

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2020

Aleksi Ylinen

# JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMINEN BETONIELEMENTTI- RAKENTAMISESSA PYSTYSIDONNALLA

  
**TURKU AMK**  
TURKU UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES

Aleksi Ylinen

# JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMINEN BETONIELEMENTTIRAKENTAMISESSA PYSTYSIDONNALLA

[Click here to enter text.](#)

Tavoitteena työssä on saada lukija ymmärtämään, mitä jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan ja mitä eri menetelmiä sen estämiseksi on olemassa. Työn tarkoituksena on myös tarjota tietoa, miten jatkuvan sortuman estämisen suunnittelun prosessi etenee, sekä tarjota apua pystysidonnan suunnittelua varten. Ensisijaisena menetelmänä tätä työtä tehdessä toimi kirjalliset lähteet sekä artikkelit jatkuvaan sortumaan liittyen.

Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan tilannetta, jossa paikallisesta vauriosta johtuen syntyy kohtuuttoman laajat vauriot. Jatkuvan sortuman estäminen liittyy rakenteiden vaurionsietokyvyn eli sitkeyden parantamiseen. Jatkuvan sortuman estämiseksi on olemassa erilaisia keinoja, joista yleisimmin käytetty on sidejärjestelmä. Tutkinta osiossa on esitetty yleisimpiä pystysidonnan ratkaisuja. Ratkaisut ovat oikeissa kohteissa käytettyjä, mutta esimerkkilaskut ovat teoreettisia eivätkä ole kytköksissä mihinkään kohteeseen. Esimerkkilaskut sopivat hyvin suunnittelun tueksi, pystyvoimia laskettaessa.

Rakennukset jaotellaan suunnittelussa eri seuraamusluokkiin, riippuen niihin kohdistuvien mahdollisten vaurioiden seurauksista. Prosessin suunnittelu eroaa eri seuraamusluokissa. Tässä työssä tarkastellaan CC2- ja CC3- luokkien prosessin eteneminen. Rakennuksen sisällä voidaan kuitenkin eri rakenneosat jaotella mahdollisesti samaan, korkeampaan tai matalampaan seuraamusluokkaan. Sidejärjestelmä on yleisimmin käytetty keino jatkuvan sortuman estämiseksi. Sidejärjestelmä koostuu vaaka ja pystysiteistä. Pystysiteiden tulee olla jatkuva alimmasta kerroksesta yläpohjan tasolle asti. Yleisimmin käytetyt pystysidonnat ovat seinäkengät, pilarikengät ja kierreputket. Vaakasiteet koostuvat rengasteräksistä ja sisäpuolisista siteistä. Tavoitteena sidejärjestelmällä on saavuttaa mahdollisimman monoliittinen rakennelma eri rakennusosien välille.

Työn tuloksena saatiin hyvä ja selkeä kokoelma asioista mitä jatkuvan sortuman estämiseen kuuluu, sekä vähän tarkemmin tarkasteltua pystysidontojen mitoitusta ja eri toteutusvaihtoehtoja. Jatkuvan sortuman estämisestä on vielä hyvin vähän kirjallisuutta, joten jatkuvan sortuman estämisen suunnittelussa joudutaan turvautumaan vain muutamiin lähteisiin. Hyviä lähteitä jatkuvaan sortumaan liittyen on RIL 201 -4-2017 sekä betoninormikortti 23. Työ on erityisesti tarkoitettu rakennusalan ammattilaisille, sekä suunnittelijoille.

ASIASANAT:

jatkuva sortuma, rakennesuunnittelu, pystysidonta, elementti, paikallinen vaurio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil and Construction Engineering

2020 | 35 pages

Aleksi Ylinen

# PREVENTION OF PROGRESSIVE COLLAPSE IN CONCRETE ELEMENT BUILDING WITH VERTICAL BINDINGS

[Click here to enter text.](#)

The aim of the work is to make the reader understand what is meant by progressive collapse and what different methods exist to prevent it. The purpose of the work is also to provide information on how the process of planning the prevention of progressive collapse progresses, as well as to provide assistance for the design of vertical binding. The primary method of doing this work was written sources as well as articles related to the progressive collapse.

Progressive collapse refers to a situation in which unreasonably extensive damage occurs due to local damage. Preventing progressive collapse is related to improving the damage resistance of structures. There are various means to prevent progressive collapse, the most commonly used method is the binding system. The most common vertical binding solutions are presented in the Investigation section. The solutions are used in actual projects, but the example calculations are theoretical and not linked to any project. The example calculations are well suited to support the design when calculating vertical forces.

Buildings are divided into different categories of sanctions in the design, depending on the consequences of possible damage to them. The design of the process differs in different sanction categories. In this work, the progress of the CC2 and CC3 class process is reviewed. However, within a building, different sections can be divided into the same, higher or lower sanction category. The binding system is the most commonly used method of preventing progressive collapse. The binding system consists of horizontal and vertical ties. The vertical ties must be continuous from the lowest layer to the level of the upper bottom. The most commonly used vertical bindings are wall shoes, column shoes and threaded pipes. Horizontal ties consist of outer steels and internal ties. The aim of the binding system is to achieve the most monolithic structure possible between the various building components.

The result of the work was a good and clear collection of issues related to the prevention of progressive collapse, as well as a slightly closer examination of the dimensioning of vertical bindings and different implementation options. There is still very little literature on the prevention of progressive collapse, so only a few sources can be used to plan for the prevention of progressive collapse. Good sources for progressive collapse are RIL 201 -4-2017 and concrete standard card 23. The work is especially intended for construction professionals and designers.

**KEYWORDS:**

Progressive collapse, structural planning, vertical binding, element, local damage

# SISÄLTÖ

<b>TERMIT</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 JATKUVA SORTUMA</b>	<b>8</b>
<b>3 JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMISEN SUUNNITTELU</b>	<b>10</b>
3.1 Seuraamusluokan valinta	10
3.2 Menettelytavat rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistamiseksi	12
3.3 Menettelytapojen valinta	13
3.4 Vaurionsietokyvyn hallinta	15
<b>4 MENETTELYTAVAT RAKENTEIDEN VAURIONSIE TOKYVYN PARANTAMISEKSI</b>	<b>17</b>
4.1 Sidejärjestelmä	17
4.1.1 Vaakasiteet	17
4.1.2 Pystysiteet	17
4.2 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit	18
4.3 Riskiarviointi	18
4.4 Avainasemassa oleva rakenneosa	19
4.5 Hyväksytyt vaurioalue	19
4.6 Muita keinoja vaurionsietokyvyn varmistamiseksi	19
<b>5 KANTAVIEN PYSTYRAKENTEIDEN SIDONTA</b>	<b>21</b>
5.1 Yleisimmin käytetyt pystysidontaratkaisut	21
5.2 Pystysiteiden mitoitus	27
<b>6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>33</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>35</b>

## TERMIT

avainasemassa oleva rakenneosa	kantava rakenneosa, josta koko muun rakenteen stabiilius riippuu
jatkuvan sortuman estäminen	suunnitteluprosessi siihen liittyvine toimenpiteineen, jolla pyritään pienentämään rakenteen sortumisriskejä
monoliittisuus	rakenteen ominaisuus jakaa paikallisia rasituksia mahdollisimman monien rakenneosien kesken perustuen joko rakenteen staattiseen määräämättömyyteen tai rakenneosien välisten liitosten sitkeyteen tai molempiin
onnettomuustilanne	mitoitustilanne, jolloin rakenne altistuu kuormille poikkeavalla tavalla, kuten tulipalossa, räjähdyksessä tai törmäyksessä, tai kun rakenteeseen syntyy poikkeuksellinen tilanne, kuten paikallinen vaurio
paikallinen vaurio	rakenteen osa, jonka oletetaan onnettomuustapauksessa sortuneen tai vaurioituneen pahasti
sitkeys	rakenneosan kyky kestää edelleen se kuormitus, joka on kertynyt siihen ennen paikallista vauriota
vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti	rakenteen kyky jonkin rakenneosan vaurioituttua siirtää siihen kohdistuvat kuormat muita rakenneosia käyttäen perustuksille

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on tarkastella jatkuvan sortuman estämisen suunnittelua. Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan tilannetta, jossa paikallinen vaurio kasvaa kohtuuttoman suureksi. Paikallinen vaurio voi syntyä hitaasti tai äkillisesti. Äkillisiä onnettomuus-tilanteita ovat esimerkiksi törmäys, räjähdys tai tulipalo. Suunniteltaessa tällaista tilannetta ajatellaan, että alemman rakenneosan kantavuus menetetään ja kuormat tulee uudelleen jakaa muille rakenneosille, jotta jatkuvaa sortumaa ei pääse syntymään. Yleisin käytetty menetelmä jatkuvan sortuman estämiseksi on sidejärjestelmä.

Sidejärjestelmä koostuu vaaka- ja pystysiteistä. Tässä työssä käsitellään tarkemmin pystysiteitä. Luvussa 5 on esitetty laskuesimerkkejä pystysiteiden mitoituksesta sekä yleisimmin käytettyjä pystysiteitä.

Työ tehdään Optiplan Oy:lle. Aihe on mielestäni erittäin mielenkiintoinen ja tärkeä. Tarkoituksena tällä opinnäytetyöllä on lisätä tietoisuutta jatkuvan sortuman estämisen suunnittelusta suunnittelijoiden parissa ja tarjota työkaluja sen suunnitteluun.

Aiheena työ on erittäin ajankohtainen, vaikka jatkuvasta sortumasta on puhuttu jo pidemmän aikaa. Nykyään myös rakennusvalvonta kiinnittää enemmän huomiota, miten jatkuvan sortuman estäminen kohteissa on suunniteltu. Paljon näkyvyyttä on saanut Lontoossa sortunut The Ronan Point. Kyseinen talo oli edelläkävijä elementtirakentamisessa ja toimii edelleen luennoilla esimerkkinä alan opiskelijoille, miten rakennuksia ei tulisi suunnitella. (Smale 2018.)

Ajankohtaisuutta lisää myös se, että sortumia on tapahtunut Suomessakin tällä vuosikymmenellä, kuten Liedon ja Laukkaan maneesit. Tällaiset valitettavat tapaturmat ovat johtaneet siihen, että nykyään jatkuvan sortuman estämisen suunnitteluun kiinnitetään enemmän huomiota.

