vaakakuormia ovat esimerkiksi tuulikuormat.

Suomessa CC2b-seuraamusluokan asuinkerrostalon yleisimmät väli- ala- ja yläpohjaratkaisut ovat ontelolaatta, kuorilaatta ja massiivibetoninen paikallavalulaatta. Ulkoseinäelementit toteutetaan yleensä joko sisäkuorielementteinä, joihin liitetään ulkoverhous tai kokonaisina sandwich-elementteinä. Väliseinäelementit toteutetaan massiivibetonisina elementtirakenteina. Seinäelementit pyritään toteuttamaan asuinkerrostaloissa raudoittamattomina, usein tämä onnistuu vain väliseinäelementeissä.

Esitellyt vaakaliitokset ovat juotosliitoksia, jotka valetaan kokonaisuudeksi seinän vaaruskolosta. Liitoksen voimien siirtämiseksi ja sitkeyden varmistamiseksi liitoksissa käytetään terästankoja, kuten alemmalta seinäelementiltä liitoksen läpi ylempään seinäelementin alareunaan kulkevat terästapit. Elementtien pystysaumaliitoksissa käytetään yleisesti vaarnalanki liitoksia, joissa teräsvaijerilenkit tai pyöröteräkset siirtävät vedon ja juotosbetonin muodostama betonivaarna puristuksen. Seinäelementtien pystysaumaliitoksissa käytetään joko seinäkenkiä ja ankkurointipultteja tai Parma Oy:n lanseeraamaa Spiralo-juotosputkea.

Liitoksien mitoituksessa tulee erityisesti huomioida onnettomuustilanteen mitoitus perinteisen murto- ja käyttörajatilamitoituksen lisäksi. Vaakarakenteiden olennaisimmat siteet ovat laatastoja kiertävät rengassiteet ja laattojen välissä kulkevat sisäiset siteet. Pystyrakenteisiin sijoitetaan pystysiteet, jolle vaakarakenteiden kuormat siirretään liitoksen välityksellä. Nämä onnettomuustilanteiden siteet esiintyvät käytännössä kaikissa työssä esitellyissä vaakaliitoksissa.

LÄHTEET

Anstar (2021). Anstar Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2021): <http://www.anstar.fi/tuotteet/ansaat/>

Betoniteollisuus Ry (2020a). Elementtisuunnittelu.fi, valmisosarakentaminen. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.2.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/talonrakentaminen>

Betoniteollisuus Ry (2020b). Elementtisuunnittelu.fi, rakennejärjestelmät. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.2.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/asuinrakennukset>

Betoniteollisuus Ry (2020c). Elementtisuunnittelu.fi, Liitostyypit. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/liitosten-toiminta/liitostyypit>

Betoniteollisuus Ry (2020d). Elementtisuunnittelu.fi, Julkisivuelementtien suunnittelu. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/julkisivuelementtien-suunnittelu>

Betoniteollisuus Ry (2020e). Elementtisuunnittelu.fi, Seinien mittasuositus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/seinat/seinien-mittasuositus>

Betoniteollisuus Ry (2020f). Elementtisuunnittelu.fi, Ontelolaatat. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>

Betoniteollisuus Ry (2020g). Elementtisuunnittelu.fi, Kuorilaatat. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/kuorilaatat>

Betoniteollisuus Ry (2020h). Elementtisuunnittelu.fi, Liittorakenteet. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/liittorakenteet>

Betoniteollisuus Ry (2020i). Elementtisuunnittelu.fi, Runkorakenteet. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.4.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet>

Betoniteollisuus Ry (2020j). Elementtisuunnittelu.fi, Massiivilaatat. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.4.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/massiivilaatat>

Betoniteollisuus Ry (2013a). Elementtisuunnittelu.fi, runkoliitokset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/runkoliitokset>

Betoniteollisuus Ry (2013b). Elementtisuunnittelu.fi, Seinäliitokset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/seinaliitokset>

BY23EC (2012). Liitosten suunnittelu ja mitoitus onnettomuuskuormille Standardin SFS-EN 1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Betoninormisto. Suomen betoniyhdistys. 59 s.

BY23EC (2019). Liitosten suunnittelu ja mitoitus onnettomuuskuormille Standardin SFS-EN 1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Betoninormisto. Suomen betoniyhdistys. 43 s.

