

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2021

Linda Jaatinen

BETONIRAKENTEISEN ASUINKERROSTALON ONNETTOMUUSTILANTEEN SIDETERÄSTEN MITOITUSTYÖKALU

– Eurokoodin mukainen mitoitustyökalu Vahanen
Suunnittelupalvelut Oy:n suunnittelijoiden käyttöön

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Ohjaaja DI Olli Hautaniemi

2021 | 72 sivua, 7 liitesivua

Linda Jaatinen

BETONIRAKENTEISEN ASUINKERROSTALON ONNETTOMUUSTILANTEEN SIDETERÄSTEN MITOITUSTYÖKALU

– Eurokoodin mukainen mitoitustyökalu Vahanen Suunnittelupalvelut Oy:n suunnittelijoiden käyttöön

Työn tavoitteena oli perehtyä betonirunkoisiin asuinkerrostaloihin liittyviin onnettomuustilanteisiin ja rakennusten vaurionsietokyvyn parantamiseen. Työn päämääränä oli tuottaa Vahanen Suunnittelupalvelut Oy:lle sideterästen mitoitustyökalu, jolla voidaan mitoittaa seuraamusluokkien CC2 ja CC3 vaaka- ja pystysiteet. Mitoitustyökalu perustuu Eurokoodeihin ja kansallisiin liitteisiin.

Betoni on monikäyttöinen rakennusmateriaali ja tyypillinen asuinkerrostalojen kantavana rakenteena. Kantavat seinät-laatta-runko on Suomessa yleisimmin käytetty betonisen asuinkerrostalon runkotyyppi. Pilari-palkki-laatta-runko on tyypillinen liike- ja pysäköintirakennuksissa. Keskusta-alueiden kerrostalot ovat usein näiden kahden runkotyyppin yhdistelmiä. Betoniset asuinkerrostalot sijoittuvat useimmiten seuraamusluokkaan CC2 tai CC3 eli niillä on keskisuuret tai suuret seuraamukset onnettomuustilanteissa. Seuraamusluokalla on vaikutusta menettelytapoihin mitoituksessa.

Ennalta määrittelemättömissä onnettomuustilanteissa kuormia ei tiedetä etukäteen. Rakenteen paikallinen vaurio voi aiheuttaa rakennuksessa jatkuvan sortuman, joka on seurausta kuormien uudelleenjakautumisesta jonkin rakenteen menetettyä kantavuutensa. Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreiitit varmistavat rakennuksen stabiiliuden onnettomuustilanteessa. Avainasemassa olevat rakenneosat, esimerkiksi nurkkapilarit, vaativat erityistarkastelua, sillä ne ovat merkittävässä roolissa koko rakennuksen vakaudelle.

Rakenteen monoliittisuutta parantava sidejärjestelmä koostuu vaaka- ja pystysiteistä. Tässä työssä siteinä tarkasteltiin betoniteräksiä. Työn lopputulokseksi muodostui kattava selvitys betonirakenteisten asuinkerrostalojen sideterästen mitoituksen prosesseista sekä mitoitustyökalut erikseen seuraamusluokkien CC2 ja CC3 rakennuksille toimeksiantajayrityksen suunnittelijoiden käyttöön.

ASIASANAT:

rakennesuunnittelu, mitoitus, sidejärjestelmä, onnettomuuskuorma, jatkuva sortuma, paikallinen vaurio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Olli Hautaniemi

2021 | 72 pages, 7 pages in appendices

Linda Jaatinen

A TYING SYSTEM DESIGNING TOOL FOR CONCRETE RESIDENTIAL APARTMENT BUILDINGS IN ACCIDENTAL ACTIONS

- The tying system designing tool based on Eurocodes for Vahanen
Suunnittelupalvelut Oy

The aim of the thesis was to study accidental actions in concrete residential apartment buildings and improve their damage tolerance. The goal of the thesis was to produce a tying system designing tool that can be used to design horizontal and vertical tying reinforcement. The thesis was commissioned by Vahanen Suunnittelupalvelut Oy. The designing tools are based on Eurocodes and national annexes.

Concrete is a multi-purpose building material. It is commonly used as a load-bearing structure for apartment buildings. The frame structure of load-bearing walls and slabs is the most used concrete residential building frame structure type in Finland. The frame structure of columns, beams and slabs is typically used in office and parking buildings. Apartment buildings in the city centers are often combinations of these two frame structure types. Concrete apartment buildings are often in consequence class CC2 or CC3 which means that in the event of an accident the consequences are moderate or severe. The consequence classification has an effect on the structural design processes.

The accidental loads are not known in advance if the accidental situations are unspecified. A local damage to the structure can cause continuous collapse in the building, which occurs when a structure loses its load-bearing capacity and loads are redistributed. Alternative load transfer routes ensure the stability of the building in the event of an accident. Key components, such as corner columns, require special consideration as they play a significant role in the stability of the entire building.

The tying system consists of horizontal ties and vertical ties. The tying system improves the monolithicity of the whole structure. In this thesis a tying system means reinforcing bars. The results of the thesis are an effective study of the tying system designing process for concrete apartment buildings and tying system designing tools for the consequence classes CC2 and CC3 respectively to be used by the designers of Vahanen Suunnittelupalvelut Oy.

KEYWORDS:

structural design, dimensioning, tying system, accidental loads, continuous collapse, local damage

SISÄLTÖ

KESKEISET TERMIT	7
1 TOIMEKSIANTO JA TAVOITTEET	9
1.1 Aluksi	9
1.2 Toimeksiantaja: Vahanen Suunnittelupalvelut Oy	10
1.3 Tavoitteet ja rajaukset	10
2 BETONIRAKENTEISET RUNKOJÄRJESTELMÄT	12
2.1 Betoni runkorakenteena	12
2.2 Kantavat runkojärjestelmät	13
2.3 Betonirungon jäykistys	14
3 SEURAAMUSLUOKAN MÄÄRÄYTYMINEN	16
3.1 Seuraamusluokat	16
3.2 Alaluokat onnettomuusrajatilassa	18
4 ONNETTOMUUSTILANTEIDEN HUOMIOINTI	21
4.1 Ennalta määritellyt ja määrittelemättömät onnettomuustilanteet	21
4.2 Paikallinen vaurio ja jatkuva sortuma	21
4.3 Menettelytavat vaurionsietokyvyn varmistamiseksi	24
4.4 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreiitit	25
4.5 Avainasemassa oleva rakenneos	27
5 ONNETTOMUUSRAJATILAMITOITUS	29
5.1 Rajatilat mitoituksessa	29
5.2 Onnettomuusrajatilan kuormien yhdistely	29
5.3 Osavarmuuslukumenettely	30
5.4 Pysyvät kuormat	31
5.5 Muuttuvat kuormat	31
5.5.1 Hyötykuormat	31
5.5.2 Luonnonkuormat	32
5.6 Onnettomuuskuormat	33
5.7 Törmäyskuormat	34

6 SIDEJÄRJESTELMÄT	36
6.1 Seuraamusluokan vaikutus menettelytavan valintaan	36
6.2 Nurkkapilari	37
6.3 Riskinarvio	38
6.4 Sidontaperiaate	38
6.4.1 Vaakasiteet	40
6.4.2 Seinien ja pilareiden vaakasuora sidonta välipohjaan	46
6.4.3 Pystysiteet	50
6.4.4 Laskelman lopputulos	51
7 LIITOKSET	53
7.1 Ankkurointi ja jatkokset	53
7.2 Nurkat	53
7.3 Saumateräkset	54
7.4 Vaaka- ja pystyrakenteiden liitokset	55
8 MITOITUSTYÖKALU	59
8.1 Suunnittelu ja toteutus	59
8.2 Laskentaprosessit ja lopputulokset	60
8.3 Mitoituspohjan toimivuuden testaaminen	61
9 LOPUKSI	63
LÄHTEET	65

LIITTEET

Liite 1. Sideterästen mitoituslaskelma, seuraamusluokka CC2b
Liite 2. Sideterästen mitoituslaskelma, seuraamusluokka CC3a

KAAVAT

Kaava 1. Onnettomuustilanne ja luonnonkuormat	29
Kaava 2. Onnettomuustilanne ja hyötykuormat	30
Kaava 3. Vaakasiteet	41
Kaava 4. Vaakasiteet	41
Kaava 5 Vaakasiteet	44

Kaava 6 Vaakasiteet	44
Kaava 7 Vaakasuora sidontavoima	47
Kaava 8 Vaakasuora sidontavoima	47
Kaava 9 Vaakasuora sidontavoima	49

KUVAT

Kuva 1. Kantavat seinät-laatta-runko	13
Kuva 2. Pilari-palkki-laatta-runko	14
Kuva 3. Asuinkerrostalojen korkeus ja seuraamusluokat onnettomuustilanteissa	19
Kuva 4. Seuraamusluokan määräytyminen onnettomuustilanteessa	20
Kuva 5. Paikallinen vaurio monikerrosrakennuksissa	22
Kuva 6. Esimerkkejä onnettomuuskuormien vaurioista	23
Kuva 7. Jatkuvan sortuman prosessi	23
Kuva 8. Menettely onnettomuustilanteissa	24
Kuva 9. Plastinen nivel vaurion seurauksena	25
Kuva 10. Nurkkapilarin vaurio	26
Kuva 11. Pilarin tai palkin vaurio	27
Kuva 12. Menettelytavat seuraamusluokissa	36
Kuva 13. Sidontaperiaate pilari-palkki-rungossa	39
Kuva 14. Sidontaperiaate seinät-laatta-rungossa	39
Kuva 15. Esimerkki vaakasidonnasta	40
Kuva 16. Sidevoimien T_i kertymäleveydet s_i	42
Kuva 17. Rengas- ja sisäpuolisten siteiden mitoittamisen prosessikaavio (CC2)	43
Kuva 18. Etäisyys z pilari-palkki-rungossa	44
Kuva 19. Etäisyys z kantavat seinät-laatta-rungossa	45
Kuva 20. Rengas- ja sisäpuolisten siteiden mitoittamisen prosessikaavio (CC3)	46
Kuva 21. Vaakasuoran sidontavoiman kertymäetäisyydet	47
Kuva 22. Pystyrakenteiden vaakasuoran sidontavoiman prosessikaavio (CC2)	48
Kuva 23. Pystyrakenteiden vaakasuoran sidontavoiman prosessikaavio (CC3)	50
Kuva 24. Pystysidonnän prosessikaavio.	51
Kuva 25. Rengasraudoitus nurkissa	54
Kuva 26. Väärin sijoitetut saumateräkset	54
Kuva 27. Laatan ja palkin liitos	55
Kuva 28. Ontelolaatan ja leukapalkin liitos	56
Kuva 29. Laatan ja seinän liitos	56
Kuva 30. Pilarin ja palkin liitos	57
Kuva 31. Kantavan seinän kiinnitys	57
Kuva 32. Kerrospilariliitos	58

TAULUKOT

Taulukko 1. Seuraamusluokat kansallisessa liitteessä	17
Taulukko 2. Kuormien yhdistelykertoimet	31
Taulukko 3. Hyötykuormat	32

KESKEISET TERMIT

avainasemassa oleva rakenneos	keskeinen rakenneos koko rakennuksen stabiiliudelle
ennalta määrittelemätön onnettomuustilanne	ennalta arvaamattomat sisäiset tai ulkoiset tapahtumat, joista johtuvia kuormia ei tiedetä etukäteen
jatkuva sortuma	paikallisesta vauriosta syntyvä kuormien uudelleenjakautumisen ja uusien syntyvien vaurioiden prosessi
kantavat seinät–laatta-runko	asuinkerrostaloille tyypillinen runkojärjestelmä, jossa laatat tukeutuvat kantaviin väliseiniin ja ulkoseiniin
onnettomuusrajatilamitoitus	eurokoodin mukainen kuormien yhdistelytapaus, jota tarkastellaan osana murtorajatilojen kuormitusyhdistelmiä
paikallinen vaurio	yksittäisen rakenneosan vaurioitumisesta aiheutunut alkusortuma
pilari–palkki–laatta-runko	liiketoiminta- ja pysäköintitiloille tyypillinen runkojärjestelmä, jossa laatat tukeutuvat palkkeihin, palkit pilareihin ja pilarit perustuksiin
pystysiteet	onnettomuusmitoitustilanteessa lasketun vetovoiman mukainen pilarien ja seinien sidonta jatkuvana perustuksista yläpohjaan

riskinarvio	CC3b-seuraamusluokan menettely riskien ennakoivaan analysoimiseen sekä ennakoimattomien että ennakoitujen riskien osalta
seuraamusluokitus	mahdollisiin taloudellisiin, sosiaalisiin ja ympäristövahinkoihin perustuva riskiluokitus, jolla hallitaan rakennusten onnettomuusmitoitustilanteita
sidontaperiaate	rakennekokonaisuuden monoliittisuuden parantaminen ja kuormien jakautumisen edistäminen sitomalla rakenteet toisiinsa esimerkiksi betoniterästen avulla
törmäyskuorma	liikenteestä rakennukselle aiheutuva vaakakuorma, joka on huomioitava onnettomuusmitoituksessa
vaakasiteet	väli- ja yläpohjien rengas- ja sisäpuoliset siteet sekä reunoissa sijaitsevien pystyrakenteiden vaakasuora sidonta välipohjiin
vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti	rakennekokonaisuuden riittävä staattinen määräämättömyys, joka sallii kuormien siirtyä vaihtoehtoisia reittejä pitkin onnettomuustilanteen jälkeen

1 TOIMEKSIANTO JA TAVOITTEET

1.1 Aluksi

Poikkeukselliset kuormitustilanteet voivat aiheuttaa rakennukselle vaurion, josta voi pahimmassa tapauksessa seurata koko rakennuksen sortuminen. Niin hitaat kuin nopeatkin olosuhteiden muutokset voivat olla syynä sortumiselle: esimerkiksi perustusten painuminen, epäsymmetriset lämpö- ja kosteusliikkeet tai vaikka räjähdys- ja törmäystilanteet voivat olla vaurion lähteitä. Onnettomuusmitoitus ja vaurionsietokyvyn parantaminen auttavat rakennusten liitoksia kestäämään myös poikkeuksellisia tilanteita. Päämääränä vaurionsietokyvyn parantamisessa on eurokoodin edellyttämä rakennuksen suunnittelu siten, että yksittäinen vaurio ei sorruta koko rakennusta. (Betoniyhdistys 2012, 2.)