Hyvänä lähdeaineistona tälle työlle toimi Betoninormikortti 23 sekä RIL 201-4-2017. Näistä lähteistä löytyy hyvät ja selkeät ohjeet jatkuvan sortuman estämisen suunnitteluun. Aiheesta on kuitenkin vain niukasti kirjallista tietoa ja tästä syystä esimerkkien määrä ja laatu voi olla vajavaista. Tämän työn tarkoituksena olikin tehdä koottu aineisto jatkuvasta sortumasta ja esittää muutamia hyviä esimerkkejä pystysidonnan suunnittelusta. Mielestäni aiheesta olisi hyvä saada vielä laajemmin tietoa ja varsinkin enemmän laskuesimerkkejä, jotta suunnitelmista saadaan varmoja ja luotettavia.

Työn tarkoituksena on antaa suunnittelijalle hyvät työkalut pystysidonnassa suunnitteluun, sekä tarjota tietoa muista menetelmistä, mitä jatkuvan sortuman estämisen suunnitteluun liittyy.

## 2 JATKUVA SORTUMA

*Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan sellaista paikallisen vaurion seurauksena ketjureaktiona tapahtuvaa sortumaa, jossa rakennus kokonaisuudessaan tai merkittävä osa siitä sortuu ja josta seuraa huomattavan suuri henkilövahinkojen vaara. (Betoniyhdistys 2012, 3.)*

Jatkuva sortuma on tilanne, jossa pieni vaurio voi johtaa laajempaan vaurioon, joka vaarantaa koko rakennuksen tai rakenteen kestävyys- tai stabiiliuden. Tällöin vaarantuu koko rakennuksen kantavuus. Jatkuva sortuma voi kehittyä äkillisesti tai se voi alkaa hitaana prosessina, rakenteissa, joilla on omapainoa ja hyötykuormaa. Kuvassa 1 on esitetty kaavio jatkuvan sortuman etenemisestä.



Kuva 1. (RIL 201-4-2017, 21.)

Jatkuvan sortuman syynä on yleensä vauriosta johtuvan kuormien uudelleenjakautuminen. Se voi aiheuttaa lisää vaurioita muualle rakenteisiin. Kuormien uudelleenjakautuminen on riskialtis tapahtuma, joka saattaa aiheuttaa tapahtumaketjun, jonka seurauksena tapahtuu jatkuva sortuma.



Rakenteet mitoitetaan suhteellisesti yhtä vahvoiksi siten, että niiden käyttöasteet ovat lähes 100 %. Rakenteet ovat sitä kestävämpiä, mitä pienempää käyttöastetta käytetään. Sitä suurempiin varmuuksiin päästään, mitä pienempi käyttöaste rakenteelle saadaan. Tällöin jatkuvaa sortumaa ei välttämättä pääse tapahtumaan, vaikka kuormat jakautuisivatkin uudelleen. (RIL 201-4-2017, 20.)

Jatkuvan sortuman rajoittaminen betonielementtirakentamisessa tapahtuu siten, että paikallisen vaurion leviäminen ympäröiviin rakenneosiin pyritään estämään. Tavoitteena on, että sortuma ei pääse leviämään laajemmalle alueelle. Jatkuvan sortuman estämiseksi elementit sidotaan toisiinsa teräsosien avulla, jotta muodostuu riittävä jatkuvuus elementtien välille eli monoliittisuus. (Betoniyhdistys 2012, 3.)

Ensisijainen menettelytapa betonielementtitalojen osalta on sidejärjestelmän käyttö. Pilari-palkkirunkojen osalta voidaan joutua tietyissä erityiskohdissa käyttämään muita menettelytapoja. Erityiskohdissa voidaan esimerkiksi käyttää vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien tarkastelua. Lisäksi tulee varmistua yksittäisten rakenneliitosten toimivuudesta. (RIL 201-4-2017, 59.)

## 3 JATKUVAN SORTUMAN ESTÄMISEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa käydään läpi, mitkä ovat lähtökohdat jatkuvan sortuman estämisen suunnittelulle. Esitetyt menettelytavat liittyvät lähtökohtaisesti ennakoimattomaan onnettomuustilanteeseen. Seuraamusluokan valinta toimii lähtökohtana menettelytavan valinnalle. Alla esitetyt menettelytavat koskevat vain monikerrosrakennuksia.

### 3.1 Seuraamusluokan valinta

SFS-EN 1990 toimii suunnittelun lähtökohtana onnettomuustilanteiden mitoituksessa. Rakenneosan merkitys sortuman ja henkilöturvallisuuden aiheuttamien sosiaalisten, taloudellisten ja ympäristövahinkojen kannalta määrittää seuraamusluokan.

Seuraamusluokkia ovat CC1, CC2 ja CC3 (kuva 2). Näitä käytetään rakennusten luotettavuuden hallintaan. Normaalisti murtorajatilamitoituksessa seuraamusluokkaa käytetään  $K_{Fi}$  kuormakertoimen määrittämiseen. Onnettomuustilanteessa ei kuitenkaan käytetä  $K_{Fi}$  kerrointa kuormitusyhdistelmissä. Tietyt rakenteet voidaan nimetä samaan, korkeampaan tai matalampaan seuraamusluokkaan kuin koko rakennus riippuen suunnittelun aikana tehdyistä päätöksistä. (RIL 201-4-2017, 31.)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko <sup>1)</sup> jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten - yli 8-kerroksiset <sup>2)</sup> asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitettut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet, kuten esimerkiksi korkeat tornit. Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet, jotka sijaitsevat siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä erityisesti hienorakeisten maalajien alueilla.
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristö-vahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset <sup>2)</sup> rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä <sup>3)</sup> kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m <sup>2</sup> tai suurin jänneväli enintään 6 metriä. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten - matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätillaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne - sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän rungon osana.

<sup>1)</sup> pienehköt rakennusrungosta erilliset välipohjat kuuluvat kuitenkin luokkaan CC2 elleivät ne toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena.

<sup>2)</sup> kellarikerrokset mukaan luettuina.

<sup>3)</sup> tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei siellä pidempään viipymistä.

Kuva 2. (Ympäristöministeriö 2016, 23.)

Onnettomuustilannetta tarkasteltaessa jaetaan seuraamusluokat CC2 ja CC3 alaluokkiin a ja b, jossa b luokan mahdolliset seuraamukset ovat suurempia. Ympäristöministeriön (2019, 37) ohjeen mukaan rakennukselle standardin SFS-EN 1990 kansallisen liitteen mukaan seuraamusluokka jaetaan onnettomuusrajatilassa alaluokkiin seuraavan käytännön mukaisesti:

- 1) *seuraamusluokkaan CC1 kuuluvat 1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esimerkiksi varastot*

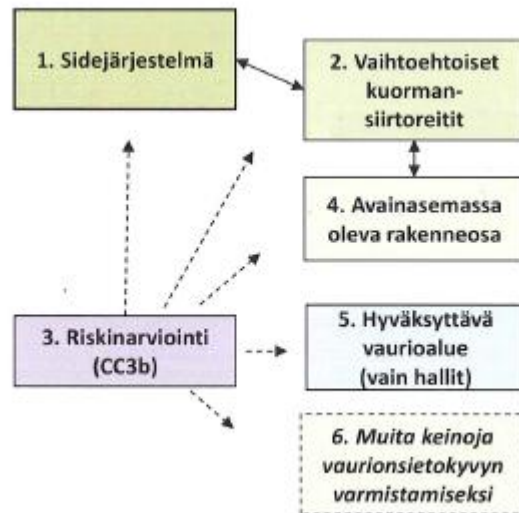
- 2) seuraamusluokan CC2 alaluokkaan a, melko pienen riskin ryhmään, kuuluvat rakennukset, joissa on korkeintaan neljä maanpäällistä kerrosta tai joiden korkeus maanpinnasta on enintään 16 m; asuinrakennukset, joissa on korkeintaan kaksi maanpäällistä kerrosta, voidaan suunnitella kuitenkin onnettomuusrajatilassa seuraamusluokan 1 mukaisesti
- 3) seuraamusluokan CC2 alaluokkaan b, melko suuren riskin ryhmään kuuluvat kaikki muut rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu seuraamusluokkiin 1, 2a tai 3
- 4) seuraamusluokan CC3 alaluokkaan a kuuluvat 9–15-kerroksiset asuin-, konttori- ja liikerakennukset ja muut 9–15-kerroksiset käyttötarkoitukseltaan ja rungoltaan samantyyppiset rakennukset; kerrosten lukumäärään luetaan kellarikerrokset mukaan
- 5) seuraamusluokan CC3 alaluokkaan b kuuluvat
  - a) muut yli 8-kerroksiset rakennukset kellarikerros mukaan luettuna
  - b) konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot
  - c) raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset, joissa usein on suuri joukko ihmisiä
  - d) erikoisrakenteet tapauskohtaisen harkinnan mukaan.

### 3.2 Menettelytavat rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistamiseksi

Vaurionsietokyvyn varmistamiseksi ennakoimattomilta onnettomuustilanteilta on olemassa 6 pääasiallista menettelytapaa (luettelo sekä kuva 3):

1. sidejärjestelmä, jossa erotellaan vaaka- ja pystysidonnat
2. vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit
3. seuraamusluokka CC3: riskiarviointi
4. avainasemassa oleva rakenneos
5. paikallisen vaurion laajuuden rajaaminen hyväksyttävään kokoon
6. muita keinoja vaurionsietokyvyn ja luotettavuuden lisäämiseksi.

Vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien ja avainasemassa olevien rakenneosien menettelyjä voidaan käyttää sekä ennakoimattomissa ja ennakoitavissa onnettomuustilanteissa rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistamisessa. (RIL 201-4-2017, 34.)



Kuva 3. (RIL 201-4-2017, 34.)