Parma (2016). Parma Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.3.2021): https://parma.fi/userassets/uploads/documents/2018/06/parma_kuorilaataston_suunnitteluohje_2016.pdf

Peikko (2021). Peikko Finland Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2021): <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/pd-diagonaaliansas/photos-and-videos/>

Peikko (2020). Peikko Finland Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.5.2021): https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/LDa7Tw/7bl_q9vSge-sCfTyPMNDjg/SU-MOFI006TechnicalManual_Web.pdf

Peikko (2019a). Peikko Finland Oy. PVL-vaijerilenkki tekninen käyttöohje. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.4.2021): https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/p_Tvlw/vA88xO1mvRVFsBu7RRVo8Q/PVL-vaijerilenkkiFI8-2016.pdf

Peikko (2019b). Peikko Finland Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.5.2021): https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/PdWfXw/1WKgwGCuVYnZrk-GEG9VbwQ/MODIX-raudoitusjatkos_Tekninen_kyttohje_003.pdf

Rantanen, T. (2020) Jatkuvan sortuman huomioiminen kantavien väliseiniä pystysiteissä, Tampereen Yliopisto, kandidaatintyö, Tampere, 27 s.

Romo, I. Uudet elementtirakentamisen juotosliitokset ja -tekniikat. Suomen Betonitieto Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.4.2021): <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010303.pdf>

RT 82-10821 (2004). Betonielementtirunkorakenteet. Rakennustietosäätiö.

RT 82-10814 (2004). Paikallavaletut betonirunkorakenteet. Rakennustietosäätiö.

Turunen, M. Betonielementtidetailjit. Rakennustieto Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.4.2021): <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK060303.pdf>.

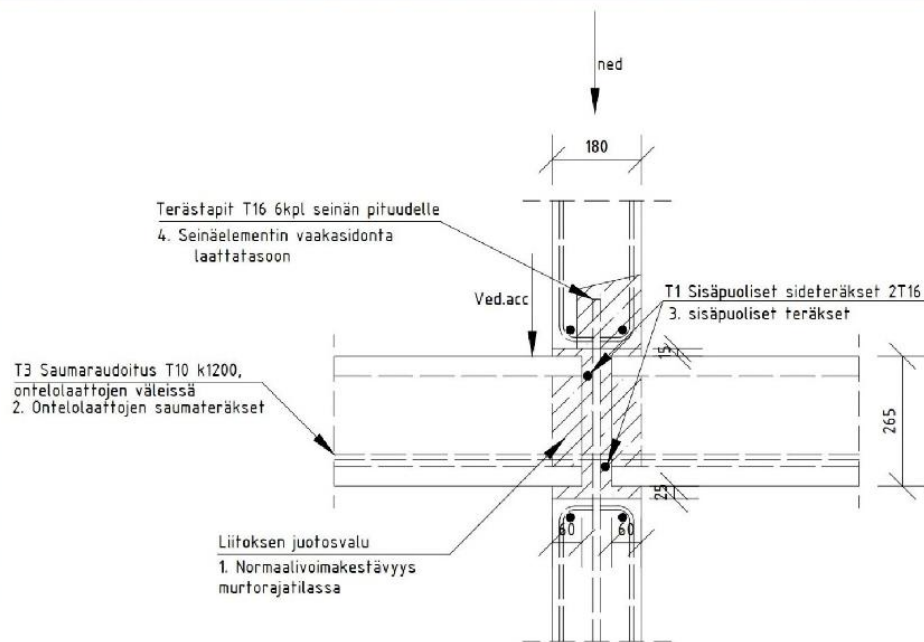
Ympäristöministeriö (2019). Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1-7: Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. 51 s

LIITE A: LASKENTAESIMERKKI VAKIOLIITOKSESTA DO501

Liite A: Laskentaesimerkki vakioliitoksesta DO501

Liitoksen lähtötiedot:

Liitoksen havainnollistava detaljikuva on itse piirretty käyttäen pohjana Elementtisuunnittelu.fi-sivuston DO501 liitosta.



$$b_{OL} := 1200 \text{ mm}$$

Laattakaistan leveys

$$L_{OL} := 7000 \text{ mm}$$

Ontelolaatan jänneväli

$$b_s := 180 \text{ mm}$$

Seinän paksuus

$$L_s := 7000 \text{ mm}$$

Seinän pituus

Tämä laskentaesimerkki perustuu Elementtisuunnittelu-sivustolta löytyvään DO501 liitoksen laskentaesimerkkiin. Käsiteltävä liitos kuuluu tavanomaiseen CC2b-luokan 8-kerroksiseen asuinkerrostaloon.