Opinnäytetyön aiheena on betonirakenteisen asuinkerrostalon onnettomuustilanteet ja sideterästen mitoitus vaurionsietokyvyn parantamiseen. Työssä perehdytään mitoitusprosesseihin ja luodaan toimeksiantajalle eurokoodin mukainen sideterästen mitoitustyökalu suunnittelukäyttöön. Aihetta pohjustetaan esittelemällä aluksi yleisiä asioita betonirakenteista ja asuinkerrostalojen runkojärjestelmistä. Työssä esitellään asuinkerrostalojen seuraamusluokat ja selvitetään yksityiskohdat, joiden perusteella seuraamusluokka määritetään. Seuraamusluokalla on suoraan vaikutusta lopputuotoksen sideterästen laskentaan, sillä sen perusteella valikoituvat toimintaperiaatteet ja laskennassa käytettävät kaavat.

Rakennukset mitoitetaan myös muiden murtorajatilojen perusteella ja käyttörajatiloissa. Työssä tarkastellaan standardin mukaista onnettomuusrajatilamitoitusta ja selvitetään, minkälaisia kuormituksia rakennuksessa vaikuttaa onnettomuustilanteissa. Osa näistä kuormituksista vaikuttavat myös suoraan sideterästen laskentaan. Lopuksi työssä esitellään mitoitustyökalun luontiprosessi ja otteita lopputuloksista. Varsinainen mitoitustyökalu jää toimeksiantajan käyttöön. Pääasiallisena lähdeaineistona työssä toimivat standardit EN 1990, EN 1991 ja EN 1992 sekä kansalliset liitteet, RIL-julkaisut ja Betoniyhdistyksen julkaisut.

1.2 Toimeksiantaja: Vahanen Suunnittelupalvelut Oy

Opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Vahanen Suunnittelupalvelut Oy:lle, joka on osa Vahanen-yhtiötä. Vahanen-yhtiöt on suomalainen kiinteistö- ja rakennusalan konserni, joka tarjoaa kiinteistö- ja kaupunkikehitykseen, arkkitehtuuriin, suunnitteluun, rakentamiseen ja valvontaan, tutkimuksiin ja tarkastuksiin, energiaan ja kiinteistön elinkaareen sekä ympäristöön liittyviä palveluita. Kolmestatoista yrityksestä muodostuva konserni toimii Suomessa useammassa toimipisteessä ja tämän lisäksi myös Virossa ja Romaniassa. Koko konserni työllistää yli 500 asiantuntijaa. Vahanen Suunnittelupalvelut Oy tuottaa uudis- ja korjausrakennesuunnittelun palveluita. (Vahanen 2021.)

Opinnäytetyön aihe valikoitui sekä itse esitettyjen toiveiden että yrityksen tarpeiden perusteella. Yrityksellä ei ole ennestään sideterästen mitoituksesta omaa laskentapohjaa, mikä antoi tilaisuuden mielenkiintoiseen ja hyödylliseen aiheeseen opinnäytetyölle.

1.3 Tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tutkimuksen tarkoituksena on perehtyä betonirakenteisen asuinkerrostalon vaurionsietokyvyn parantamiseen ja siihen, mitä kaikkia pohjatietoja tarvitaan sideterästen mitoitukseen. Työn lopullisena tavoitteena on tuottaa suunnittelijoiden käyttöön sideterästen laskentaan tarkoitettu mitoitusyökalu. Onnettomuustilanteen siteiden mitoitus on kokonaisuudessaan laaja aihe, ja mitoitusprosessin yksityiskohtiin vaikuttavat monet seikat, kuten esimerkiksi rakennuksen koko, käyttötarkoitus, materiaalit ja olosuhteet sekä onnettomuustilanteen tyyppi.

Työssä käsitellään asuinkerrostaloja, joiden runko on betonirakenteinen. Vaikka sidejärjestelmien mitoitus olisi samanlaista tai samankaltaista muunlaisillakin rakenteilla, opinnäytetyö rajautuu kuitenkin vain betonirakenteiden tarkasteluun. Yleiset periaatteet ovat samat paikallavalu- ja elementtirungoissa, mutta käytännössä opinnäytetyön tarkastelu painottuu betonirakenteissa edelleen elementtirakenteiseen runkoon.

Runkotyypeistä tarkastellaan betonirakenteisille asuinkerrostaloille tyypillisiä kantavat seinät-laatta-runkoa ja pilari-palkki-laatta-runkoa. Seuraamusluokista laskennassa käsitellään sideterästen mitoituksen kannalta oleellisia luokkia CC2 ja CC3. Kun valitaan tarkasteluun asuinkerrostalot, rajaa se jo itsessään pois aiheeseen liittymättömät runkotyypit, kuten esimerkiksi hallirakennukset. Tämä puolestaan rajaa pois osan kuormitus-tilanteista sekä myös osan menettelytavoista. Asuinkerrostaloissa ei myöskään tyypillisesti käytetä pilari-laatta-runkoa, joka on enemmänkin toimisto- ja liikerakennuksissa käytettävä runkotyyppi (Betoniyhdistys 2013, 79), joten se rajautuu tärkeimmistä betoni-runkotyypeistä pois.

Opinnäytetyössä tarkastellaan betonirakenteisten asuinkerrostalojen kohdalla huomioitavat riskitilanteet, kuormat ja onnettomuusmitoitus sekä edetään näistä sidevoimien laskentaan ja sideterästen mitoitukseen. Onnettomuustilanteessa on monia riskitekijöitä, joita ei kaikkia ole mahdollista käydä läpi opinnäytetyön laajuuden puitteissa. Esimerkiksi yksittäisten kuormatyyppien laskentaa käsitellään jo kattavasti eurokoodissa, kansallisessa liitteessä, RIL-julkaisuissa sekä aiemmin tehdyissä opinnäytetyöissä. Huomioitavia asioita käsitellään vähintään yleisellä tasolla ja viitataan lähteisiin, joista saa aiheeseen lisätietoa.

Työn suunnitteluvaiheessa on nostettu esiin huomio siitä, että työn päätarkoitus on viedä laskentaprosessi ja mitoitus työkalun suunnittelu pitkälle, mutta tämän mitoituspohjan ei tarvitse tulla täysin valmiiksi esimerkiksi muotoilujen osalta. Pohjan käytettävyyteen ja ulkoasuun liittyvää kehitystyötä pystytään jatkamaan myös opinnäytetyön valmistuttua. Työn päätarkoitus on siis perehtyä onnettomuustilanteisiin ja vaurionsietokykyä parantavan sidejärjestelmän laskentaprosessiin ja viedä mitoitus työkalun kehittäminen mahdollisimman pitkälle.

2 BETONIRAKENTEISET RUNKOJÄRJESTELMÄT

2.1 Betoni runkorakenteena

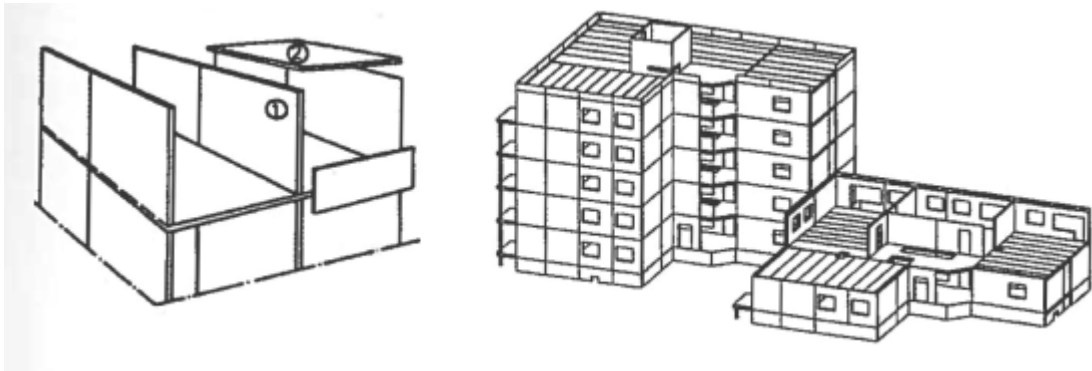
Betoni on pitkäikäinen ja monikäyttöinen rakennusmateriaali, ja se sopii hyvin kantaviin rakenteisiin. Betoni on rakennusmateriaalina edullinen. Sillä on hyvä puristuslujuus ja sen lujuusominaisuuksia voidaan säädellä kohteen vaatimusten mukaan. Teräsbetoni- ja jännebetonirakenteet mahdollistavat pitkät jännevälit. Betoni on jäykkää ja painavaa, joten se sietää hyvin värähtelyä ja eristää ääntä. (Betoniyhdistys 2013, 9–11.)

Runko tarkoittaa perustusten yläpuolista osaa, jonka pääasiallisena tehtävänä on siirtää rakennuksen kuormat perustuksille (Betoniyhdistys 2013, 77). Betonisen rakennusrungon rakennusosia ovat palkit, pilarit, laatat ja seinät. Palkit ja pilarit ovat sauvamaisia rakennusosia, kun taas laatat ja seinät levymäisiä rakennusosia. Eurokoodissa 2 määrittää rajat rakennusosien luokitteluun mittasuhteiden perusteella, mikä on tärkeää, kun täytyy ottaa huomioon sauvamaisten ja levymäisten rakenteiden erilaiset suunnittelu-säännöt sekä vaaka- ja pystyrakenteiden kuormitussuunnat. (Betoniyhdistys 2013, 79–80.)

Paikallavaletussa rungossa rakennusosat voidaan liittää toisiinsa monoliittisesti eli yhteisenä valuna. Liittämiseen voidaan käyttää myös valusaumoja ja tartuntaraidoitus- tai työsaumaraudoitusta. Elementtirakentamisessa taas rakenneosat liitetään yhteen liitoksilla työmaalla. (Betoniyhdistys 2013, 77.) Käytännössä tarkastelu painottuu työssä elementtirakenteisiin betonirunkoihin, vaikka sideterästen mitoituksen yleisperiaatteet ovatkin samat myös paikallavalurakenteissa. Syynä tähän painotukseen on elementtirunkojen yleisyys ja toimeksiantajan antama rajaus.

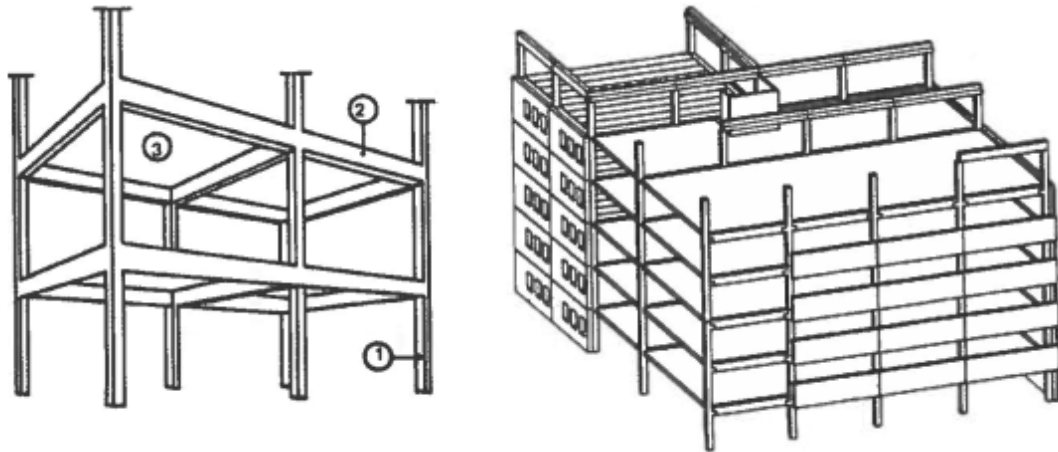
2.2 Kantavat runkojärjestelmät

Työssä tarkasteltavia runkojärjestelmiä ovat kantavat seinät-laatta-runko ja pilari-palkki-laatta-runko. Nämä ovat asuinkerrostaloissa tavallisesti käytetyt runkojärjestelmät (Rakennusteollisuus 2004). Kantaviin väliseiniin ja ulkoseiniin tukeutuva välipohjalaatasto on Suomessa asuinrakentamisessa tavallisimmin käytetty runkojärjestelmä (Rakennusteollisuus 2004). Tällä runkorakenteella toteutetaan nykyään lähes kaikki betoni-runkoiset asuinkerrostalot (Betoniyhdistys 2013, 77). Tästä runkorakenteesta esitetään kuvassa 1 vasemmalla perusidea ja oikealla nykyaikainen muunnelma. Vasemmanpuoleisessa kuvassa numero 1 osoittaa kantavan seinän ja numero 2 kantavan laatan.



Kuva 1. Kantavat seinät-laatta-runko (Suomen Betoniyhdistys 2013, 77).