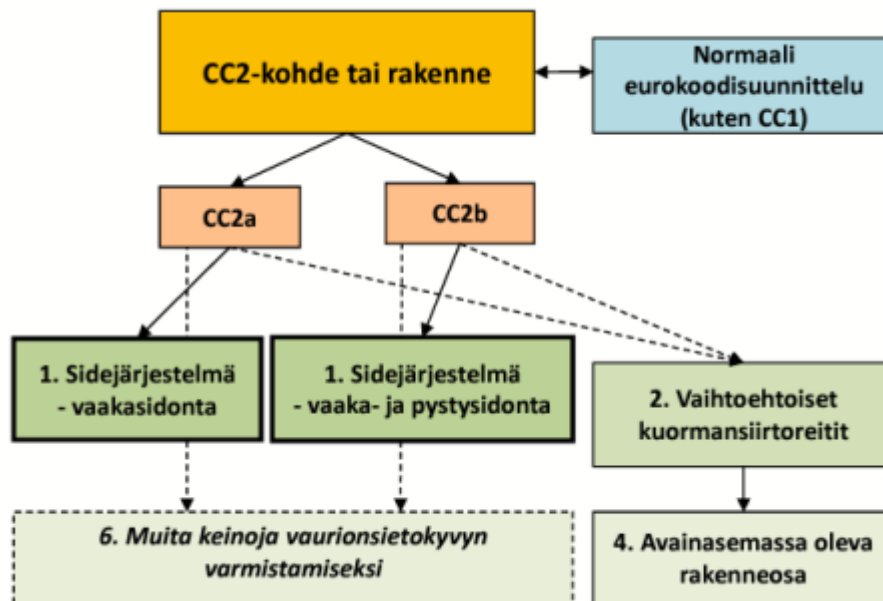
### 3.3 Menettelytapojen valinta

Menettelytapojen valintaan vaikuttaa rakennuksen tyyppi sekä kohteen seuraamusluokka. CC1 seuraamusluokan kohteissa riittää normaali kestävyysmitoitus, johon kuuluu ennakoitavissa olevat onnettomuustilanteet ja määriteltävissä olevat onnettomuuskuormat.

CC2- ja CC3-luokan kohteissa tulee lisäksi ottaa huomioon ennakoimattomat onnettomuustilanteet. Tämän takia tulee valita sopivat menettelytavat standardin ja kansallisen liitteen mukaan vaurionsietokyvyn parantamiseksi.

Menettelytavan valinta CC2-luokan monikerrosrakennuksiin on esitetty alla kuvassa 4. Täytyy kuitenkin muistaa, että murto- ja käyttörajatilamitoitus tulee aina tehdä, kuten CC1-luokassa. Sidejärjestelmän käyttö on lähtökohtainen menettelytapa. Alaluokassa CC2a sovelletaan sidejärjestelmää siten, että käytetään vaakasiteitä rakenteiden välillä tai vaakarakenteet ankkuroidaan seiniin.

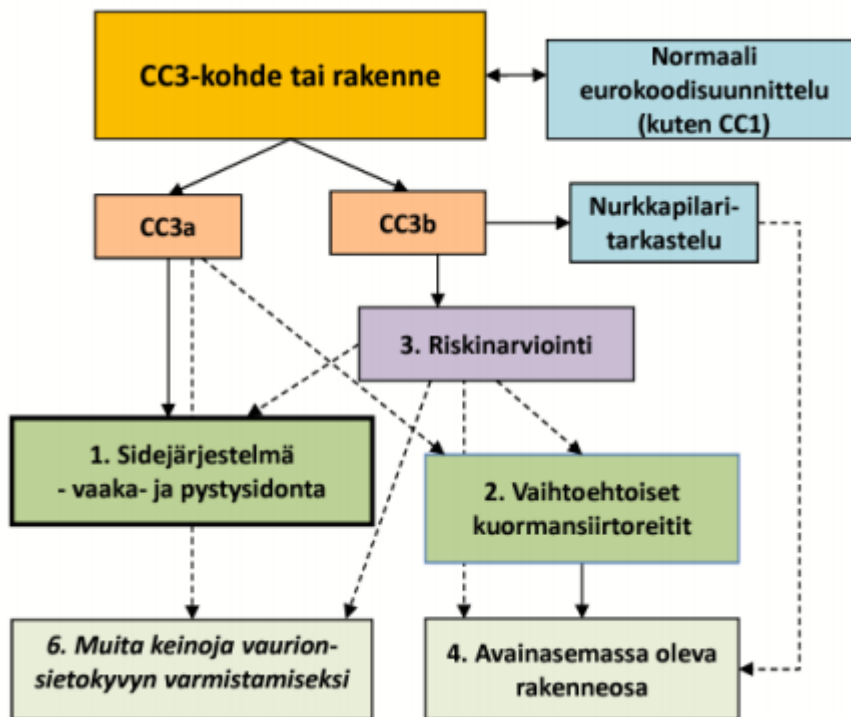
CC2b-luokassa käytetään sekä vaakasiteitä että pystysiteitä, ja pystyrakenteet tulee sitoa vaakarakenteisiin. Jos ei pystytä käyttämään sidejärjestelmää, tulee silloin käyttää vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittiä tai avainasemassa olevaa rakenneosamenettelyä. Tarvittaessa voidaan käyttää eri menetelmiä rakennuksen eri kohdissa. (RIL 201-4-2017, 37.)



Kuva 4. (RIL 201-4-2017, 37.)

Menettelytavan valinta CC3-luokan monikerrosrakennuksiin on esitetty alla kuvassa 5. Täytyy kuitenkin muistaa, että murto- ja käyttörajatilamitoitus tulee aina tehdä kuten CC1-luokassa. Alaluokassa CC3a käytetyt menettelytavat ovat samoja kuin luokassa CC2b. Kuitenkin sidevoimat lasketaan eri tavalla kuin CC2-luokassa.

CC3b-luokassa tulee ennen suunnittelua tehdä riskiarviointi, johon sisältyy rakenteen toimintaa uhkaavien tekijöiden ja kriittisten rakenneosien tunnistaminen. CC3b-luokassa sovelletaan aina kohteen vaatimalla tavalla jotakin CC2b:ssa vaadittuja menettelyjä, yleensä sidejärjestelmää. Lisäksi CC3b-luokassa tulee ajatella ulko- tai sisänurkissa sijaitsevia pilareita tai seinäosia poistetuksi, jolloin välipohjarakenne toimii ulokkeena. Mikäli tästä aiheutuu hyväksyttävän rajan ylitys, tulee poistettua rakennetta käsitellä avainasemassa olevana rakenteena. (RIL 201-4-2017, 38.)



Kuva 5. (RIL 201-4-2017, 38.)

### 3.4 Vaurionsietokyvyn hallinta

Sivusiirtymättömissä betoni- ja liittorakennerynkoisissa rakennuksissa mahdolliset vaurio-tilanteet ovat vaakarakenteiden tai pystyrakenteiden kantokyvyn menettäminen. Monikerroksisten betonielementtitalojen esisijainen menettelytapa on sidejärjestelmän käyttö. Pilari-palkkirunkoisissa voidaan tietyissä kohdissa joutua soveltamaan muita menettelytapoja, esimerkiksi vaihtoehtoisten kuormansiirtymisreittien tarkastelua. Kuvassa 6 on esitetty betoni- ja liittorakennerynkoisen monikerrosrakennuksen vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteessa. (RIL 201-4-2017, 60.)

Kohteen tyyppi	Seur. luokka	Runkorakenteet		Menettelyt		
		Pystyrakenne	Vaakarakenne	Pääasiallinen	Toissijainen/täydentävä	Muut ehdot
Asuinrakennus < 9 kerrosta	CC2b	Kantavat seinät (elementti tai paikallavalu)	Elementti- tai pv-laatat	Sidejärjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reiitit, harvoin	Selvitä aina sekä vaaka-että pystysidonnat
Asuinrakennus, 9–15 kerrosta	CC3a	Kantavat seinät (elementti tai paikallavalu)	Elementti- tai pv-laatat	Sidejärjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reiitit	Selvitä aina sekä vaaka-että pystysidonnat
Asuinrakennus, > 15 kerrosta	CC3b	Kantavat seinät (elementti tai paikallavalu)	Elementti- tai pv-laatat, vain betonirakenteet	Riskinarviointi aina aluksi, sidejärjestelmä oltava aina	Muut menettelyt tarpeen mukaan	Mahdollisesti tarkemmat dynaamiset rakenneanalyysit
Toimistorakennus < 9 kerrosta	CC2b	Pilari-palkki-laatta, jäykistävät rakenteet	Elementti- tai pv-laatat, eri materiaalit	Sidejärjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reiitit	Selvitä aina sekä vaaka-että pystysidonnat
Toimistorakennus 9–15 kerrosta	CC3a	Pilari-palkki-laatta, jäykistävät rakenteet	Elementti- tai pv-laatat, eri materiaalit	Sidejärjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reiitit	Selvitä aina sekä vaaka-että pystysidonnat
Toimistorakennus > 15 kerrosta	CC3b	Pilari-palkki-laatta, jäykistävät rakenteet	Elementti- tai pv-laatat, eri materiaalit	Riskinarviointi aina aluksi, sidejärjestelmä oltava aina	Muut menettelyt tarpeen mukaan	Mahdollisesti tarkemmat dynaamiset rakenneanalyysit

Kuva. 6. (RIL 201-4-2017, 60.)



## 4 MENETTELYTAVAT RAKENTEIDEN VAURIONSIETOKYVYN PARANTAMISEKSI

### 4.1 Sidejärjestelmä

Sidejärjestelmää on tärkein yksittäinen menetelmä jatkuvan sortuman estämiseksi seuraamusluokissa CC2 ja CC3. Siteet tulee tehdä jatkuviksi, jotta onnettomuustilanteessa rakenne toimii yhtenä kokonaisuutena eli mahdollisimman monoliittisena. Tämä edesauttaa sitä, kun kuormat jakautuvat uudelleen niin ne jakautuisivat mahdollisimman monelle rakenneosalle.

#### 4.1.1 Vaakasiteet

Vaakasiteet koostuvat rengas- ja sisäpuolisista siteistä. Kaikki väli- ja yläpohjat tulee varustaa sen ympärikiertävillä rengasteräksillä ja toisiaan vastaan kohtisuorilla sisäpuolisilla siteillä. Siteet tulee tehdä jatkuviksi ja ne sijoitetaan lähelle välipohjien reunoja, seinä- ja pilarilinjoja. Siteistä vähintään 30 % tulee olla seinien ja pilarien ruudukkolinjojen välittömässä läheisyydessä. Siteiden tulee toimia siten, että ne voivat toimia korvaavina kuormansiirtorakenteina tai osana korvaavaa kuormansiirtorakennetta. Sidevoimien vähimmäisarvo rengassiteille on 70 kN. (RIL 201-4-2017, 95.)

#### 4.1.2 Pystysiteet

Kun on kyseessä kohde, jonka seuraamusluokka on CC2b tai CC3 niin, kaikki seinät ja pilarit tulee varustaa jatkuvalla pystysuuntaisella sidonnalla perustuksista yläpohjan tasolle asti. Kantavan seinänä siteet voidaan sijoittaa elementtien saumoihin, mutta ne voidaan myös jakaa koko seinän pituudelle. Useimmiten joudutaan käyttämään molempia toteustustapoja yhdessä. Reunimaiset pystysiteet tulee sijoittaa enimmillään 3 m:n päähän seinän vapaasta päästä. (RIL 201-4-2017, 100.)