Tarkastellaan seuraavia asioita:

1. liitoksen normaalivoimakestävyys
2. liitoksen saumaraudotus
 - 2.1 elementin putoamisriskin hallinta onnettomuusrajatilassa
 - 2.2 jatkuvan sortuman estäminen (Betoninormikortti 23)
3. seinän suuntaisen sideraudotuksen mitoitus
4. terästappien mitoitus vaakasuuntaisille voimille

Kuormat:

$$g_{O27} := 3.8 \frac{kN}{m^2}$$

O27 ontelolaatta saumattuna

$$g_{pv} := 15 \text{ mm} \cdot 25 \frac{kN}{m^3} = 0.4 \frac{kN}{m^2}$$

15mm tasoite laataston päällä

$$g_s := 180 \text{ mm} \cdot 3 \text{ m} \cdot 25 \frac{kN}{m^3} = 14 \frac{kN}{m}$$

Seinäelementin paino

$$q_k := 2.5 \frac{kN}{m^2}$$

Hyötykuorma

Murtorajatila (EC:n mukaisesti):

Kuormitusyhdistelyt seuraamusluokassa 2:

$$p_{d1} := 1.15 \cdot \left[(g_{O27} + g_{pv}) \cdot L_{OL} + g_s \right] + 1.5 \cdot q_k \cdot L_{OL} = [75.4] \frac{kN}{m}$$

$$p_{d2} := 1.35 \cdot \left[(g_{O27} + g_{pv}) \cdot L_{OL} + g_s \right] = [57.7] \frac{kN}{m}$$

Mitoittava kuormitusyhdistelmä on p_{d1} , joten:

$$N_{ED} := p_{d1} = [75.4] \frac{kN}{m} \quad \text{seinän normaalivoiman mitoitusarvo metrin kaistalla}$$

Materiaalit ja lujuudet:

Juotosbetonina käytetään tavanomaista C25/30 betonia. Oletetaan että laatta- ja seinäelementtien lujuus on vähintään sama kuin juotosbetonilla, jolloin se tulee määrääväksi.

$$f_{ck} := 25 \text{ MPa} \quad \text{Betoin lieriölujuus}$$

$$f_{ctk.0.05} := 1.8 \text{ MPa} \quad \text{Betoin ominaisvetolujuus}$$

$$\alpha_{cc} := 0.85 \quad \text{EC:n määrittämät kertoimet}$$

$$\alpha_{ct} := 1$$

Käytetään tavanomaista raudoitusta A500HW, jolloin raudoituksen myötölujuus:

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

1. Liitoksen mitoitus murtorajatilassa

Normaalivoimakestävyys: (betoninormikortin 27 mukaan)

$$k := 0.5$$

$$\gamma_{c.liitos} := 1.8$$

juotosbetonin mitoitusleveys on sama kuin seinän paksuus

$$N_{RD} := k \cdot \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c.liitos}} \cdot b_s = (1.1 \cdot 10^3) \frac{kN}{m}$$

kahdeksankerroksinen rakennus, käyttöaste

$$\frac{N_{ED} \cdot 8}{N_{RD}} = [0.57] = 57\% \text{ OK}$$

Onnettomuusrajatilan kuormitusyhdistely (EC:n mukaisesti):

$$\psi_2 := 0.3 \quad \text{EC 1990 kohta 6.4.3.3}$$

Yhdistelmä:

$$p_d := g_{O27} + g_{pv} + \psi_2 \cdot q_k = 4.925 \frac{kN}{m^2}$$

Joten, ontelolaatastolta tuleva tukireaktio metrin kaistalle:

$$p_{d.acc} := p_d \cdot \frac{L_{OL}}{2} = 17.2 \frac{kN}{m}$$

Yhdeltä ontelolaatalta tuleva tukireaktio:

$$v_{Ed.acc} := p_{d.acc} \cdot b_{OL} = 20.7 \text{ kN}$$

Onnettomuusrajatilan lujuudet ja kertoimet:

$$\gamma_{c.acc} := 1.2 \quad \text{Betonin osavarmuuskerroin onnettomuusrajatilassa}$$

$$f_{ctd.acc} := \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_{c.acc}} = 1.5 \text{ MPa} \quad \text{Betonin vetolujuuden mitoitussarvo}$$

$$\gamma_{s.acc} := 1 \quad \text{raudoituksen osavarmuuskerroin}$$

$$f_{yd.acc} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{s.acc}} = 500 \text{ MPa} \quad \text{raudoituksen mitoituslujuus}$$