Kantavat seinät-laatta-rungon lisäksi asuinkerrostaloihin sovelletaan myös pilari-palkki-runkoa tai näiden kahden yhdistelmää. Esimerkiksi keskusta-alueiden asuinrakennusten alimmat kerrokset voivat muodostua pilari-palkki-laatta-rungosta, mikäli nämä on suunniteltu liiketoimintaa tai pysäköintitarkoituksia varten. (Rakennusteollisuus 2004.) Runkotyyppi sellaisenaan on käytössä asuinrakennuksissa enemmän toimisto- ja liikerakennuksissa. Runkotyyppissä laatat tukeutuvat palkkeihin, palkit pilareihin ja pilarit perustuksiin. Yleisimmin käytetään ontelolaattoja, leukapalkkeja ja elementtipilareita, jotka ovat 1–3:n kerroksen korkuisia. (Betoniyhdistys 2013, 78.) Runkotyyppi on esitetty alla kuvassa 2, vasemmalla rungon perusidea ja oikealla nykyaikainen muunnelma. Vasemmanpuoleisessa rakennekokonaisuudessa numero 1 osoittaa pilarin, 2 palkin ja 3 laatan.



Kuva 2. Pilari–palkki–laatta-runko (Betonyhdistys 2013, 78).

2.3 Betonirungon jäykistys

Jäykistämällä on kaksi perusvaatimusta: vaakasuorien kuormien siirtyminen varmistetaan ilman suuria muodonmuutoksia ja jäykistävien rakenteiden stabiliteetin säilyminen. (Betonyhdistys 2008, 180.) Rakennuksen jäykistyksessä huomioitavia pystysuuntaisia kuormia ovat rakennusosien massa, maan massa, lumikuormat, henkilökuormat, tavarakuormat ja mahdolliset liikennekuormat. Vaakakuormia ovat tuulikuorma, vinoudesta tai epäkeskisyyksistä johtuvat lisävaakavoimat, maanpaineakuormat, liikennekuormat ja työkonekuormat. Lisäksi on huomioitava rakenteiden tukien painumista, jännevoimista, virumisesta ja kutumisesta johtuvat pakkovoimat. (Elementtisuunnittelu 2010.)

Asuinkerrostalossa jäykät välipohjalevyt siirtävät vaakavoimia jäykistävälle pystyrakenteille. Ontelolaatastoista tehdään jäykkiä levyjä rengas- ja saumaraudoituksen sekä saumavalujen avulla. Pystyrakenteiden vaakasidonta mahdollistaa sen, että vaakavoimat voivat siirtyä välipohjan kautta pystyrakenteille ja aina perustuksiin saakka. Kitka ja saumateräkset siirtävät kuormia välipohjilta jäykistävälle pystyosille. On myös varmistettava, että teräkset voivat siirtää vaadittavat minimivoimat onnettomuusmitoitusta ajatellen. (Elementtisuunnittelu 2010.) Raudoitusten ja sidonnan periaatteet esitellään myöhemmissä luvuissa. Asuinkerrostaloissa on tyypillisesti riittävästi jäykistäviä seiniä, ja kuormitusten aiheuttamien voimien vieminen perustuksiin on helppoa (Elementtisuunnittelu 2010).

Kantavat seinät–laatta-rungossa laatastot toimivat jäykistävinä vaakarakenteina ja seinät toimivat jäykistävinä pystyrakenteina seinän tason suunnassa. Seiniä tulee asetella rakennuksen kumpaankin pääsuuntaan, kuten kuvan 1 oikeanpuoleisessa nykyaikaisessa muunnelmassa on esitetty. Kantavien seinien ollessa vain yhteen suuntaan tulee jäykistys hoitaa myös rakennuksen toisessa suunnassa. Tämä toteutetaan sydänmastojäykistykseenä porrashuoneiden avulla tai levyjäykistykseenä ei-kantavien seinien avulla. (Betoniyhdistys 2013, 77–78.)

Pilari–palkki–laattarunkoisen rakennuksen jäykistys tehdään yleensä sydänmastojäykistykseenä. Jäykistävä pystyrakenne on tällöin porrashuone ja jäykistävä vaakarakenne välipohjalaatasto. Aiemmin paikallavaluina tehtyjen pilari–palkki–laattarunkojen rakennusosat muodostavat jäykistävän kehärakenteen, joka toimii kehäjäykistykseenä muutaman kerroksen korkuisille rakennuksille. Näitä ei kuitenkaan uudisrakentamisessa enää juurita Suomessa. (Betoniyhdistys 2013, 78.) Mikäli käytetään yhdistelmärunkoa, jossa alin kerros on toteutettu pilari–palkki–laatta-rungolla ja ylemmät kerrokset kantavat seinät–laatta-rungolla, tulee jäykistämiseen käyttää porrashuoneiden ja hissikulujen seiniä (Elementtisuunnittelu 2010).

Rungon jäykistämisen ansiosta rakennukseen kohdistuvat vaakasuuntaiset rasitukset saadaan siirrettyä maapohjaan. Rakennuksen on säilytettävä vakautensa kokonaisuutena myös onnettomuustilanteessa. Tarkempaa jäykistämiseen liittyvää laskentaa ei käsitellä opinnäytetyön puitteissa eikä jäykistämisen laskenta suoranaisesti vaikuta sideterästen mitoitusyökalun suunnitteluun. On kuitenkin tärkeää, että rakennuksen jäykistys on suunniteltu oikein ja mitoitusyökalulla laskettavat sideteräkset voidaan ankkuroida jäykistäviin rakenneosiin.

Esimerkiksi kuormia siirtävät korvaavat rakennesysteemit edellyttävät jäykistysjärjestelmän toimivuutta kokonaisuutena onnettomuustilanteen jälkeenkin. Betoninormikortissa 23 edellytetään, että jokaisessa rakennuksessa tai liikuntasauomalohkossa olisi vähintään kaksi jäykistävästä rakennetta molemmissa suunnissa. Jäykistävät rakenteet olisi mahdollisuuksien mukaan myös sijoitettava kauas toisistaan. Tämä varmistaa sen, että onnettomuustilanteen sattuessa kaikki jäykistävät rakenteet eivät altistu samanaikaisesti onnettomuuskuormille. Jos yksi jäykistävästä rakenteista vaurioituu, varmistaisivat loput kolme rakennetta rakennuksen kokonaisvakauden säilymisen. (Betoniyhdistys 2012, 16.)

3 SEURAAMUSLUOKAN MÄÄRÄYTYMINEN

3.1 Seuraamusluokat

Eurokoodi määrittelee rakennuksille kolme seuraamusluokkaa. Luokka CC1 tarkoittaa vähäisiä vaurion seuraamuksia, luokka CC2 keskisuuria seuraamuksia ja CC3 suuria seuraamuksia. Seuraamusluokitus perustuu siihen, millainen merkitys rakenteella on henkilöturvallisuudelle ja mahdollisen onnettomuuden aiheuttamille vaurioille taloudellisesti, sosiaalisesti tai ympäristön kannalta. Luokitusta ei käytetä ainoastaan onnettomuuksien hallintaan, vaan yleisesti luotettavuuden hallintaan. (RIL 201-4-2017, 31.) Murtorajatilassa seuraamusluokalla on vaikutus kuormakertoimen K_{FI} määrittämiseen, mutta kyseinen kerroin ei esiinny onnettomuustilanteiden kuormitusyhdistelyssä (RIL 201-4-2017, 31). Onnettomuustilanteiden vaurionsietokyvyn varmistamisessa seuraamusluokka määrittelee vaaditun menettelytavan ja sideteräslaskennassa käytettävät laskukaavat (RIL 201-4-2017, 35–36). Eurokoodin SFS-EN-1990 liite B:ssä esitetään seuraamusluokkien pääjako. Kyseisen Eurokoodin kansallisessa liitteessä täsmennetään rakennuksien ja rakenteiden seuraamusluokkien kriteerejä taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Seuraamusluokat kansallisessa liitteessä (Ympäristöministeriö 2016, 23).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko ¹⁾ jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten - yli 8-kerroksiset ²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot - raskaasti kuormitetut 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	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristö-vahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	1- ja 2-kerroksiset ²⁾ rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä ³⁾ kuten esim. pienehköt varastot ja maatalouden tuotantorakennukset, joiden pinta-ala on enintään 300 m ² tai suurin jänneväli enintään 6 metriä. Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten - matalalla olevat terassit ja alapohjat, ilman kellaritiloja - ryömintätilaiset 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.

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

²⁾ kellarikerrokset mukaan luettuina.

³⁾ tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei siellä pidempään viipymistä.

Yleisesti esimerkiksi varastot luokitellaan vähäisin seurauksin, kun taas esimerkiksi suuret konserttitalot suurin seurauksin. Asuinrakennukset sijoittuvat yleensä keskisuurten seuraamusten luokkaan. On kuitenkin huomioitava, ettei luokkiin jako ole näin yksiselitteinen. Esimerkiksi laajarunkoinen jätteenvarastointihalli ei pääsääntöisesti voi olla luokassa CC3, oli jänneväli kuinka suuri tahansa. Toisaalta pienikin yksikerroksinen rakennus voidaan sijoittaa luokkaan CC3 esimerkiksi ympäristöriskien takia. (RIL 201-4-2017, 33.) Rakennuksen eri osat voidaan sijoittaa eri seuraamusluokkiin perustellusta syystä.

Yksittäisiä rakenneosia ei kuitenkaan pääsääntöisesti voida tarkastella eri seuraamusluokissa (RIL 201-2-2017, 105), ellei kyse ole avainasemassa olevasta rakenneosasta (RIL 201-4-2017, 48). Avainasemassa oleviin rakenneosiin palataan myöhemmin.

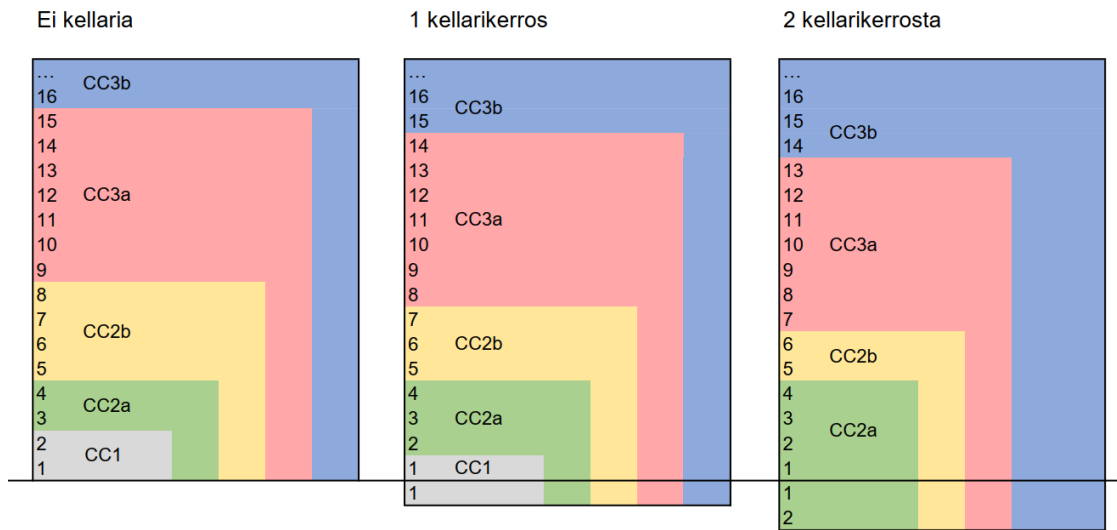
3.2 Alaluokat onnettomuusrajatilassa

Eurokoodin 1991 kansallinen liite ohjeistaa jakamaan seuraamusluokat CC2 ja CC3 onnettomuusrajatilassa alaluokkiin CC2a, CC2b, CC3a ja CC3b. Seuraamusluokkaan CC1 voidaan sijoittaa 1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa oleskellaan vain tilapäisesti. (Ympäristöministeriö 2019, 38.)

Seuraamusluokka CC2a on melko pienen riskin ryhmä. Tähän luokkaan kuuluvissa rakennuksissa voi olla korkeintaan neljä maanpäällistä kerrosta tai rakennuksen korkeus saa olla enintään 16 metriä maanpinnasta. Seuraamusluokka CC2b on melko suuren riskin ryhmä. Siihen kuuluvat rakenteet, jotka eivät voi ominaisuuksiltaan sijoittua muihin seuraamusluokkiin. (Ympäristöministeriö 2019, 38.)

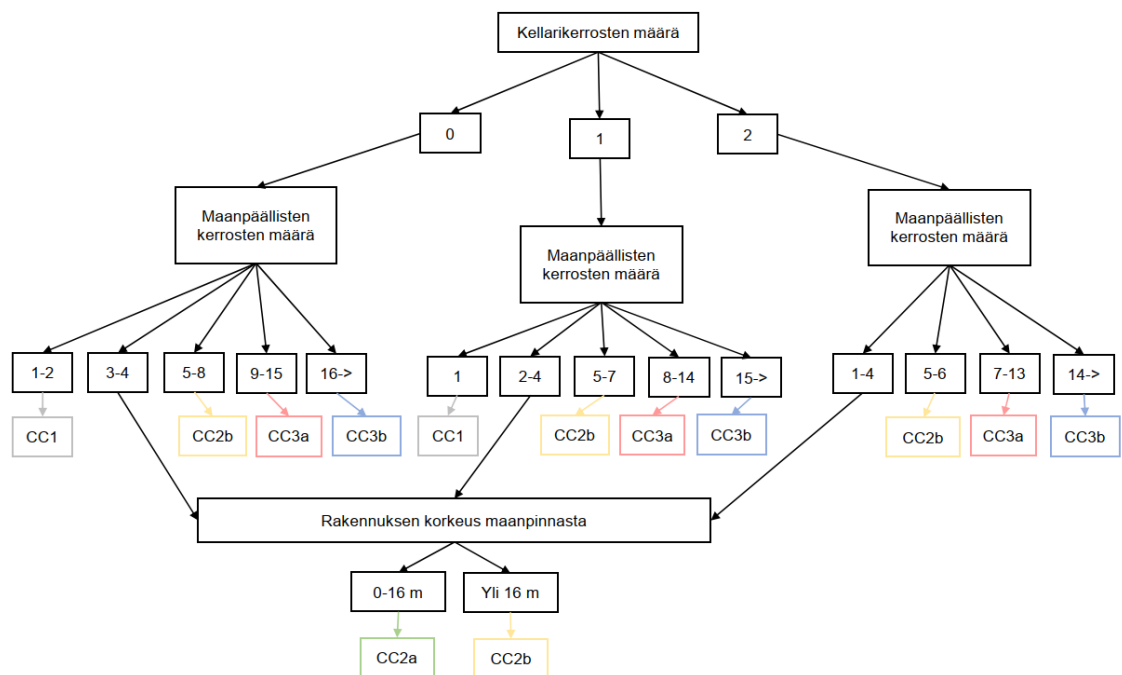
Asuinrakennukset, jotka ovat 9–15-kerroksisia kellarikerrokset mukaan luettuna, sijoittuvat seuraamusluokkaan CC3a. Seuraamusluokka CC3b sisältää erikoisempia ja raskaasti kuormitetumpia rakennuksia ja rakenteita. Erityisen pitkät jännevälit, suuret joukot ihmisiä rakennuksessa ja suuri kerrosluku vie rakennuksen seuraamusluokkaan CC3b. (Ympäristöministeriö 2019, 38.)