## 4.2 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit

Tavoitteena vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien menettelyssä on saavuttaa riittävä staattinen määräämättömyys ja siirtää kuormat vaihtoehtoisia reittejä pitkin onnettomuustapauksen jälkeen. Menettelytavassa ajatellaan palkin, pilarin tai kantavan seinän osan menettävän kantavuutensa. Kantavuutensa menetettyä tulee sortuman olla raja-arvojen mukainen. Jos sortuma on raja-arvon ylittävä, tulee silloin rakenteensa mitoittaa esimerkiksi avainasemassa olevana rakenteena. Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti voi tarkoittaa aidosti vaihtoehtoista reittiä käyttäen muita rakenteita tai esimerkiksi rakenteen staattinen määräämättömyys on niin suuri, että rakenne kestää sortumatta paikallisen vaurion. (RIL 201-4-2017, 45.)

## 4.3 Riskiarviointi

On olennaista ajatella, että rakenteelle voi tapahtua onnettomuus käyttötarkoituksesta tai sijainnista johtuen, vaikka onnettomuudet ovatkin harvinaisia. Tarkkaa kuormaa ei voida onnettomuustilanteelle määrittää. Helpommin määriteltäviä onnettomuustilanteista on esimerkiksi tulipalot, räjähdykset ja törmäykset. Harvinaisempia onnettomuuskuormia aiheuttavat maan- ja lumenvyöryt, tulvat ja hirmumyrskyt.

Ennalta tunnistettavien onnettomuustapausten toteutumisriskiä voidaan suunnittelun avulla pienentää. Suunnittelun avulla voidaan pienentää tapahtuman seurauksia eli vaikutuksia tai riskin todennäköisyyttä. Riski on määritelty tapahtumana, jonka suuruuteen vaikuttaa tapahtuman todennäköisyys eli taajuus ja seurausten laajuus.

Systemaattiseen riskien arviointiin kuuluu aina tapahtumasta aiheutuvien ympäristö- ja henkilövahinkojen sekä taloudellisten vahinkojen arviointi. Käytännössä mitään riskin uhkaa ei voida kokonaan poistaa, jolloin joudutaan valitsemaan tietty riskin taso. Esimerkiksi lumikuormat ovat 50 vuoden mittaushistorian suurin kuorma. Tällöin voi tapahtua niin sanottu ylikuormitustapaus. Jos tästä aiheutuvaa riskitasoa ei pidetä hyväksyttävänä, tulee silloin tehdä toimenpiteitä onnettomuustilanteen estämiseksi tai lieventämiseksi. (RIL 201-4-2017, 50.)

#### 4.4 Avainasemassa oleva rakenneosa

Avainasemassa olevan rakenneosan käyttö on sallittu menetelmä onnettomuustilanteen varmuuden lisäämiseksi. Menetelmää voi kuitenkin käyttää vain silloin kuin, rakenteelle tulevien kuormien uudelleen jakautuminen muille kantaville rakenneosille ei onnistu. Menetelmää voidaan käyttää myös silloin kun, kuormien uudelleen jakaminen muille rakenneosille johtaa kohtuuttomiin rakenneratkaisuihin.

Avainasemassa olevan rakenteen varmuutta voidaan parantaa sopimalla, että rakenteen käyttöaste on vähemmän kuin 100 %. Tai esimerkiksi nostamalla seuraamusluokkaa sekä lisäämällä rakenteen staattista määräämättömyyttä. Vaikka rakenneosan varmuutta lisittäisiin miten paljon tahansa, osa tulee aina toimimaan avainasemassa olevan rakenteena, koska osaan kohdistuvia voimia sen laatua tai kuormitustilannetta ei voida ennakoita.

Onnettomuusmitoituskormalle käytetään merkintää  $A_d$ . Kuorma  $A_d$  voi olla jakautunutta kuormaa tai pistekuorma. Onnettomuuskuorma vaikuttaa samaan aikaan pysyvien ja muuttuvien kuormien kanssa. Kuorman  $A_d$ :n suuruus on määritettävä riskiarvioinnin perusteella. Perustelut tulee sisällyttää suunnitteluasiakirjoihin.  $A_d$ :n suositusarvo on 34 kN/m<sup>2</sup> standardin SFS-EN 1991-1-7 mukaan. (RIL 201-4-2017, 47.)

#### 4.5 Hyväksytty vaurioalue

Monikerroksisessa rakennuksessa paikallisen vaurion laajuus saa olla enintään 15 % kerroksen alasta, kuitenkin enintään 100 m<sup>2</sup>/kerros. Paikallisen vaurion rajoittaminen soveltuu huonosti monikerrostaloihin. Mikäli paikallisen vaurion suuruutta ei voida määrittää, niin silloin paikallista vauriota ei voida sallia. Tätä menetelmää käytetäänkin vain hallimaisissa rakennuksissa. (RIL 201-4-2017, 40.)

#### 4.6 Muita keinoja vaurionsietokyvyn varmistamiseksi

Taulukossa 1 on esitetty muita menettelytapoja rakenteiden luotettavuuden kasvattamiseksi. Osa menettelyistä on teknisiä ja osa taas lisää luotettavuutta tarkoituksenmukaisen valvonnan kautta. Taulukossa näytettyjen menetelmien on tarkoitus parantaa suunnittelun, suunnitelmien, valmistuksen ja rakentamisen laatua.

Taulukko 1. Menettelytapoja rakenteiden luotettavuuden lisäämiseksi. (RIL 201-4-2017, 53.)

Keinoja vaurionsietokyvyn parantamiseksi	Tyypilliset käyttökohteet		
	CC1	CC2	CC3
<b>Rakenteiden suunnittelu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilari-palkki-liitoksilta varmistettu suunnittelustandardissa mainitut vähimmäiskestävyydet</li> <li>- Vaakarakenteiden kiinnityksissä tukiin varmistettu standardien SFS-EN 1991 ja materiaalikohtaisten standardien (esim. SFS-EN 1992-1998) määrittelemä vähimmäiskestävyyden</li> <li>- Rakennusten stabilointisysteemit (vaakasuuntaan) tulee varmistaa ja varmentaa kahdentamalla osia tarkoituksenmukaisella tavalla</li> <li>- Raskaat katto, välipohja, porrastus ja muut vastaavat elementit ja laitteistotasot yms. tulee ankkuroida rakenteisiin asianmukaisesti</li> <li>- Käytetään standardin SFS-EN 1991-1-7 esittämää menettelyä staattisen määräämättömyyden lisäämisestä</li> <li>- Hyödynnetään tehokkaasti rakenneseosten ja liitosten sitkeyttä tai monoliittisuutta</li> <li>- Käytetään KFI-kertoimelle arvoa 1,1 kaikille kohteen rakenneseosille, myös CC2-luokan osarakenteille</li> </ul>	x	x	x
<b>Rakennusratkaisujen vaihto:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muutetaan rakennetta siten, että kriittiset yksittäiset rakenneseosat muunnetaan jatkuviksi rakenteiksi</li> <li>- Valitaan toinen rakennusratkaisu, jonka herkkyys tarkasteltavan uhkan suhteen on vähäinen</li> <li>- Valitaan rakennusratkaisu, joka pystyy paremmin sietämään paikallisen vaurion tai osan poiston</li> <li>- Valitaan aiemman (esim. 3-nivelkehä) tilalle rakennejärjestelmä, joka ei voi sortua äkillisesti varoittamatta</li> </ul>	x	x	x
<b>Suunnittelun ja toteutuksen laadunvarmistus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hyödynnetään rakennusten suunnittelussa ja rakentamisessa sovellettavia erityismenettelyitä (ulkopuolinen tarkastus tms., ks. RIL 241-2016 Erityismenettelyjen soveltaminen /39/)</li> <li>- Hyödynnetään rakenneseosten valmistuksessa sovellettavia laaduntarkkailuun liittyviä menettelyitä</li> </ul>			x
<b>Käytön ja ylläpidon varmistus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hyödynnetään rakennusten ylläpidossa ja kunnon tarkkailussa sovellettavia erityismenettelyitä</li> <li>- Otetaan käyttöön järjestelmä, joka hälyttää suurista muodonmuutoksista tai ominaistajuuksista</li> </ul>		x	x

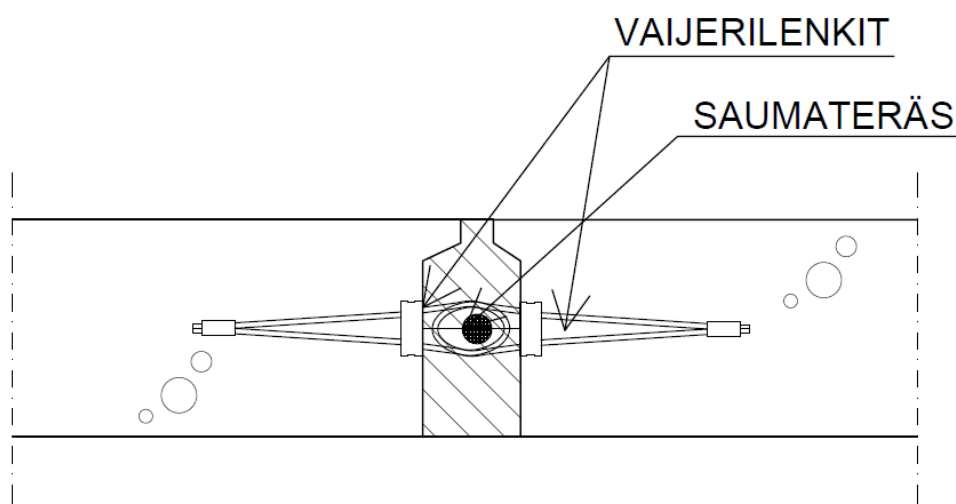
## 5 KANTAVIEN PYSTYRAKENTEIDEN SIDONTA

Pystysidonnalla tarkoitetaan kantavien pystyrakenteiden sitomista toisiinsa. Sidonnan tulee olla jatkuva ja sen tulee yltää alimmasta kerroksesta yläpohjan tasolle asti. (RIL 201-4-2017,100.) Tässä luvussa käydään läpi yleisimpiä pystysidonnan toteutustapoja sekä niiden mitoitus.