2. Ontelolaattojen saumateräkset:

Valitaan saumateräs:

$$\phi := 10 \text{ mm} \quad n_s := 1$$

$$A_s := n_s \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 79 \text{ mm}^2$$

$$F_{s,acc} := A_s \cdot f_{yd,acc} = 39.3 \text{ kN} \quad = \text{saumateräksen vetokestävyys onnettomuusrajatilassa}$$

Liitoksen mitoitus onnettomuusrajatilassa

2.1 Elementin putoamisen estäminen:

Mitoitetaan tukireaktiosta riippuvan vaakavoiman perusteella.

$$k := 0.4 \quad = \text{tukipintojen kitkavoimien suurin erotus.}$$

$$F_{d,acc} := \max(k \cdot v_{Ed,acc}, 30 \text{ kN}) = 30 \text{ kN} \quad = \text{mitoitettava ontelolaatan suuntainen voima}$$

Käyttöaste:

$$\frac{F_{d,acc}}{F_{s,acc}} = 0.76 \quad = 76\% \text{ OK}$$

2.2 Jatkuvan sortuman estäminen:

$$s_3 := b_{OL} = (1.2 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad \text{Saumaraudoitukset kulkevat laattojen väleissä}$$

$$T_3 := \min\left(20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot s_3, 150 \text{ kN}\right) = 24 \text{ kN}$$

$$\frac{T_3}{F_{s,acc}} = 0.61 \quad = 61\% \text{ OK}$$

Sideraudoituksen ankkurointi ontelolaattojen väliseen saumabetoniin tulee aina tarkastella. Se kuitenkin jätettiin pois laskennan yksinkertaistamiseksi.

3. Seinän suuntainen sisäpuolinen teräs.

Valitaan teräkseksi:

$$\phi := 16 \text{ mm} \quad n_s := 2 \quad A_s := n_s \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 402 \text{ mm}^2$$

$$F_{s,acc} := A_s \cdot f_{yd,acc} = 201.1 \text{ kN}$$

$$T_1 := \max\left(\min\left(20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \frac{L_{OL} + L_{OL}}{2}, 70 \text{ kN}\right), 150 \text{ kN}\right) = 150 \text{ kN}$$

Käyttöaste

$$\frac{T_1}{F_{s,acc}} = 0.75 \quad = 75\% \text{ OK}$$

4. Seinäelementin vaakasidonta laattatasoon

Valitaan $\gamma_{c,acc} := 1.2$ $\phi := 16 \text{ mm}$

Ylemmän sauman terästäpit mitoitetaan leikkaukselle sauman suunnassa ja seinää vastaan kohtisuorassa suunnassa.

Yhden tapin leikkauskestävyys onnettomuusrajatilassa:

$$v_{Rd} := \frac{1.2 \cdot \phi^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot f_{yk}}}{\gamma_{c,acc}} = 28.6 \text{ kN}$$

Sauman suunnassa ankkuroidaan sisäpuolisen siteen voima

$$L_{11} := L_s$$

$$T_{1,s} := T_1 \cdot \frac{L_s}{L_{11}} = 150 \text{ kN}$$

$$n_{sT} := \frac{T_1}{v_{Rd}} = 5.2$$

Seinää vastaan kohtisuora mitoittava vaakavoima. Koko vaakavoima otetaan vastaan seinän yläreunassa.

$$H := \min \left(20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot L_s, 150 \text{ kN} \right) = 140 \text{ kN}$$

$$n_{sH} := \frac{H}{v_{Rd}} = 4.9$$

$$n_s := \max(n_{sT}, n_{sH}) = 5.2$$

Valitaan tappiliitokseen $n_s := \text{ceil}(n_s) = 6$ $\phi = 16 \text{ mm}$

n_s tarkoittaa siis liitostappien vähimmäismäärää seinän pituuden matkalla.