Kuvassa 3 on hahmoteltu eurokoodin ja kansallisen liitteen mukainen onnettomuusrajatilan seuraamusluokkiin määräytyminen kerrostalon kerroslukumäärien ja kellarikerrosten määrän perusteella. Kuvassa ovat esimerkkeinä tapaukset ilman kellaria, yhdellä kellarikerroksella ja kahdella kellarikerroksella. Pelkkä kerrosluku ei kuitenkaan määrää kaikkea, vaan on muistettava huomioida myös muut kriteerit ja riskien arviointiin perustuvat päätökset.



Kuva 3. Asuinkerrostalojen korkeus ja seuraamusluokat onnettomuustilanteissa.

Opinnäytetyössä käsitellään asuinkerrostalojen seuraamusluokkia CC2 ja CC3. Asuinrakennuksista ainoastaan enintään kaksi kerrosta sisältävät rakennukset voidaan mitoitaa onnettomuustilanteissa seuraamusluokassa CC1, muuten ne sijoittuvat seuraamuksiltaan käytännössä automaattisesti vähintään luokkaan CC2 (Ympäristöministeriö 2019, 38). Eurokoodin ja kansallisen liitteen ohjeet sekä kuvan 3 hahmotelma voidaan jalostaa edelleen prosessikaavioksi seuraamusluokan valintaan onnettomuustilanteessa. Seuraamusluokan valinnan prosessikaavio on esitetty alla kuvassa 4.



Kuva 4. Seuraamusluokan määräytyminen onnettomuustilanteessa.

Prosessikaavio ottaa huomioon kerrostalot, joissa on enintään kaksi kellarikerrosta, sekä myös CC2-luokan kohdalla vaikuttavan rakennuksen korkeuskriteerin. On tyypillistä, että asuinkerrostaloja tarkastellessa kyseeseen tulevat useimmiten seuraamusluokat CC2b tai CC3a.

4 ONNETTOMUUSTILANTEIDEN HUOMIOINTI

4.1 Ennalta määritellyt ja määrittelemättömät onnettomuustilanteet

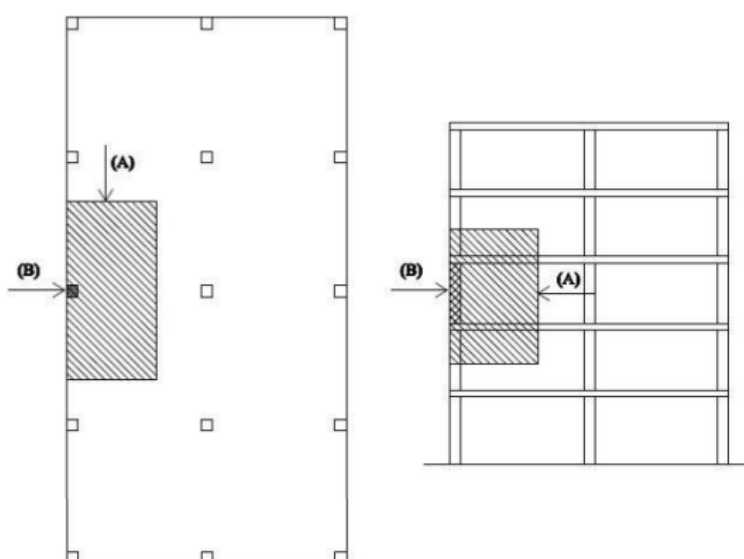
Onnettomuustilanteet ovat äkillisiä suuria kuormitustilanteita, jotka saattavat vaurioittaa rakennusta. Rakennus voi vaurioitua ennalta määritellystä tai ennalta määrittelemättömästä syystä. Ennalta määritellyissä onnettomuustilanteissa riskit ja niiden myötä myös kuormat ovat tiedossa etukäteen. (RIL 201-2-2017, 99.) Näihin kuuluvat esimerkiksi räjähdys, törmäys, tulipalo tai seismisillä alueilla myös maanjäristykset (RIL 201-4-2017, 17).

Opinnäytetyössä käsitellään ensisijaisesti ennalta määrittelemättömiä onnettomuustilanteita. Näissä tilanteissa kuormia ei tiedetä etukäteen, joten ennakoivat toimintaperiaatteet ovat erilaisia kuin ennalta määriteltyjen tilanteiden osalta. Tällaisia onnettomuustilanteita voivat olla ennalta arvaamattomat sisäiset tai ulkoiset tapahtumat, kuten esimerkiksi rakenneosan pettäminen, perustuksen painuminen, seuraukset inhimillisistä erehdyksistä suunnittelussa tai rakentamisessa, epäsymmetriset lämpö- ja kosteusliikkeet tai yllättävä räjähdys. Myös tunnettu kuorma voi aiheuttaa ennakoimattoman onnettomuustilanteen, mikäli kuorma vaikuttaa eri suunnassa kuin on ennakoitu. (RIL 201-4-2017, 17.)

4.2 Paikallinen vaurio ja jatkuva sortuma

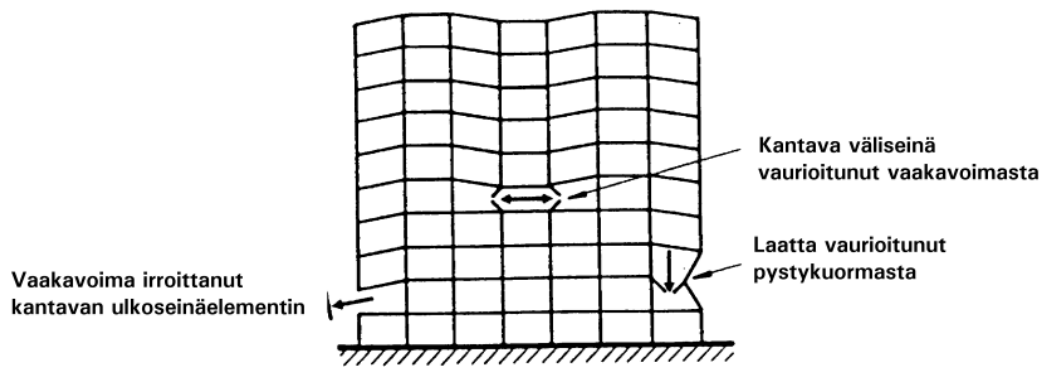
Paikallinen vaurio on yksittäisen rakenneosan vaurioitumisesta aiheutunut alkusortuma (Betonyhdistys 2012, 3). Se voi johtua esimerkiksi rakenteen viasta tai puutteesta, jolloin se ei kestä sille suunniteltua kuormitusta, vaan menettää kantavuutensa. Viallisen rakenteen kantavuuden menetykseen ei välttämättä tarvita edes täyttä mitoituskuormaa, saati ylikuormitusta. (RIL 201-4-2017, 20.)

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan monikerroksisten rakennusten paikallinen vaurio saa olla laajuudeltaan enintään 15 % kyseisen kerroksen lattiapinta-alasta, enintään 100 m² kerrosta kohden ja vaurio voi esiintyä enintään kahdessa päällekkäisessä kerroksessa. (Ympäristöministeriö 2019, 36.) Kuvassa 5 on kansallisen liitteen mukaan esitetty tasopiirros ja poikkileikkaus monikerroksisen rakennuksen hyväksyttävästä paikallisen vaurion laajuudesta. A tarkoittaa paikallisen vaurion aluetta ja B poistettavaksi ajateltua rakenneosaa, tässä tapauksessa pilaria. On kuitenkin huomioitava, että jos paikallisen vaurion laajuutta ei pystytä arvioimaan luotettavasti, sitä ei voida sallia ollenkaan (RIL 201-4-2017, 41).



Kuva 5. Paikallinen vaurio monikerrosrakennuksissa (Ympäristöministeriö 2019, 36).

Staattisesti määrätyissä rakenteissa paikallinen vaurio voi syntyä tuentaan tai kiinnitykseen liittyvissä tilanteissa. Esimerkiksi nivelellisesti kiinnitetyn palkin pään putoaminen tuelta aiheuttaa paikallisen vaurion ja mahdollisesti jatkuvan sortuman. Rakenteen staattinen määräämättömyys puolestaan voi sinänsä suojata rakenteita vaurioilta, mutta rakenteiden käyttäytymisen ennustaminen vauriotilanteessa on vaikeampaa. Vakavimmat vauriot koskevat pystyrakenteiden kantavuuden menetyksiä, etenkin jos tilanteet etenevät äkillisesti. (RIL 201-4-2017, 20.) Kuvassa 6 esitetään esimerkkejä paikallisista vaurioista, jotka ovat syntyneet onnettomuuskuormista.



Kuva 6. Esimerkkejä onnettomuuskuormien vaurioista (Betoniyhdistys 2012, 2).

Paikallinen vaurio rakenteessa voi johtaa jatkuvaan sortumaan, joka puolestaan on kuormien uudelleen jakautumisen seurausta. Prosessi voi olla äkillisesti kehittyvä tai hitaasti etenevä. (RIL 201-4-2017, 20.) Jatkuvan sortuman prosessi esitetään kuvassa 7.

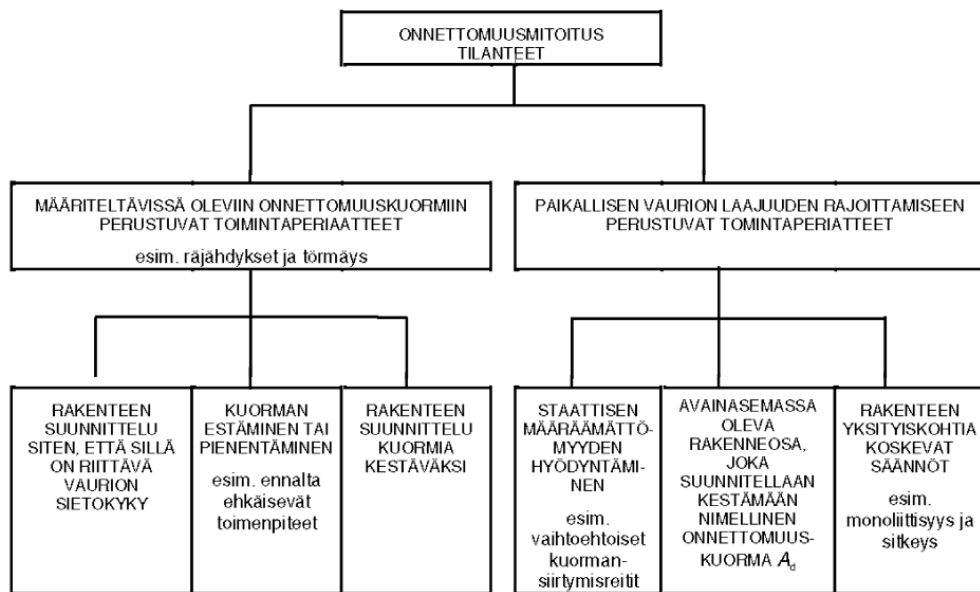


Kuva 7. Jatkuvan sortuman prosessi (RIL 201-4-2017, 21).

Kun ensimmäinen paikallinen vaurio syntyy, kuormat jakautuvat uudelleen muiden rakenneosien kannettavaksi. Sortumisen prosessi syntyy ja jatkuu edelleen, mikäli rakenteessa on lisää kohtia, joiden kantavuus ei riitä kuormien uudelleenjakautumiseen. Kun vaurio on edennyt rakenteisiin, joiden kantavuus jälleen riittää uudelleen jakautuneillekin kuormille, sortuminen pysähtyy. (RIL 201-4-2017, 21.)

4.3 Menettelytavat vaurionsietokyvyn varmistamiseksi

Rakenteet on suunniteltava siten, että mahdollisten onnettomuustilanteiden vaikutukset on otettu huomioon (RIL 201-2-2017, 99). Kuvassa 8 esitetään onnettomuusmitoitustilanteisiin perustuvat toimintaperiaatteet. Onnettomuustilanteet voidaan ottaa huomioon suunnittelussa usealla eri tavalla ja tapojen yhdistelmällä. Pääsääntöisesti vaurioherkkiä rakenneratkaisuja on pyrittävä välttämään (RIL 201-4-2017, 21).



Kuva 8. Menettely onnettomuustilanteissa (Eurokoodi 1991-1-7, 26).