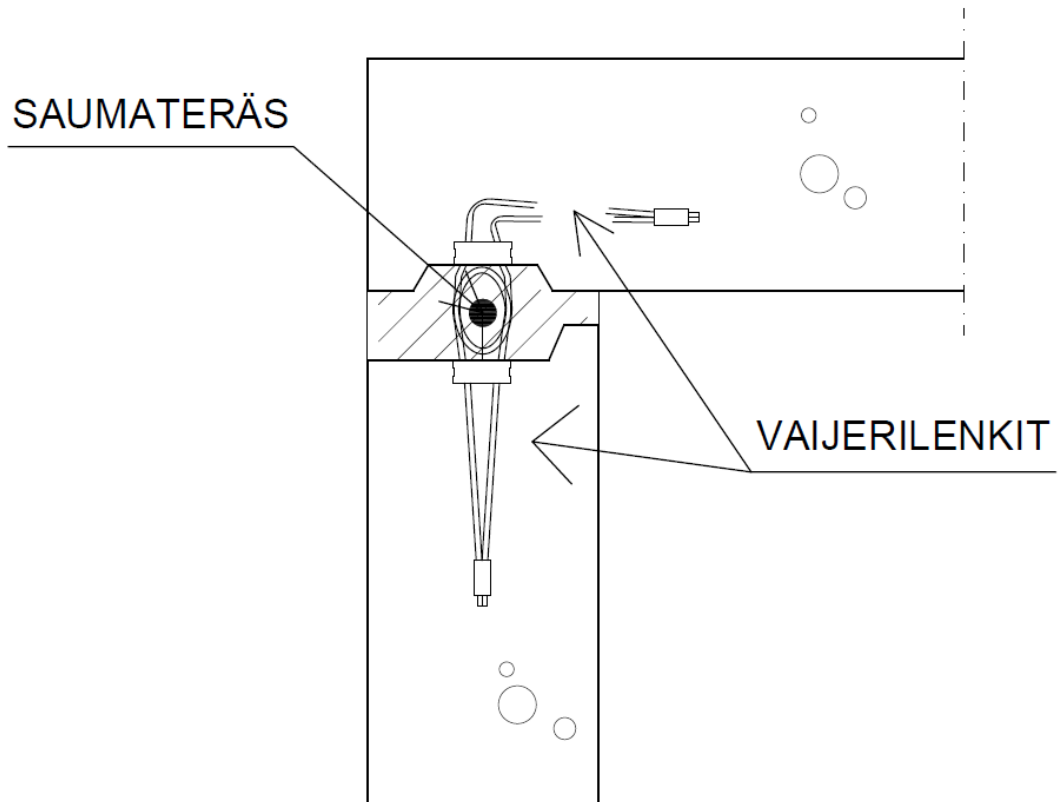
### 5.1 Yleisimmin käytetyt pystysidontaratkaisut

Pystysidonta voidaan toteuttaa harjateräksillä, jotka on sijoitettu elementtien saumoihin. Vierekkäisissä elementeissä on vaijerilenkki, jonka läpi sidontaan käytetty teräs pujotetaan. Siteet voi sijoittaa myös seinälinjoille esimerkiksi kierreputken avulla tai seinäkenkiä käyttäen.

Kuvassa 7 on esitetty suoraliitos, jonka keskellä sidontaan käytetty teräs menee. Kuvassa 8 on nurkkaliitos samoin periaattein. Vierekkäiset elementit suunnitellaan siten, että vaijerilenkit osuvat kohdilleen ja harjateräs mahtuu menemään niiden läpi. Kun elementit ovat saatu asennettua voidaan sauma valaa umpeen. Täytyy muistaa, että sidonnan tulee olla jatkuva ja jatkospituuden tulee olla riittävä ylemmässä elementissä.

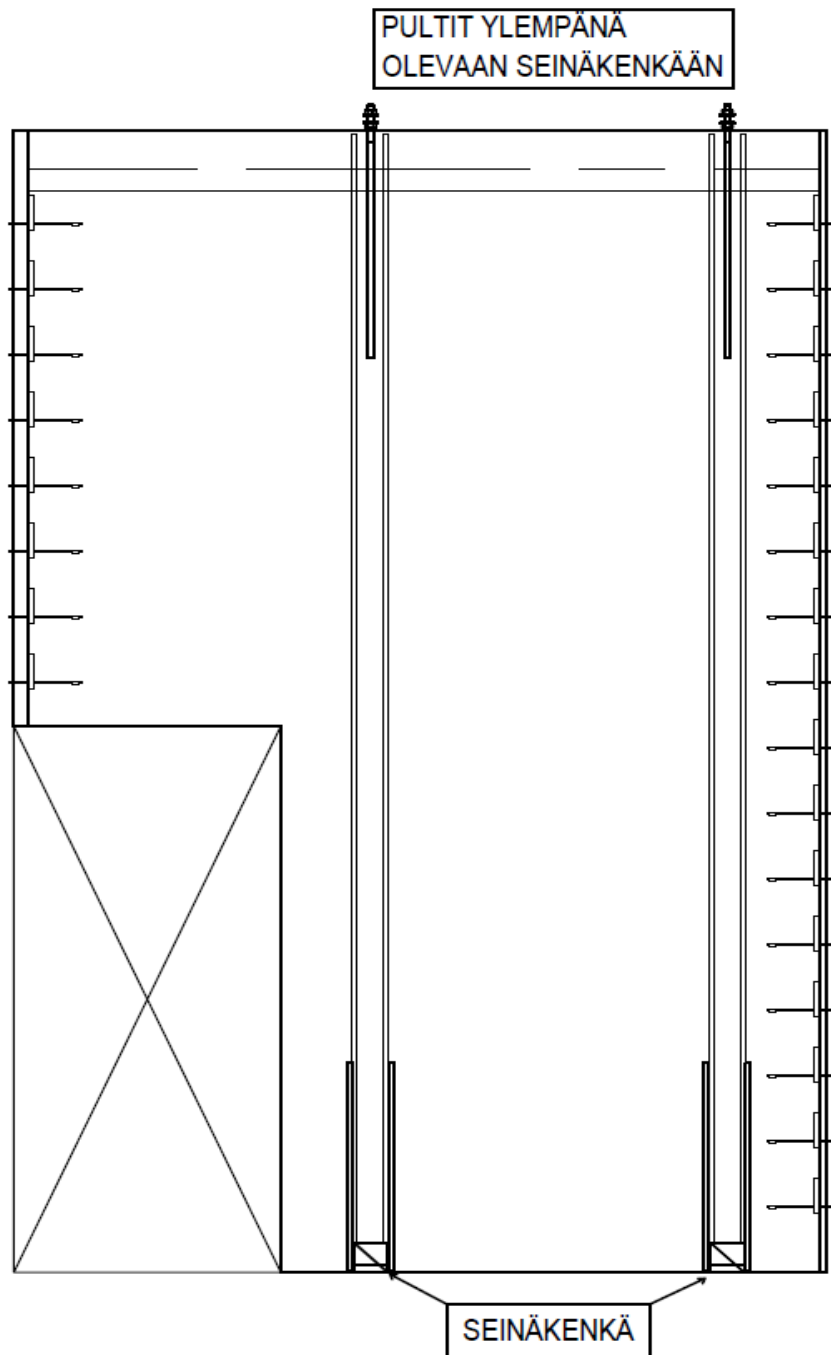


Kuva 7. Suora seinäliitos, (Optiplan)

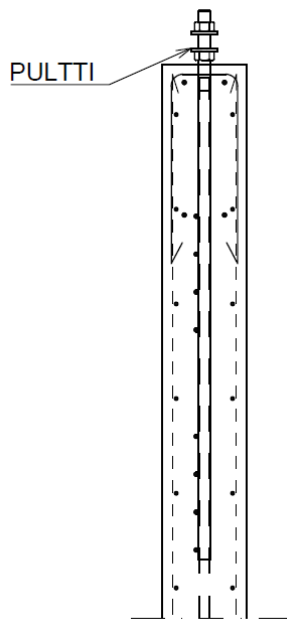


Kuva 8. Kulma seinäliitos, (Optiplan)

Kuvassa 9. on esitetty seinäkengä ja seinän yläpään liitos pultilla. Yläpäässä oleva tappi asennetaan ylemmän seinän alapinnassa olevaan seinäkengään, tämän jälkeen liitos kiristetään pultin avulla. Seinäkengä on auki seinän toisesta pinnasta, jotta pultti voidaan kiristää. Kun ylempi seinä on asennettu ja liitos kiristetty voidaan aukko valaa umpeen betonilla. Seinäkengät vaativat lisäraudoituksen. Lisäraudoituksen ohjeet ja seinäkengän vetokapasiteetit löytyvät yleensä kyseisen seinäkengän suunnitteluohjeesta.



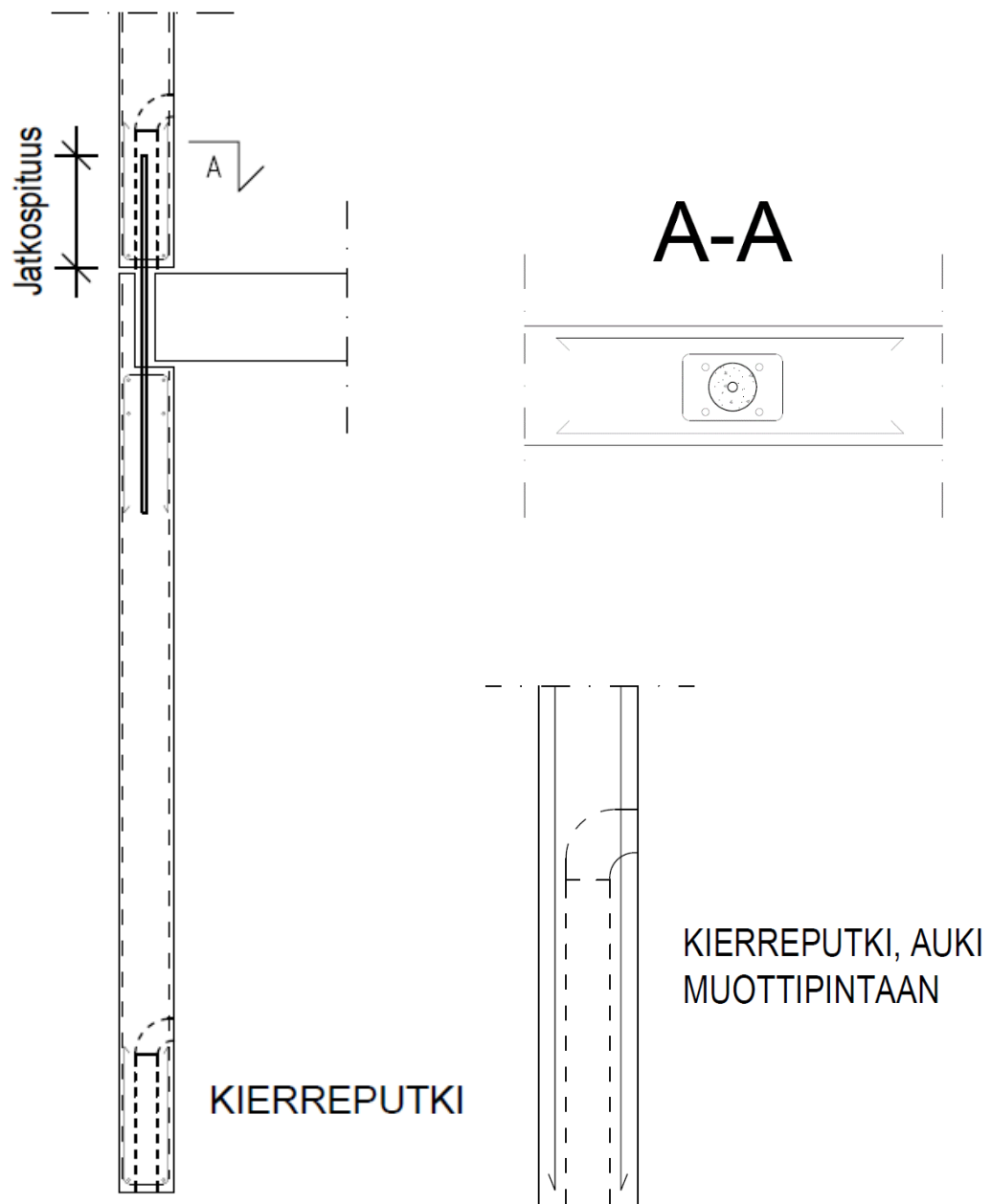
Kuva 9. Seinäkenkä lisäraudoitus ja yläpään pulttiliitos, (Optiplan)