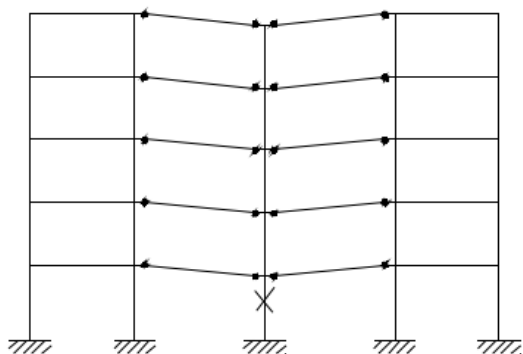
Kun onnettomuuskuormat ovat määriteltävissä, voidaan rakenteet suunnitella sietämään ennakoitua vauriota, kestävämpiä kuormia ja pyrkiä estämään tai pienentämään ennakoituja kuormia. Ennakoimattomien onnettomuustilanteiden varalle pyritään rajoittamaan paikallisen vaurion laajuutta rakenteessa, sen varalta että sellainen syntyy ja uhkaa aiheuttaa jatkuvan sortuman. Tällöin voidaan hyödyntää rakenteen staattista määräämättömyyttä esimerkiksi luomalla vaihtoehtoisia kuormansiirtymisreittejä ja

parantaa rakenteiden monoliittisuutta ja sitkeyttä. Useissa tapauksissa rakennukselle on määriteltävä avainasemassa olevia rakenneosia, joiden on kestettävä onnettomuuskuormat. (RIL 201-2-2017, 99.)

Vaurion seuraamuksia voidaan joissain tapauksissa rajata jakamalla runko osastoihin. Tällöin muodostetaan osastoista itsenäisiä rungon osia ja varmistetaan esimerkiksi tuentojen ja liitosten avulla, että vaurio ei pääse jatkumaan osastojen reunojen yli. Osaston koon voi joissain tapauksissa rajata myös hyväksyttävän sortuma-alueen kokoiseksi. Tätä menettelyä ei kuitenkaan voida käyttää monikerroksisissa asuinrakennuksissa. (RIL 201-4-2017, 19–20.)

4.4 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit

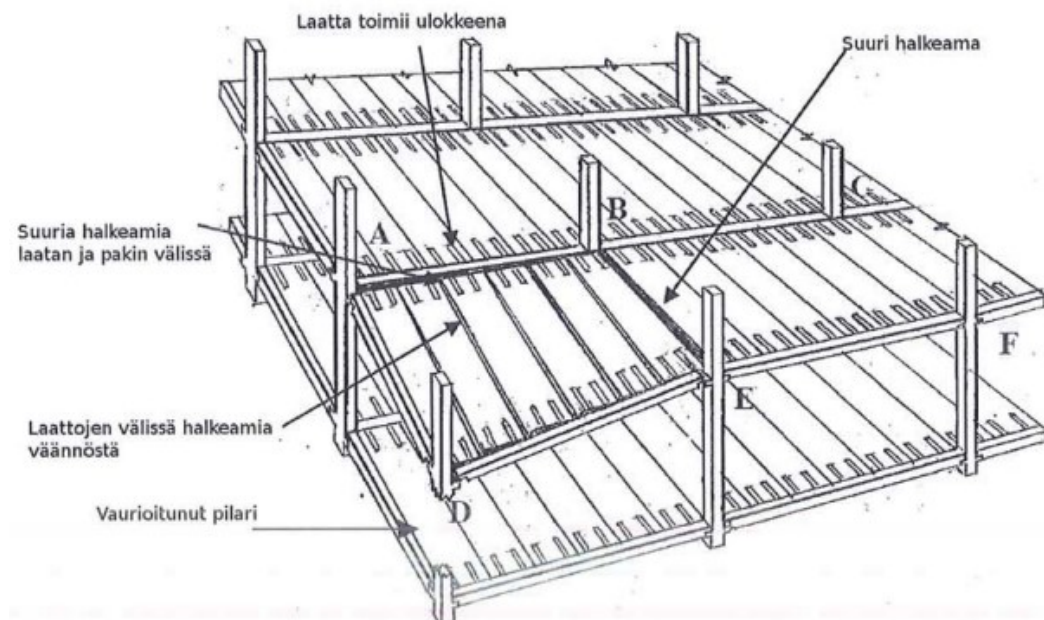
Vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien menetelmän lähtökohtana on, että jokin tietty rakenneosa poistuu kokonaisuudesta esimerkiksi sortumalla. Tällöin tarkastellaan lähellä olevien rakenteiden toimintaa muuttuneessa tilanteessa ja mahdollisia vaihtoehtoisia kuormien kulkureittejä yhden rakenteen poistuttua. Rakenteen stabiiliuden säilyminen ja laajempien sortumien välttäminen toteutetaan sitomalla rakenteet toisiinsa. Silloin jäljelle jäävät rakenteet toimivat yhdistelmärakenteena ja jakavat uudet kuormitukset laajasti runkoon. Rakenteen monoliittisuus siis paranee. (RIL 201-4-2017, 18–19.) Korvaava rakennesysteemi edellyttää, että rakenteisiin sallitaan syntyvän plastisia niveliä, jolloin on sallittava suuriakin muodonmuutoksia siten, ettei rakenne kuitenkaan sorsu. Rakenteiden toisiinsa sidonta on juuri tässä tärkeää, sillä liitokset vaativat suurta muodonmuutoskykyä. (Betonyhdistys 2012, 4.) Alla kuvassa 9 esitetään plastisten nivelten syntyminen kerrostalon rakennekokonaisuuteen.



Kuva 9. Plastinen nivel vaurion seurauksena (Betonyhdistys 2012, 5).

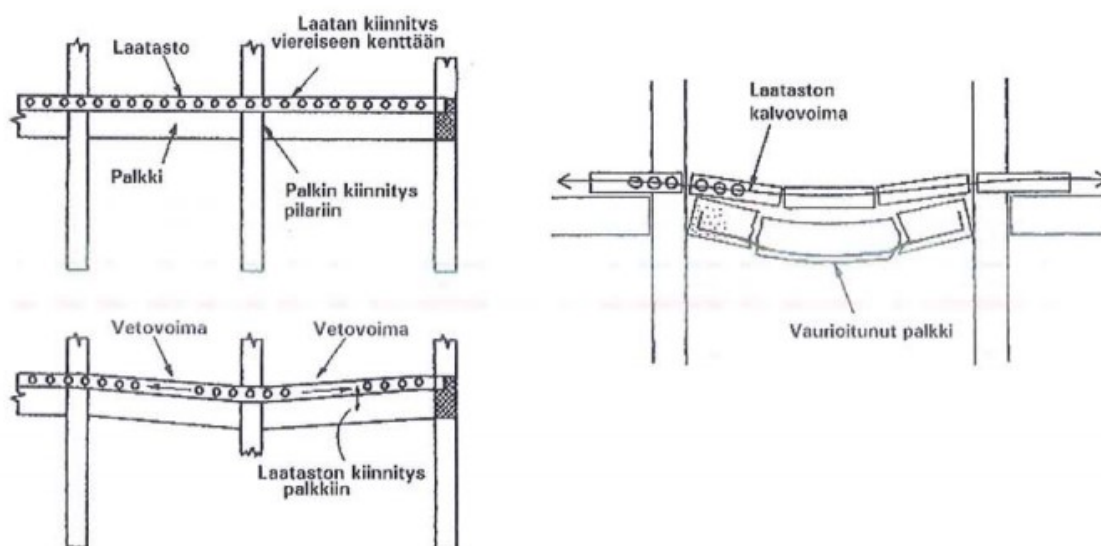
Ennakoiduissa onnettomuustilanteissa tämän menetelmän käyttö suunnittelussa tarkoittaa käytännössä rakenneosien mitoittamista onnettomuuskuormia kestäviksi tai että onnettomuuksien vaikutuksia pyritään pienentämään suojarakenteilla. Rungolta vaaditaan stabiiliutta tätä menetelmää käytettäessä. Ennakoimattomissa onnettomuustilanteissa onnettomuuskuormien tyyppiä tai kuormien suuntia ei tunneta. Vaihtoehtoisten kuorman-siirtoreittien menetelmä on tässä tapauksessa hyvin samankaltainen kuin sidejärjestelmämenettely, jonka tavoitteena on sitoa rakenteet toisiinsa laajempien vaurioiden estämiseksi. (RIL 201-4-2017, 45–46.) Sidejärjestelmä on ensisijainen menettely lähes kaikkien monikerroksisten rakennusten kohdalla (RIL 201-4-2017, 42). Sidontaperiaate ja sidevoimien laskenta esitetään myöhemmin luvussa 6.

Alla kuvassa 10 esitetään esimerkkutilanne, jossa pilari–palkki–laatta-runkoisen rakennuksen nurkkapilari on vaurioitunut onnettomuuskuormista. Rakenteen kuormitukset muuttuvat, jolloin syntyy vääntöä ja halkeamia, ja laatat toimivat ulokkeina kantaa uudelleen jakautunutta kuormaa. Tavoitteena on lisätä nurkkapilarin kestävyyttä kantaa kuormia onnettomuustilanteissa. Keinoja tähän voivat olla esimerkiksi kuormien siirtäminen ehjälle rakenteelle diagonaalien avulla tai käyttämällä kahta pilaria nurkassa. (Betoniyhdistys 2012, 12.)



Kuva 10. Nurkkapilarin vaurio (Betoniyhdistys 2012, 12).

Kuvassa 11 taas esitetään tilanteet, joissa pilari tai palkki vaurioituu onnettomuuskuormista. Sideteräkset, joita tämän työn lopputuotoksena syntyvällä mitoitusyökalulla mitoitetaan, estävät elementtien putoamisen onnettomuustilanteessa ja saavat aikaan kalvorakenteen, joka kantaa vaurioalueen yli. Kalvorakenne eli laataston kalvovoima esitetään kuvassa 11 oikealla puolella. Sideteräkset edesauttavat kuormien jakautumista tasaisesti laatastolle. (Betonyhdistys 2012, 23.)



Kuva 11. Pilarin tai palkin vaurio (Betonyhdistys 2012, 23).

4.5 Avainasemassa oleva rakenneosa

Jos jokin tietty rakenneosa on merkittävässä roolissa koko rakennuksen stabiiliudelle, se voidaan suunnitella avainasemassa olevana rakenneosana. Koko rakennejärjestelmän vaurionsietokykyä parannetaan nostamalla avainasemassa olevan rakenneosan kestävyttä ja sitkeyttä. (RIL 201-4-2017, 19.) Tätä menettelyä voidaan käyttää CC2- ja CC3-seuraamusluokissa, mikäli ei löydetä muuta teknisesti ja taloudellisesti järkevää mahdollisuutta, esimerkiksi vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä käyttäen (RIL 201-4-2017, 47). Avainasemassa olevia rakenneosia saa kuitenkin olla vain vähän, eikä niiden vahvistustarpeen tulisi olla kovin suuri (RIL 201-4-2017, 19).

Jos avainasemassa olevan rakenneosan kuormitus voidaan tunnistaa etukäteen eli kyseessä on ennalta määritelty onnettomuustilanne, menetellään silloin normaalin onnettomuusrajatilan mitoituksen mukaan. Tämä esitellään seuraavassa luvussa.

Riskiärviossa voidaan myös todeta, että avainasemassa oleva rakenneosa tulee mitoit-
taa ennalta määrittelemättömälle onnettomuuskuormalle. Rakenneosan luotettavuutta li-
sätään esimerkiksi nostamalla seuraamusluokkaa, lisäämällä staattista määräämättö-
myyttä tai sopimalla pienemmästä käyttöasteesta. (RIL 201-4-2017, 48.)

Erityisesti korkeammassa seuraamusluokissa tarkastellaan nurkkapilareita mahdollisina
avainasemassa olevina rakenneosina. Sama pätee sellaisten pilarien tarkasteluun, jotka
sijaitsevat parkkihalleissa asuinrakennusten alakerroksissa. Asuinkerrostaloissa hu-
mion arvoisia rakenteita ovat myös pilarit, joihin parvekkeet tukeutuvat. Jos lähellä on
ajoneuvoliikennettä, pilarit tulee mitoitaa törmäyskuormia kestäviksi, sillä sidonnalla ei
pystytä riittävästi takaamaan ulokkeiksi muuttuvien parvekerakenteiden vaurionsietoky-
kyä.

5 ONNETTOMUUSRAJATILAMITOITUS

5.1 Rajatilat mitoituksessa

Rakennusta kuormittavat useat erilaiset pitkäaikaiset ja lyhytaikaiset kuormat, ja rakennusten kuormituksia tarkastellaan erilaisissa rajatiloissa. Murtorajatilat liittyvät turvallisuuteen ja varmuuteen (SFS-EN 1990, 54), ja käyttörajatilat liittyvät käyttömukavuuteen ja ulkonäköön (SFS-EN 1990, 56). Kuormien yhdistely esitetään Eurokoodi 1990:ssä ja sen kansallisessa liitteessä. Murtorajatiilojen kuormitusyhdistelmiä ovat rakenteen tai rakennuksen staattinen tasapaino (EQU), kestävyys tai geotekninen kantavuus (STR), geotekninen kantavuus (GEO) sekä onnettomuustilanne. (RIL 201-4-2017, 40–41.) Onnettomuustilanteen mitoituksessa yhdistetään pysyvät kuormat, esijännitysvoiman edustava arvo, onnettomuuskuorma, määräävä muuttuva kuorma ja muut muuttuvat kuormat (RIL 201-4-2017, 41-42). Muiden kuormitustapausten rakenteita voidaan hyödyntää tarkastellessa onnettomuustilannemitoitusta (RIL 201-4-2017, 18).

Aiemmin luvussa 3 esitetyt seuraamusluokat määrittävät kuormien yhdistelykaavoissa käytettävät kuormakertoimet K_{Fi} . Tätä kerrointa käytetään kaikissa muissa rajatilamitoituksen yhdistelmissä, mutta ei onnettomuustilanteessa. (RIL 201-4-2017, 40–41.) Koska opinnäytetyön aihepiirinä on nimenomaan onnettomuustilanne, jätetään muiden rajatilojen kuormien yhdistely esittämättä.

5.2 Onnettomuusrajatilan kuormien yhdistely

Kaavoissa 1 ja 2 $G_{k,j}$ merkitsee pysyviä kuormia, P esijännitysvoiman edustavaa arvoa, A_d onnettomuuskuorman mitoitusarvoa, $\Psi_{1,1}$ ja $\Psi_{2,i}$ muuttuvien kuormien yhdistelykertoimia sekä $Q_{k,1}$ ja $Q_{k,i}$ muuttuvia kuormia.

Onnettomuustilanteen kuormien yhdistely, kun pääasiallinen muuttuva kuorma ($Q_{k,1}$) on lumi-, jää- tai tuulikuorma:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kaava 1. Onnettomuustilanne ja luonnonkuormat (RIL 201-4-2017, 41).

Onnettomuustilanteen kuormien yhdistely, kun pääasiallinen muuttuva kuorma ($Q_{k,1}$) on jokin muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kaava 2. Onnettomuustilanne ja hyötykuormat (RIL 201-4-2017, 41).

Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan erilaisia kuormat, jotka voivat vaikuttaa onnettomuustilanteisiin ja joita voidaan tarvita onnettomuustilanteen mitoittamiseen. Tarkkaa laskentaa ei käydä opinnäytetyön puitteissa läpi, vaan käsitellään perusasiat ja viitataan lähteisiin, joista tarkemmat menettelyt käyvät ilmi.

5.3 Osavarmuuslukumenettely

Onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyn kaavojen erona on pääasiallisen muuttuvan kuorman kertoimena käytetyn yhdistelykertoimen (Ψ) arvo. Kansallisen liitteen taulukossa (taulukko 2) esitetään käytettävät yhdistelykertoimet luokittain. (RIL 201-1-2017, 38.) Pääasiallisen muuttuvan kuorman ollessa lumi-, jää- tai tuulikuorma käytetään sille kertoimena Ψ_1 -arvoa ja muille muuttuville kuormille Ψ_2 -arvoa. Pääasiallisen muuttuvan kuorman taas ollessa jokin muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma käytetään sille ja muillekin kuormille Ψ_2 -arvoa.

Taulukko 2. Kuormien yhdistelykertoimet (Ympäristöministeriö 2016,18).

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6 ^{*)}
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3 ^{*)}
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3 ^{*)} kun $s_k < 2,75$ kN/m ² $s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7 0,7	0,4 0,5	0,2 0,2
Jääkuorma ^{***)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
^{*)} Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huomautus: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. ^{**) Ajoikäytävillä $\psi_2 = 0$ ^{***) Koskee huurtumisesta, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia}}			

5.4 Pysyvät kuormat

Pysyviä kuormia ovat esimerkiksi rakenteiden ja kiinteiden laitteiden oma paino (RIL 201-1-2017, 31). Pysyvä kuorma vaikuttaa rakenteessa oletetusti koko tarkastelujakson ajan. Jos kuorma muuttuu, sen oletetaan muuttuvan ainoastaan yhteen suuntaan ja muutokselle oletetaan tietty raja-arvo. Pysyvää kuormaa merkitään kirjaimella G. (RIL 201-1-2017, 21.)

Sideterästen mitoituksessa pysyvät kuormat vaikuttavat muiden tekijöiden ohella laskennassa käytettävän kaavan valintaan. Huomioitavia asioita ovat muun muassa ontelolaa-
tan omapaino, pintavalun paksuus, väliseinät ja ripustukset.

5.5 Muuttuvat kuormat

5.5.1 Hyötykuormat

Muuttuvista kuormista hyötykuormat ovat pääsääntöisesti liikkuvia kuormia, esimerkiksi rakennusta käyttävät ihmiset. Näitä kuormia merkitään kirjaimella Q. (RIL 201-1-2017, 21.) Eurokoodi 1991-1-1 jakaa rakennukset käyttötarkoituksensa perusteella erillisiin luokkiin, joiden perusteella voidaan määritellä tyypilliset hyötykuormat mitoitusta varten.

Opinnäytetyön kannalta oleellinen luokka on A eli asunto- ja majoitustilojen luokka. Hyötykuormien arvojen vaihteluvälit esitetään Eurokoodi 1991-1-1:ssä, mutta Suomessa käytettävät tarkemmat arvot esitetään kansallisessa liitteessä (taulukko 3).

Taulukko 3. Hyötykuormat (Ympäristöministeriö 2016, 5).

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]			Q_k [kN] (portaat suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A Asunto- ja majoitustilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0*)
Luokka B Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Luokka C Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua				
– C1	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
– C2	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
– C3	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
– C4	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
– C5	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Luokka D Myyvälätilat				
– D1	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
– D2	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)
*Asunnon sisäiset portaat $Q_k = 1,5$ kN				

5.5.2 Luonnonkuormat

Muut muuttuvat kuormat, esimerkiksi lumi- ja tuulikuormat (RIL 201-1-2017, 31), vaihtelevat suuruudeltaan ajan myötä. Näitäkin kuormia merkitään kirjaimella Q ja täsmennykseksi valitaan sopiva alaindeksi. (RIL 201-1-2017, 21.)

Lumikuorman laskenta esitetään Eurokoodi 1991-1-3:ssä ja sen kansallisessa liitteessä. Laskennassa määritetään ensin lumikuorman ominaisarvo maan pinnalla kansallisen liitteen kartasta rakennuksen sijainnin mukaan. Ominaisarvosta saadaan laskettua katon lumikuorma kertomalla se kertoimilla, joihin vaikuttavat seuraavat tekijät: katon muoto, lämpöominaisuudet, lämpömäärä katon alla, katon pinnan karheus, viereisten rakennusten etäisyys sekä ympäröivät olosuhteet, kuten maasto, tuulisuus, lämpötilat tai sateisuus. (RIL 201-1-2017, 100.)

Tuulikuorman laskenta esitetään Eurokoodi 1991-1-4:ssä ja sen kansallisessa liitteessä. Tuulikuormat aiheuttavat ajan mukana vaihtelevia paineita rakenteiden ulkopintoihin ja välillisesti myös sisäpintoihin. Tuulikuormat esitetään voimien joukkona, joiden vaikutukset ovat kuten tuulenpuuskien suurimmat vaikutukset. Tuulikuormien ominaisarvot määritellään tuulennopeuden tai nopeuspaineen perusarvoista, joiden laskennallinen keskimääräinen toistumisjakso on 50 vuotta. (RIL 201-1-2017, 127.) Tuulikuorman laskenta-prosessi alkaa maastoluokan valinnasta rakennuksen sijaintipaikan perusteella. Maastoluokkia ovat 0, I, II, III ja IV, joista 0 on avoimin ja IV suojaisin (RIL 201-1-2017, 131). Laskennassa arvioidaan maaston pinnanmuodon vaikutus ja määritetään puuskanopeuspaine. Tämän jälkeen voidaan laskea kokonaistuulivoima jäykistyksen ja perustusten suunnittelua varten. (RIL 201-1-2017, 128.)

Lumi-, tuuli- ja jääkuormat sekä ulkoilman lämpötilan vaihtelusta johtuvat kuormat ovat ilmastosta johtuvia kuormia. Jos tarkempia selvityksiä ei esitetä, näiden kuormien voidaan katsoa riippuvan suunnittelusta käyttöikästä. Jos suunniteltu käyttöikä on yli 50 vuotta, kuormien ominaisarvoja voidaan korottaa kymmenellä prosentilla. Jos suunniteltu käyttöikä taas on yli 100 vuotta, voidaan arvoja korottaa 20 prosentilla. (Ympäristöministeriö 2016, 12.)

5.6 Onnettomuuskuormat

Eurokoodi 1991-1-7 määrittelee onnettomuuskuorman A_d suositusarvoksi 34 kN/m^2 , joka on talonrakenteille tasaisesti jakautunut kuorma. Kuorma voi vaikuttaa avainasemassa olevaan rakenneosaan missä tahansa suunnassa, ja mihin tahansa siihen liittyviin komponentteihin. (SFS-EN 1991-1-7, 30.) Avainasemassa oleva rakenneosa suunnitellaan kantamaan tämä onnettomuusmitoituskuorma ja komponenttien sekä kiinnitysten osalta varmistetaan niiden murtolujuus. Onnettomuusmitoituskuormaa käytetään aiemmin esitetyn kaavan mukaisesti joko pistekuormana tai jakautuneena kuormana. (SFS-EN 1991-1-7, 66.) Kansallisessa liitteessä ei nykyään enää määritetä Eurokoodin suositusarvon tilalle tarkempaa onnettomuusmitoituskuormaa, vaan kehoitetaan määrittelemään kuorma A_d riskinarvioinnin perusteella (Ympäristöministeriö 2019, 38). Onnettomuuskuorma on oleellisessa roolissa koko rakennuksen stabiliteetin varmistamiseksi onnettomuustilanteessa. Esimerkiksi räjähdykset tai ajoneuvojen törmäykset määritellään onnettomuuskuormiksi (SFS-EN-1990, 58).

5.7 Törmäyskuormat

Kaupunkirakentamisessa on yleistä, että liikennettä on lähellä rakennuksia. Törmäys aiheuttaa rakenteeseen vaakakuorman, josta voi seurata paikallinen vaurio ja riski sortumalle. Esimerkiksi ajoneuvo voi törmätessään aiheuttaa vaurion tukena toimivaan alusrakenteeseen. Eurokoodissa eritellään käsitteinä kova ja pehmeä törmäys. Kovassa törmäyksessä energia absorboituu törmäävään kappaleeseen ja törmäyksen kohde on jäykkä ja liikkumaton. (SFS-EN 1991-1-7, 90.) Pehmeässä törmäyksessä törmäävä kappale oletetaan jäykäksi ja energia absorboituu törmäyksen kohteeseen, johon sallitaan syntyvän muodonmuutostiloja. Törmäyksen kohteelta vaaditaan plastista muodonmuutoskykyä vastaanottamaan törmäysenergia törmäävältä kappaleelta. (SFS-EN 1991-1-7, 90–92.)

Tieliikenteen ajoneuvoista johtuvat törmäykset tulee ottaa huomioon asuinkerrostaloissa, joissa on pysäköintitiloja tai jotka sijaitsevat lähellä ajoneuvoliikennettä. Haarukkatrukkien törmäykset on myös huomioitava, jos rakennuksessa voidaan ajatella olevan haarukkatrukkiliikennettä. (RIL 201-2-2017, 106.) On yleistä, että asuinkerrostalojen alin tai alimmat kerrokset, joko maanpäälliset tai kellarikerrokset, ovat suunniteltu autojen pysäköintiä varten. On siis syytä tarkistaa rakenteiden kestävyys tieliikenteen ajoneuvojen törmäysten ja haarukkatrukkitörmäysten varalta, ellei ajoneuvojen pääsyä rakennukseen tai sen lähelle ole estetty (RIL 201-2-2017, 107).

Jos piha-alueella oleva ajoliikenteelle tarkoitettun osan reuna on alle kahden metrin etäisyydellä tarkasteltavasta rakenteesta, rakenne on mitoitettava törmäyskuormalle (RIL 201-2-2017, 207). Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi pilarit, joihin asuinkerrostalojen parvekkeet tukeutuvat. Pilarit mitoitetaan avainasemassa olevina rakenneosina törmäyskuorma huomioiden, jotta törmäys ei sorruta koko parvekelinjaa ketjureaktiona. Betoninormikortti 23 ohjeistaa mitoittamaan alimman kerroksen nurkkapilarit mahdollisille törmäyskuormille jatkuvan sortuman estämiseksi, sillä nurkkapilarin vauriotilanteessa vaihtoehtoisista kantavaa rakennetta ei yleensä voida saavuttaa. (Betoniyhdistys 2012, 20.)

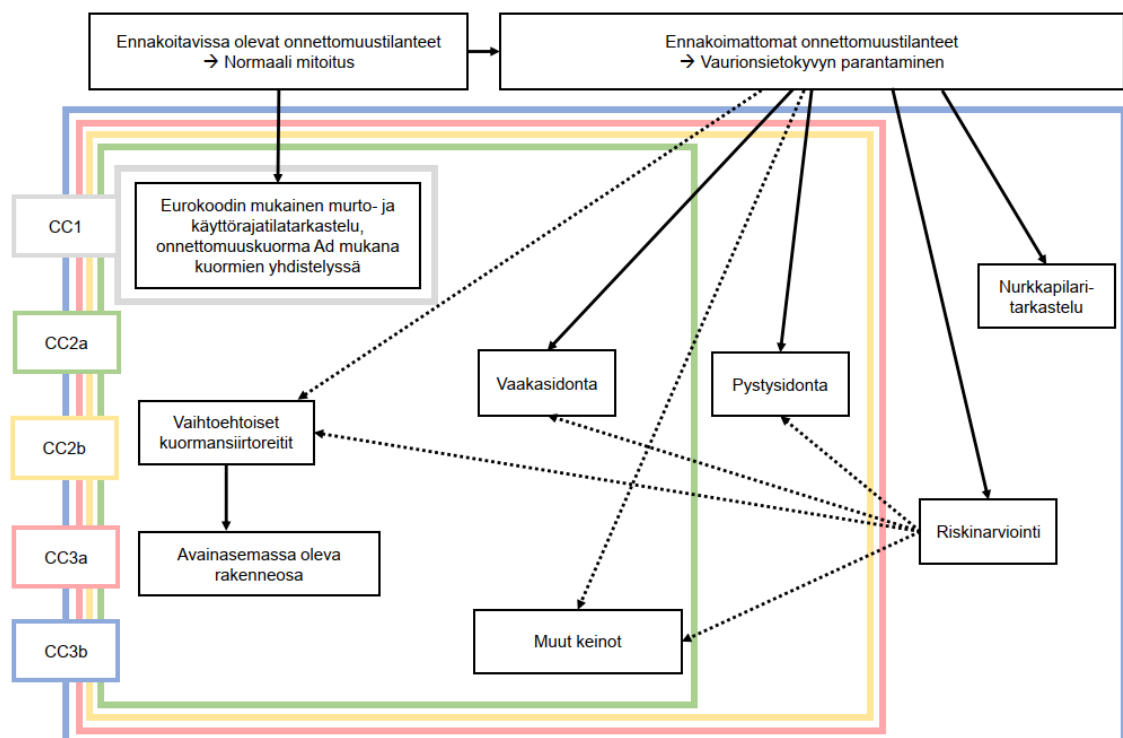
Törmäyskuorman laskenta käsitellään eurokoodissa 1991-1-7, sen kansallisessa liitteessä ja RIL 201-2-2017:ssä. Mitoituksessa määritellään ohjeelliset arvot törmäyskuorman laskentaan liikenteen luokan ja suunnan perusteella. Etäisyyden ja suurimman sallitun ajonopeuden funktiona saatavan pienennyskerroimen avulla voidaan määrittää mitoituksessa käytettävät varsinaiset törmäyskuormat. Joissain tapauksissa pienennyskerroin voi osoittaa, että rakenneosan etäisyys liikenteestä on niin suuri, että törmäyskuormaa ei tarvitse tarkastella. (RIL 201-2-2017, 107.)