Kuva 10. seinäkengän pulttiliitos, (Optiplan)

Kuvassa 11 on esitetty kierreputken avulla toteutettu varauskolo. Seinän alaosaan asennetaan jokin varaus esimerkiksi spiraloputken avulla. Kierreputki on auki alhaalta ja seinän kyljestä, jotta se voidaan valaa täyteen betonia asennuksen jälkeen. Seinän yläpäässä on tappi, joka tulee ylempänä olevaan seinäelementin varauskoloon eli kierreputkeen. Kun mitoitetaan kierreputkiliitosta, niin se mitoitetaan ainoastaan vedolle.

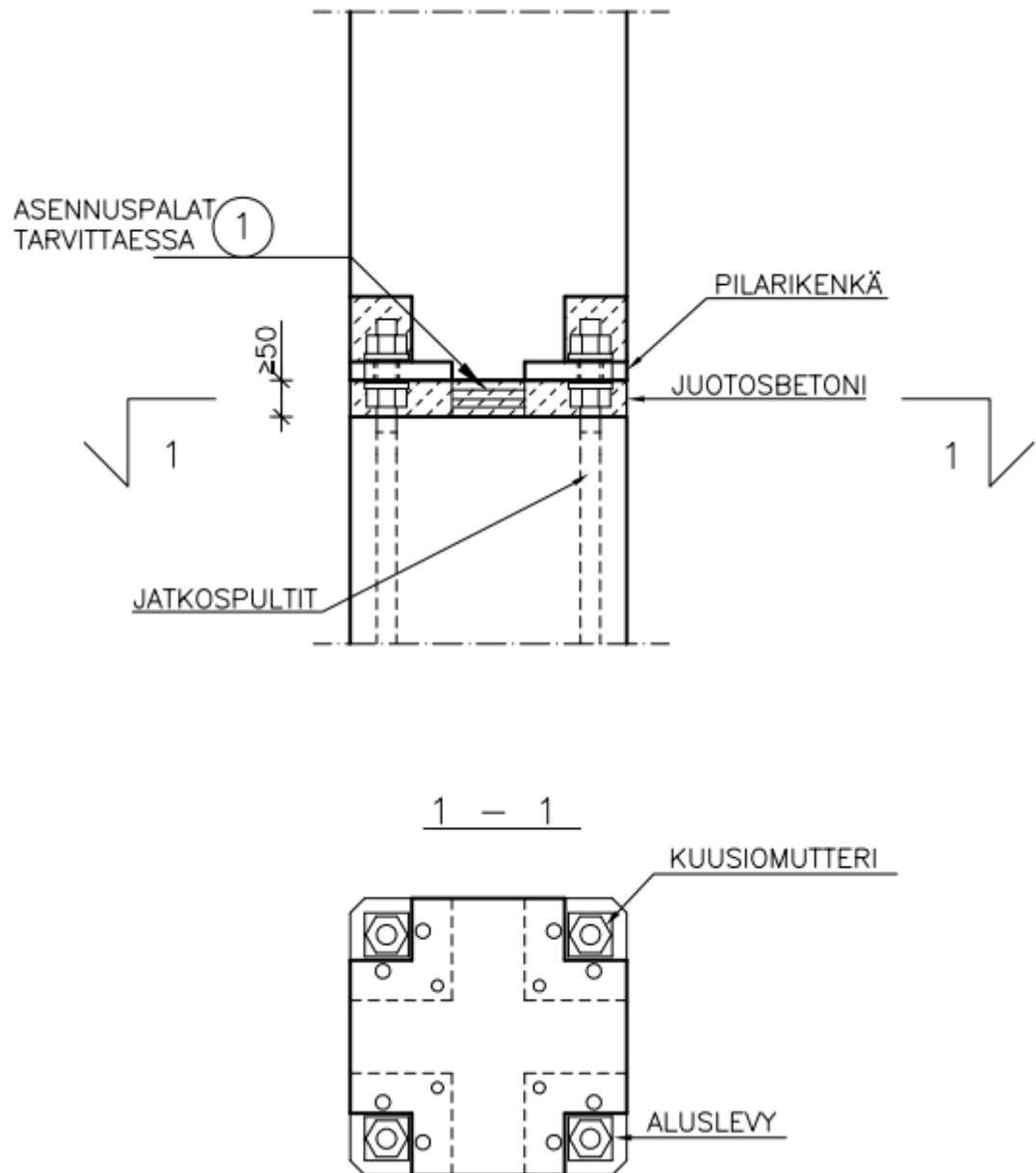




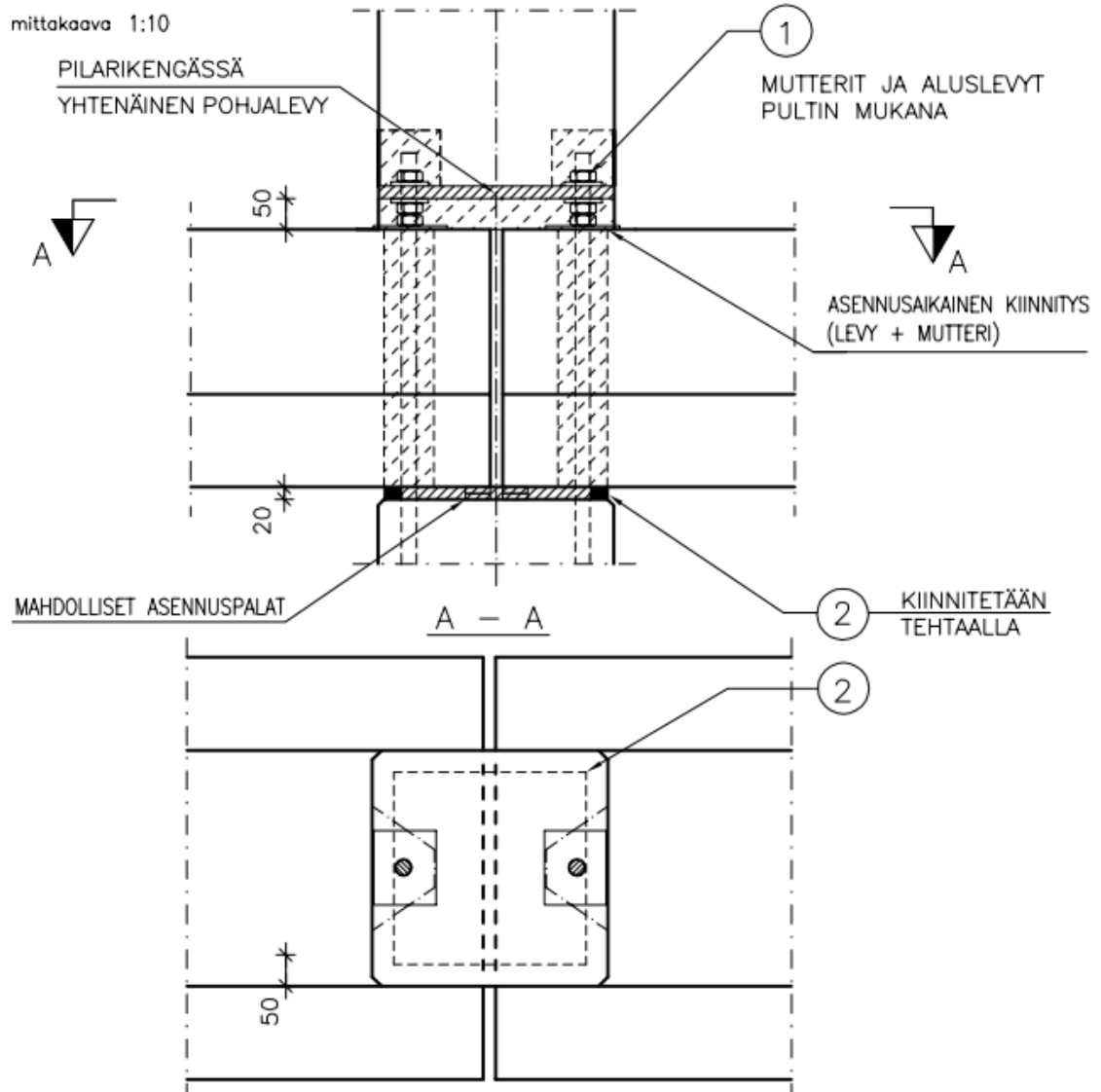
Kuva 11. Kierreputki seinän alaosassa (Optiplan)

Pilarien pystysidonta elementtirakentamisessa on yleensä toteutettu pilarikengillä. Alapuolisesta pilarista tulee tapit, jotka kiinnitetään pulttiliitoksella sen päälle asennettavaan pilariin. Kun pilari on asennettu ja pultit kiristetty voidaan kolot valaa täyteen. Pilarit kantaa tehdä niin sanotusti kahden kerroksen korkuisiksi, jos mahdollista. Tämä menettely parantaa pilarien kykyä vastustaa vaurioita. Kuvassa 12 on esitetty pilarien jatkos, jossa pilari on asennettu suoraan toisen pilarin päälle. Kuvassa 13 on näytetty palkin jatkos pilarin päällä. Palkit ovat kiinnitetty samoista tapeista, joihin ylempi pilari

kiinnitetään. Lisäraudoituksen ohjeet ja pilarikengän vetokapasiteetit löytyvät yleensä kyseisen pilarikengän suunnitteluohjeesta.