6 SIDEJÄRJESTELMÄT

6.1 Seuraamusluokan vaikutus menettelytavan valintaan

Sidejärjestelmät ovat ensisijaisia menettelytapoja seuraamusluokkien CC2 ja CC3 rakennusten vaurionsietokyvyn parantamisessa. Tässä luvussa esitellään vaurionsietokyvyn varmistamisen toimenpiteet eri seuraamusluokissa ja sidejärjestelmän laskentaprosessi. Alaluvuissa tarkastellaan eri toimintaperiaatteita ja laskentakaavoja sideterästen mitoittamiseen. Luku toimii viimeisenä pohjustuksena ennen sideterästen mitoitusyökalun esittelyä.

Kuvassa 12 kootaan yhteen julkaisun RIL 201-4-2017 sivuilla 36–38 esitetyt kuvat menettelytapojen käytöstä eri seuraamusluokissa. Luokassa CC1 ei vaadita erityisiä toimenpiteitä normaalin murto- ja käyttörajatilamitoituksen lisäksi. Onnettomuustilannemitoitus tehdään osana murtorajatilojen mitoitusta ja mitoituksessa käytetään tunnettuja onnettomuuskuormia.



Kuva 12. Menettelytavat seuraamusluokissa.

Luokan CC2a toimenpiteisiin sisältyy CC1-luokan normaalin eurokoodimitoituksen lisäksi vaakasidonta ja vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien tai muiden keinojen tarkastelu. Vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien yhteydessä tarkastellaan tarvetta nimetä avainasemassa olevia rakenneosia. Normaali mitoitus ja sidonta ovat kuitenkin ensisijaisia toimenpiteitä. Kuvassa mainitaan myös ”muut keinot vaurionsietokyvyn parantamiseksi”. Näitä voivat olla esimerkiksi staattinen määräämättömyys, liitosten sitkeys, jäykistävät rakenteet, pääkannattajien stabiilius, sekundäärien toiminta ja rakennustyyppi-kohtaiset ratkaisut. (RIL 201-4-2017, 36–37.)

Kuvassa 12 havainnollistuu, kuinka pienemmän seuraamusluokan toimenpiteet sisältyvät aina suurempaan mukaan, ja suurempi seuraamusluokka tuo lisätoimenpiteitä. CC2b-luokkaan sisältyy aiemmin luetellut CC1- ja CC2a-luokan toimenpiteet, ja lisäksi huomioon otetaan myös pystysidonta. CC3a-luokan toimenpiteet ovat muuten samat kuin CC2b-luokassa, mutta kuten myöhemmin laskentaprosessissa ilmenee, seuraamusluokan vaihtuminen tuo muutoksia laskentamenettelyihin. CC3b-luokka on kaikkein vaativin, ja siinä huomioidaan aiempien lisäksi nurkkapilarin tarkastelu ja erillinen riskinarvio, joka toimii pohjana onnettomuusmitoitukselle. (RIL 201-4-2017, 37–38.)

6.2 Nurkkapilari

Erityisesti seuraamusluokassa CC3b tulee kyseeseen nurkkapilareihin liittyvien vaarojen tarkastelu. Jatkuman sortuman estämiseksi nurkissa olevia pilareita tulisi käsitellä eri tavalla kuin muita pilareita, sillä niihin kohdistuu erityinen kuormitus mahdollisissa onnettomuustilanteissa. Vaurionsietokyvyn parantamiseksi voidaan lisätä nurkkapilarien staattista määräämättömyyttä, lisätä rakenteiden määrää tai rajata nurkkapilarin käyttöastetta. (RIL 201-4-2017, 48–49.)

Nurkkapilarin tarkastelu etenee kuten yleinen vaurion tarkastelu ja sietokyvyn lisääminen. Tunnettujen onnettomuustilanteiden tapauksissa voidaan selvittää onnettomuuskuorman kohde, suuruus ja suunta. Tällöin nurkkapilarit suunnitellaan onnettomuuskuormayhdistelmälle ennestään tiedetyn onnettomuuskuorma A_d :n perusteella. Mahdollisille törmäyskuormille mitoittaminen on oleellista nurkkapilarin kohdalla (Betonyhdistys 2012, 20).

Ennestään tuntemattomien onnettomuustilanteiden kohdalla ei tiedetä kuormia, mutta voidaan arvioida ympäristön olosuhteet ja laitteiden liikkuminen ympäristössä. Riskinarvion perusteella voidaan sopia rakennuttajan ja viranomaisen kanssa kuorman A_d suuruudesta tai käyttöasteen rajaamisesta. Toinen vaihtoehto on rakenteellisin ratkaisuin lisätä oleellisesti kulmapilarin sietokykyä. (RIL 201-4-2017, 49.)

6.3 Riskinarvio

Riskinarviointi on järjestelmällinen toimenpide, jossa otetaan huomioon sekä ennakoimattomat että ennakoidut onnettomuustilanteet (Ympäristöministeriö 2019, 39). Riskejä analysoitaessa havaittujen riskien osalta pyritään joko estämään riskin toteutuminen, vaikuttamaan riskin aiheuttaman vaurion syntyyn tai seurausten määrään tai pienentämään todennäköisyyksiä itse riskille tai siitä aiheutuvalle jatkuvalla sortumalle. (RIL 201-4-2017, 51–52.)

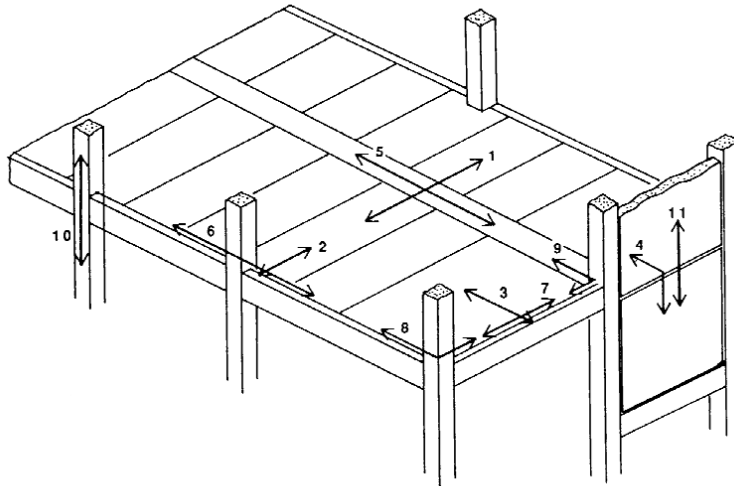
Riskit ovat yleensä kohdekohtaisia, ja riskinarvioon voi käyttää esimerkiksi eurokoodin määrittelemiä tarkistuslistamenetelmiä. Eurokoodeissa ei oteta kantaa uhkatilanteisiin, joihin liittyy sota tai terrorismi, ja näissä tapauksissa eivät yleensä riitäkään pelkät rakenteelliset ratkaisut. (RIL 201-4-2017, 51–52.)

6.4 Sidontaperiaate

Työssä käsiteltävissä betonielementtirakennuksissa sidontaperiaate tarkoittaa rakenteiden toisiinsa sitomista raudoituksen avulla. Teräksiä sijoitetaan jatkuvina rakennuksen runkoon siten, että rakenneosat kiinnittyvät luotettavasti osaksi rakenteen runkoa. (RIL 201-4-2017, 42.) Vaakarakenteista ja pystyrakenteista syntyy näin kestävä kokonaisuus, joka toimii onnettomuustilanteessa monoliittisesti yhtenä kokonaisuutena ja jakaa kuormia tasaisesti eri rakenneosille. Sidonta estää rakenneosia irtoamasta toisistaan onnettomuustilanteessa, mikä merkitsee sitä, että kunhan stabiiliteetti säilyy ja jatkuvaa sortumaa ei synny, rakennukseen sallitaan suuriakin muodonmuutoksia. (RIL 201-4-2017, 43.)

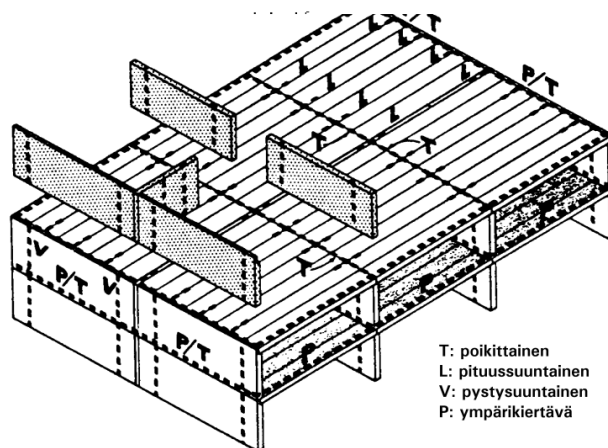
Kuvassa 13 esitetään vaaka- ja pystysidonnan periaate pilari–palkki-rungossa. Oheisen kuvan numerot kuvaavat eri osien kiinnityksiä toisiinsa. Laatat kiinnitetään viereisiin kenttiin (1) ja reunapalkkiin (2). Päätypalkki kiinnitetään laatastoon (3) ja laatasto jäykistäviin

seiniin (4). Palkki kiinnitetään viereiseen kenttään (5). Ympärillä kiertää rengasraudoitus (6 ja 7), jolla sidotaan myös nurkan pilari laatas-
toon (8). Reunapilari kiinnitetään laatas-
toon (9), pilarit kiinnitetään pystysuuntaisesti (10), kuten myös kantavat ja jäykistävät
seinät (11). (Betoniyhdistys 2012, 19.)



Kuva 13. Sidontaperiaate pilari-palkki-rungossa (Betoniyhdistys 2012, 19).

Kuvassa 14 puolestaan esitetään sidontaperiaate seinät-laatta-rungossa. T kuvaa poi-
kittaisia siteitä, L pituussuuntaisia, V pystysuuntaisia ja P ympärikiertäviä. (Betoniyhdis-
tys 2012, 19.)

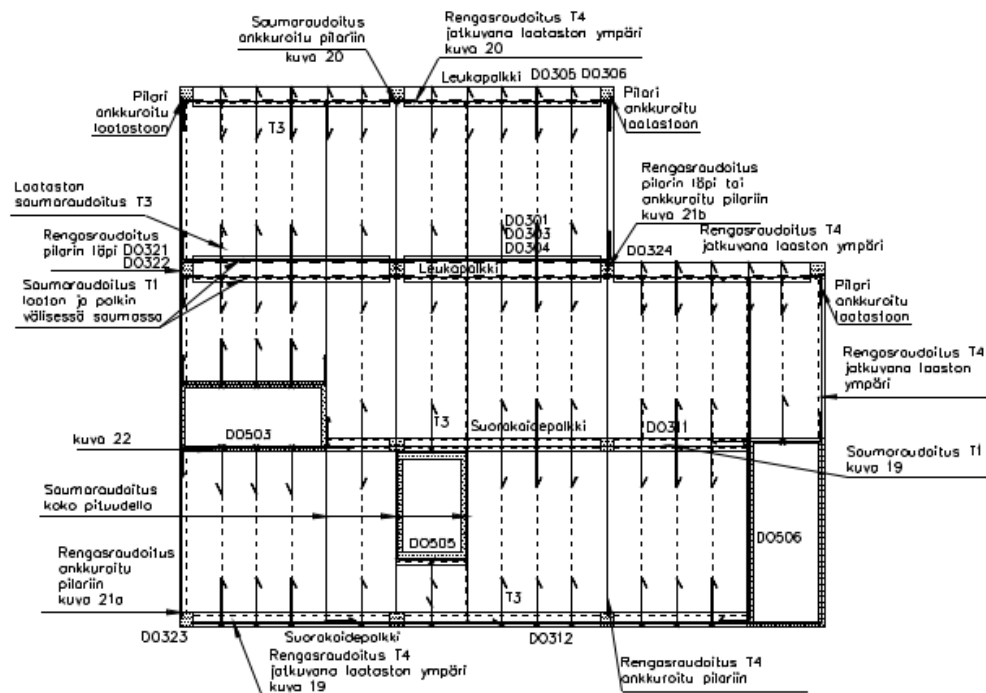


Kuva 14. Sidontaperiaate seinät-laatta-rungossa (Betoniyhdistys 2012, 19).

Seuraavissa luvuissa esitellään sidontaperiaatteen vaiheet, mitoitusyökalun prosessi-kaaviot ja laskentakaavat. Laskentaprosessit eroavat toisistaan seuraamusluokan ja vaakarakenteen pysyvän kuorman perusteella, ja etenemispolut voivat olla melko erilaisia eri kohteissa.