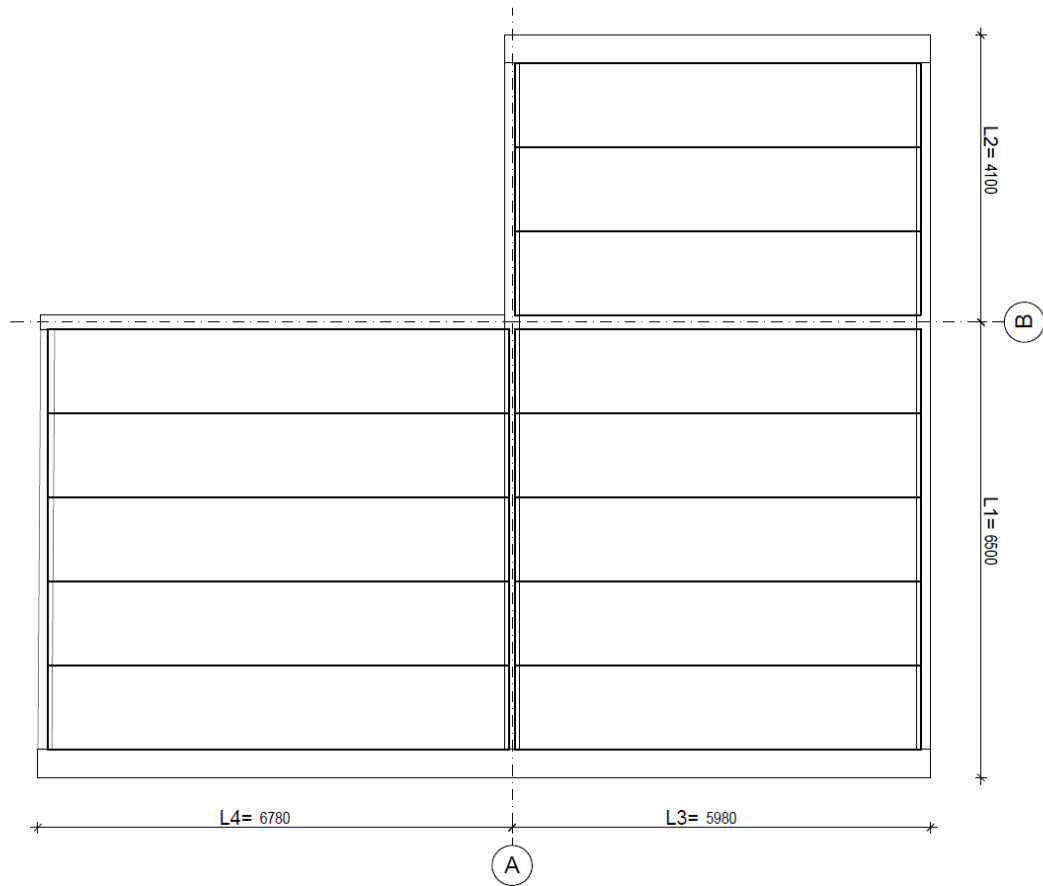
Kuva 12. Pilarin jatkos (Elementtisuunnittelu, Pilarin pulttijatkos)



Kuva 13. Palkin liitos pilarin kohdalla (Elementtisuunnittelu, Kerrospilarin ja palkin liitos)

## 5.2 Pystysiteiden mitoitus

Tässä luvussa tarkastellaan kuvitteellisen kohteen pystysidonta. Rakenne koostuu kantavista seinistä ja ontelolaatoista. Pystysidonta toteutetaan samalla tavalla luokissa CC2b ja CC3. Esimerkissä lasketaan pystysidonnan tarvittava määrä linjalle A välillä L1, sekä linjalle B välillä L4. Laskettavat seinät ovat 200 mm paksuja ja huonekorkeus on 3 m. Ontelolaatat ovat O32, jotka ovat saumattuja. Pintavalun paksuus on 50 mm ja kohteen seuraamusluokka on CC2b. Hyötykuormana käytetään arvoa  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ , joka on tasainen kuorma asuintiloissa.



Kuva. 14.

Esimerkki 1. Väliseinä linjalla A väli  $L_1$

Omat painot:

Ontelolaatta O32 saumattu  $4 \text{ kN/m}^2$

Pintavalu  $50 \text{ mm} \times 25 \text{ kN/m}^3$  (betonin tilavuuspaino) =  $1,25 \text{ kN/m}^2$

Seinän omapaino  $3 \text{ m}$  (seinän korkeus)  $\times$   $0,2 \text{ m}$  (seinä paksuus)  $\times$   $25 \text{ kN/m}^3$  (betonin tilavuuspaino) =  $15 \text{ kN/m}$

Hyötykuorma  $q_k$  on  $2 \text{ kN/m}^2$

Kohde kuuluu kuormaluokkaan A. Tässä esimerkissä muuttuvienkuormien yhdistelyker-  
toimena käytetään kerrointa  $\psi_2$ , joka on  $0,3$ , koska pääasiallinen muuttuva kuorma on

muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma. Jos pääasiallinen muuttuvakuorma olisi jokin näistä kolmesta, käytettäisiin kerrointa  $\psi_1$ .

Edellä mainituista tiedoista pysyvän kuorman arvoksi saadaan:  $g_{k,lattia} = 4 + 1,25 = 5,25$  kN/m<sup>2</sup> (ontelolaatta ja pintavalu)

$$g_{k,seinä} = 15 \text{ kN/m}$$

Kuormaa seinä kerää etäisyydeltä L4/2 ja L3/2 eli  $6,78 \text{ m} / 2 + 5,98 \text{ m} / 2 = 6,38 \text{ m}$ . Kokonaisvoimaksi seinälle saadaan siis

$$F_{tot} = 6,38 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} \times (g_{k,lattia} + \psi_2 \times q_k) + 6,5 \text{ m} \times g_{k,seinä} = 340,1 \text{ kN}.$$

Tällöin seinän siteiden tulee kestää 340,1 kN voima, joka niihin kohdistuu, jos alempi seinä menettää kantavuutensa. Seuraavassa kaavassa on esitetty 16 mm harjateräksen B500B vetokestävyys.

$$N_{d,acc} = 500 \text{ MPa} \times (8 \text{ mm})^2 \times \pi = 100,5 \text{ kN}$$

Esimerkissä on käytetty harjaterästä kooltaan 16 mm. Yhden T16 teräksen vetokestävyys on 100,5 kN. Kun tapit T16 laitetaan seinän molempiin päihin saumoihin, pystyy saumateräokset ottamaan vetoa 201 kN. Tällöin seinälinjalle sijoitettavien pystysiteiden pitää pystyä ottamaan vähintään 139,1 kN. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että seinän linjalle sijoitetaan 2 kappaletta Peikon SUMO 20H -seinäkenkiä, jossa yhden seinäkengän vetokestävyys on 96 kN. Kun seinäkenkiä on kaksi, niin niiden yhteenlaskettu vetokestävyys on 192 kN. Kun tähän lisätään vielä sauman kaksi T16 tappia niin yhteensä vetokestävyudeksi saadaan 393 kN, jonka pitää olla suurempi kuin  $F_{tot}$ . Seinäkenkiä käytettäessä tulee huomioida betonin lujuusluokka. Peikon seinäkengät ovat mitoitettu betonille C25/30.

#### Esimerkki 2. Väliseinä linjalla B väli L4

Kokonaiskuorman laskenta menee lähes samalla tavalla kuin esimerkissä 1. Ainoat eroavaisuudet tulevat siitä, kuinka pitkältä matkalta kuormaa kertyy. Seinä ei varsinaisesti kannata ontelolaattaa, mutta voidaan ajatella, että seinä kerää ontelolaatan puolesta puolesta kuormat eli 600 mm:n matkalta. Eroavaisuus tulee myös siitä, että seinä kerää kuormaa vain yhdeltä puolelta. Mitta L4 on linjalla A olevan seinän keskelle, tästä pitää miinustaa 100 mm, jotta käytetään oikeita mittoja seinän kuormien laskemiseksi.

Näin ollen

$$g_{k,lattia} = 5,25 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k,seinä} = 15 \text{ kN/m}$$

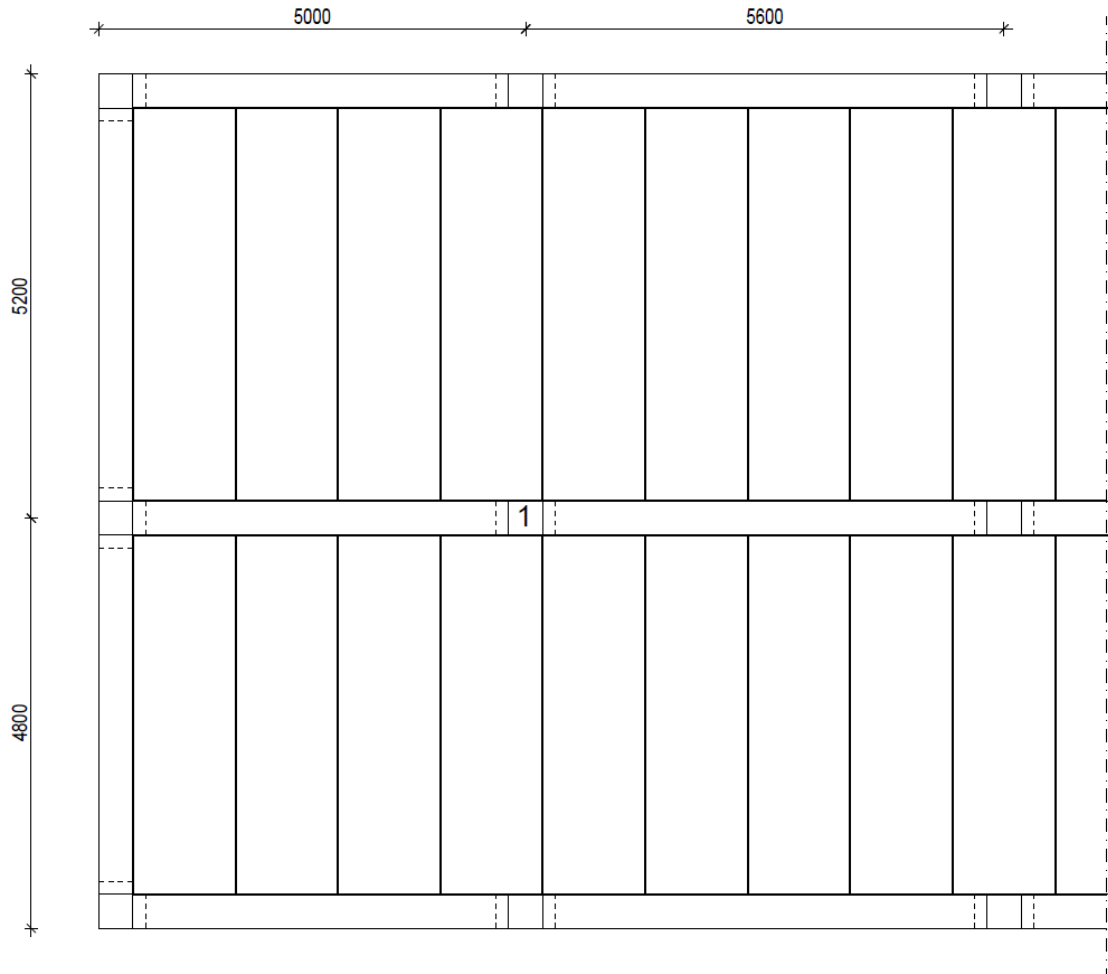
$$\psi_2 = 0,3$$

$$F_{tot} = 0,6 \text{ m} \times 6,68 \text{ m} \times (g_{k,lattia} + \psi_2 \times q_k) + 6,68 \text{ m} \times g_{k,seinä} = 112,825 \text{ kN.}$$

Molempiin päihin sijoitetut T16-tapit pystyvät ottamaan vastaan saman verran kuormaa, kuten edellisessä esimerkissä 1, eli yhteensä 201 kN. Tällöin seinälinjalle ei tarvitse sijoittaa esimerkiksi seinäkenkiä, vaan saumateräkset pystyvät ottamaan kokonaan seinälle tulevan kuorman  $F_{tot}$ . Jos tilanne olisi sellainen että saumateräkset eivät pystyisi ottamaan kaikkea seinälle tulevaa kuormaa, niin tulisi silloin seinälinjalle sijoittaa esimerkiksi seinäkenkä. Kun käytetään sidontaa seinälinjalla, tulee huomioida että reunimmainen sidonta saa olla enintään 3 m:n päässä seinän vapaasta päästä.

Esimerkkinä 3 toimii pilari-palkki-ontelolaatta runkoinen kuvitteellinen toimistorakennus, joka kuuluu kuormaluokkaan B. Palkit ovat kooltaan 400 x 500 mm, pilarit 400 x 400 mm, pilarin korkeus 3 m ja ontelolaatat O32. Pintavalu on 50 mm. Hyötykuorman suuruus on 2,5 kN/m<sup>2</sup>.

Lasketaan pilarin 1 vaatimat pystysidonnat. Pilari kerää kuormaa sen viereisiltä palkeilta niiden puolestavälistä.



Kuva 15.

Omat painot:

$$\text{Ontelolaatta + pintavalu} = 4 \text{ kN/m}^2 + 1,25 \text{ kN/m}^2 = 5,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Palkin omapaino } 0,4 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 \text{ (betonin tilavuuspaino)} = 5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Pilarin omapaino } 3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 12 \text{ kN}$$

Täytyy huomioida, että palkki on konsolin päällä, joten sen pituus ei ole mittaviivan pituus vaan vasemmanpuolen palkin pituus on 4,4 m ja oikeanpuolen palkin pituus on 5,2 m.

Joten

$$g_{k,\text{palkki}} = (4,4 \text{ m}/2 + 5,2 \text{ m}/2) \times 5 \text{ kN/m} = 48 \text{ kN}$$

$$g_{k,\text{laatta}} = (4,8 \text{ m}/2 + 5,2 \text{ m}/2) \times (5,0 \text{ m}/2 + 5,6 \text{ m}/2) \times 5,25 \text{ kN/m}^2 = 139,125 \text{ kN}$$

$$g_{k,pilari} = 12 \text{ kN}$$

$$g_k = g_{k,palkki} + g_{k,laatta} + g_{k,pilari} = 199,125 \text{ kN}$$

ja

$$q_k = (4,8 \text{ m}/2 + 5,2 \text{ m}/2) \times (5,0 \text{ m}/2 + 5,6 \text{ m}/2) \times 2,5 \text{ kN/m}^2 = 66,25 \text{ kN}$$

Hyötykuorman yhdistelykertoimena käytetään toimistotilan  $\psi_2$  kerrointa, koska vallitseva muuttuvakuorma on muu kuin lumi-, jää-, tai tuulikuorma. Jos se olisi jokin näistä käytettäisiin kerrointa  $\psi_1$ .

$$\psi_2 = 0,3$$

$$F_{tot} = g_k + (0,3 \times q_k) = 219 \text{ kN}$$

Tässä tapauksessa pilarin pystysidonta voitaisiin toteuttaa esimerkiksi peikon pilarikengillä. Betonin lujuusluokka esimerkin pilarilla on C30/37 niin yksi HPKM 16 ottaa vastaan 62 kN vetoa, joten niitä tulisi pilariin sijoittaa neljä kappaletta, jolloin vetokestävyys olisi 248 kN. Pystysidonta on toimiva, sillä vetokestävyys on suurempi kuin  $F_{tot}$ .



## 6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda selkeä ja koottu kokoelma jatkuvan sortuman estämiseen liittyvistä asioista. Työ on tarkoitettu suunnittelijoiden tueksi jatkuvan sortuman estämisen suunnitteluun. Työ rajattiin koskemaan betonielementtisiä monikerrosrakennuksia. Työn alkuun saatiin koottua hyvää teoria tietoa jatkuvasta sortumasta ja mitä eri menetelmä sen estämiseksi on olemassa. Todettiin että sidejärjestelmän käyttö on yleisin menetelmä jatkuvan sortuman estämisessä. Työssä käytiin myös läpi eri pystysidonnan ratkaisuja, joista yleisimpiä ovat seinä- ja pilarikengät, kierreputket sekä saumateräkset. Työssä käytiin myös läpi muutamia laskuesimerkkejä.

Työlle oli selkeää tarvetta aiheen ajankohtaisuuden ja lähteiden niukkuuden vuoksi. Uskon työstä olevan selkeää apua muille rakennusalalla toimiville henkilöille. Selkeitä ja yksiselitteisiä ohjeita on vaikea jatkuvan sortuman estämisestä löytää, sekä eri lähteissä saattaa olla ristiriitaisia tietoja asiasta. On tärkeää vielä jatkossa tehdä useampia mitoitushjeita ja laskuesimerkkejä suunnittelijoille, jotta laskuista saadaan tasalaatuisia ja varmoja.

Työssä todettiin, että sidejärjestelmän käyttö on yleensä aina ensisijainen menetelmä jatkuvan sortuman estämiseksi. Sidejärjestelmä koostuu vaaka- ja pystysiteistä, joista vaakasiteitä käytetään rakenneluokassa CC2a. Sekä vaaka- että pystysiteitä käytetään yhdessä rakenneluokissa CC2b ja CC3. Opinnäytetyössä käytiin läpi myös yleisimpiä toteutusvaihtoehtoja, mitä pystysidontaan liittyy, jotka ovat kierreputki, seinä- ja pilarikengät sekä saumaraudat. Työhön saatiin myös sisällytettyä muutamia laskuesimerkkejä pystysidontaan vaikuttavien kuormien laskennasta. Laskut toimivat suunnittelijoille tukena pystysidonnan suunnittelussa.

Opinnäytetyö tehtiin Optiplanin toimeksi annosta Turun ammattikorkeakoulun lopputyönä. Odotuksia työlle oli luoda hyvä ja tiivis kokoelma jatkuvan sortuman estämiseen liittyvistä asioista. Tuloksena saatiin toimiva kokonaisuus, josta on varmasti hyötyä suunnittelun tueksi. Lähteiden niukkuuden takia ajateltiin työstä tulevan suppea kokonaisuus, mutta työn edetessä ja eri lähteitä tutkiessa tiedon määrä kasvoi riittävän laajaksi työn suorittamiseksi. Vaikka aihe rajattiin koskemaan erityisesti pystysidontaan liittyviä asioita, oli siitä saatavissa riittävästi tietoa, jotta siitä pystyttiin opinnäytetyö tekemään.

Jatkotoimenpiteinä voisi tehdä samantyyppisen työn myös vaakasidonnoista. Esimerkkilaskuja olisi myös hyvä saada aikaiseksi vaakasidontaan liittyen, jotta työstä olisi apua suunnittelijoille ja laskuista saataisiin varmoja ja tasalaatuisia. Työ rajattiin koskemaan betonielementtisiä monikerrostaloja, mutta jatkuvan sortuman estämisen suunnittelu liittyy myös hallimaisiin rakennuksiin sekä nyt kovassa nosteessa olevaan puurakentamiseen.

## LÄHTEET

Betoniyhdistys 2012. Betoninormikortti 23 EC. Liitosten suunnittelu ja mitoitus standardin SFS-EN 1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys Ry. Saatavilla <http://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/betoni-normikortit.html>, (21.02.2020)

Elementtisuunnittelu, Kerrospilarin ja palkin liitos (palkin liitos pilarin kohdalla) <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset/runkoliitokset> (17.2.2020.)

Elementtisuunnittelu, Pilarin pulttijatkos (suorakaidepilari) <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset/runkoliitokset> (17.2.2020.)

Smale, K. 2018. Insight | The Ronan Point legacy 50 years on. New Civil Engineering 16.5.2018. Viitattu 24.03.2020 <https://www.newcivilengineer.com/latest/insight-the-ronan-point-legacy-50-years-on-16-05-2018/>.

Optiplan Oy, Yrityksen sisäinen verkkolevy

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

Ympäristöministeriö, 2016, Rakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, säännökset ja ohjeet, YM [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden\\_lujuus\\_ja\\_vakaus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus), (4.2.2020)

Ympäristöministeriö, 2019, Kuormat, säännökset ja ohjeet, YM [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden\\_lujuus\\_ja\\_vakaus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus), (4.2.2020)