6.4.1 Vaakasiteet

Vaakasiteillä tarkoitetaan välipohjan reunoilla kiertäviä rengassiteitä ja sisäpuolisia siteitä, joilla sidotaan kantavat pilarit ja seinät kokonaisuuteen. Sisäpuolisista siteistä 30 % on sijoitettava välipohjien reunojen sekä pilari- ja seinälinjojen välittömään läheisyyteen. Loput siteistä voivat olla linjojen väleissä. (RIL 201-4-2017, 43.) Siteiden muodonmuutoskyky auttaa niitä toimimaan korvaavana kuormansiirtorakenteena. (RIL 201-4-2017, 95.) Kuvassa 15 esitetään betoninormikortti 23:n mukainen esimerkki vaakaterästen sijoittelusta välipohjaan. Rakennus on esimerkissä pilari–palkki-runkoinen ja välipohjassa käytetään ontelolaattoja.



Kuva 15. Esimerkki vaakasidonnasta (Betoniyhdistys 2012, 24).

Rengas- ja sisäpuoliset siteet seuraamusluokassa CC2

Sidevoimien laskemiseen seuraamusluokassa CC2 tarvitaan vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo g_k ja voiman kertymäeräisyys s . Pysyvän kuorman suuruus määrittää käytettävän kaavan. (RIL 201-4-2017, 96.)

Rengassiteet ja tukilinjalle keskitetyt sisäpuoliset siteet, kun $g_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$:

$$T_i = s \times 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq 70 \text{ kN}$$

Kaava 3. Vaakasiteet (RIL 201-4-2017, 96).

Rengassiteet ja tukilinjalle keskitetyt sisäpuoliset siteet, kun $g_k < 2 \text{ kN/m}^2$:

$$T_i = s \times 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq 10 \text{ kN}$$

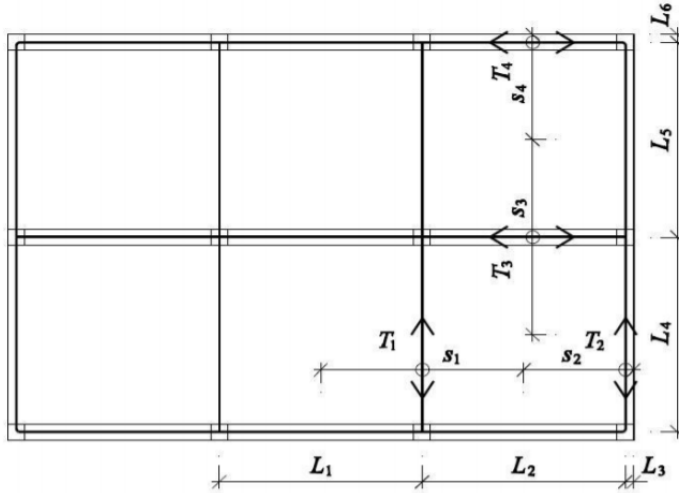
Kaava 4. Vaakasiteet (RIL 201-4-2017, 96).

Esimerkiksi elementtien päätysaumojen sisäpuoliset siteet sijaitsevat tukilinjalla, joten annetun vähimmäisarvon tulee täytyä. Jos sisäpuolisia siteitä ei ole keskitetty tukilinjalle, minimiarvoja 70 kN/m tai 10 kN/m ei tarvitse noudattaa. (RIL 201-4-2017, 96.) Käytännössä voidaan todeta, että ontelolaattojen suuntaisiin saumateräksiin ei sovelleta sidevoiman minimiarvoa.

Jos vaakarakenteiden pysyvän kuorman ominaisarvo on pienempi kuin 3 kN/m², mutta suurempi tai yhtä suuri kuin 2 kN/m², suoritetaan laskenta lineaarisesti interpoloiden. Siis lineaarinen interpolointi tulee kyseeseen, jos $2 \text{ kN/m}^2 \leq g_k < 3 \text{ kN/m}^2$. (RIL 201-4-2017, 96.) Opinnäytetyössä käsiteltävien runkotyyppien kohdalla vaakarakenteen omapaino tulee useimmiten olemaan yli 3 kN/m², jolloin vaakasiteiden laskentaan käytetään kaavaa 3. Mitoitus pohjan kattavuutta ajatellen on kuitenkin tarpeen käsitellä myös kaavaa 4 sekä kaavojen välistä interpolointia. Jos kyseessä on sisäpuoliset siteet, interpolointi suoritetaan huomioimatta minimiarvoa, sillä sen huomioiminen ei ole niiden kohdalla tarpeen. Jos kuitenkin on kyse rengassiteistä tai tukilinjalle keskitetyistä sisäpuolisista siteistä, interpolointi suoritetaan minimiarvon tarkistuksen jälkeen, jolloin saadaan lopputulos varman puolelle.

Sidevoimien T_i kertymäeräisyydet s_i havainnollistetaan kuvassa 16 siten, että sama alaindeksi kuvaa samaan voimaan liittyvää kertymäeräisyyttä. Kertymäeräisyys

määritellään joko sisäpuolisten siteiden välimatkana keskeltä keskelle tai rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen välinä jaettuna kahdella, johon vielä lisätään etäisyys rakenteen reunaan. Kaavat on esitetty kuvan jälkeen. (RIL 201-4-2017, 96.)

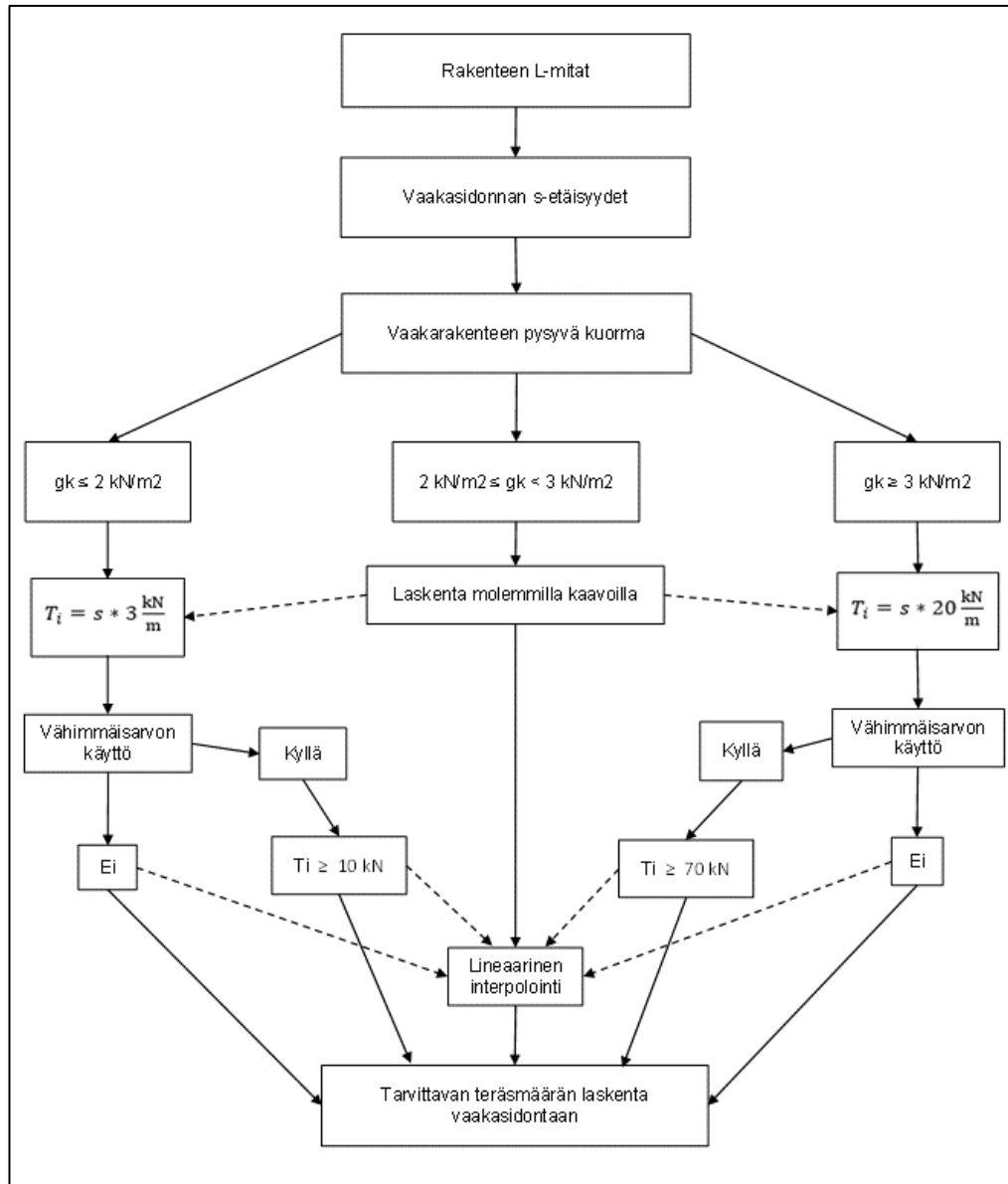


Kuva 16. Sidevoimien T_i kertymäleveydet s_i (RIL 201-4-2017, 96).

Kertymäetäisyyksien laskentakaavat kuvan 16 mukaisesti (RIL 201-4-2017, 96):

- $s_1 = \frac{L_1 + L_2}{2}$
- $s_2 = L_3 + \frac{L_2}{2}$
- $s_3 = \frac{L_4 + L_5}{2}$
- $s_4 = L_6 + \frac{L_5}{2}$

Mitoitustyökalun tekoa varten laskennan eri vaiheista on tehty prosessikaaviot. CC2-seuraamusluokan rengas- ja sisäpuolisten siteiden mitoituksen prosessi kiteytetään kuvassa 17.



Kuva 17. Rengas- ja sisäpuolisten siteiden mitoittamisen prosessikaavio (CC2).

Rengas- ja sisäpuoliset siteet seuraamusluokassa CC3

Sidevoimien laskentaan seuraamusluokassa CC3 tarvitaan vaakarakenteen pysyvän kuorman lisäksi myös muuttuvat kuormat ja yhdistelykertoimet onnettomuusrajatilan yhdistelyn mukaisesti. Kertymäleveydet eli s -etäisyydet lasketaan edellä esitetyn mukaisesti kuvan 16 ja siihen liittyvien kaavojen mukaan. Lisäksi tarvitaan kaikkien kerrosten lukumäärä n_s ja varmalle puolelle arvioitu etäisyys z , joka kuvaa pituutta korvaavalle köysirakenteen jännevälin puolikkaalle. Tässäkin tapauksessa pysyvän kuorman suuruus

määrittää käytettävän kaavan, mutta yleensä seuraamusluokan CC3 tapauksessa vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo ei ole alle 3 kN/m². Mikäli näin kuitenkin on, sovitaan sidevoimien määräyksestä hankekohtaisesti. (RIL 201-4-2017, 97.)

Rengassiteet ja sisäpuoliset siteet, kun $g_k \geq 3$ kN/m²:

$$T_i = \frac{F_t \times 0,8(g_k + \sum \Psi_i q_k)}{6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} \times \frac{z}{5 \text{ m}} \times s \geq F_t \times s$$

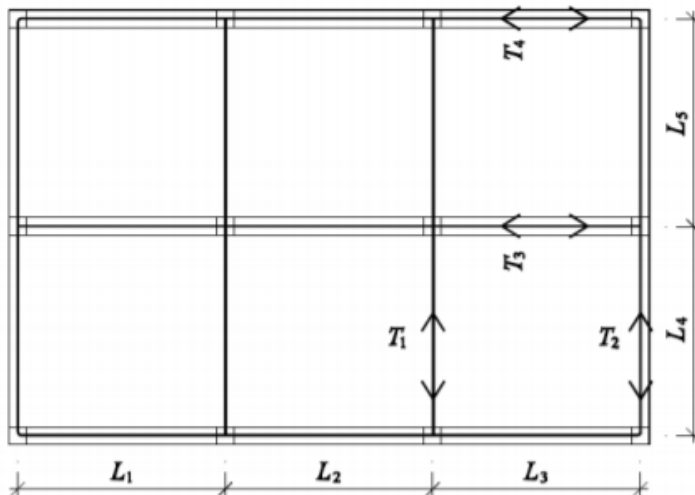
Kaava 5 Vaakasiteet (RIL 201-4-2017, 97).

Kaavassa esiintyvä voima F_t määritetään seuraavasti:

$$F_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 48 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ (16 + 2,1 \times n_s) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{array} \right.$$

Kaava 6 Vaakasiteet (RIL 201-4-2017, 97).

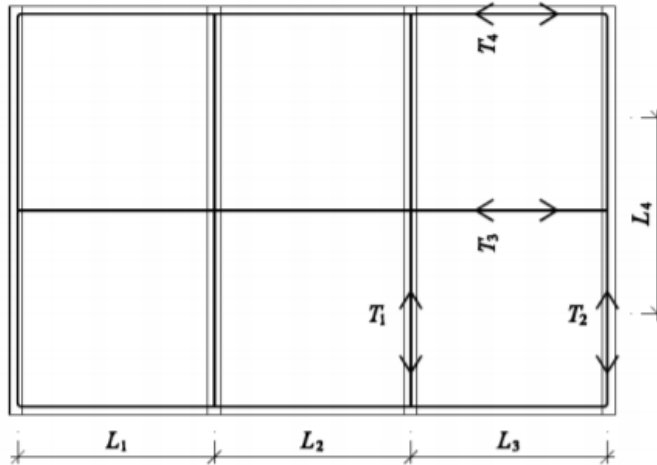
Alla olevissa kuvissa 18 ja 19 esitetään mitat etäisyyksien z laskentaan kahdessa eri runkotyyppin tapauksessa. Laskentakaavat on esitetty kuvien jälkeen. (RIL 201-4-2017, 98.)



Kuva 18 Etäisyys z pilari-palkki-rungossa (RIL 201-4-2017, 98).

- Etäisyyden z laskenta sidevoimille T_1 ja T_2 : $z = \max \left\{ \begin{array}{l} L_4 \\ L_5 \end{array} \right.$

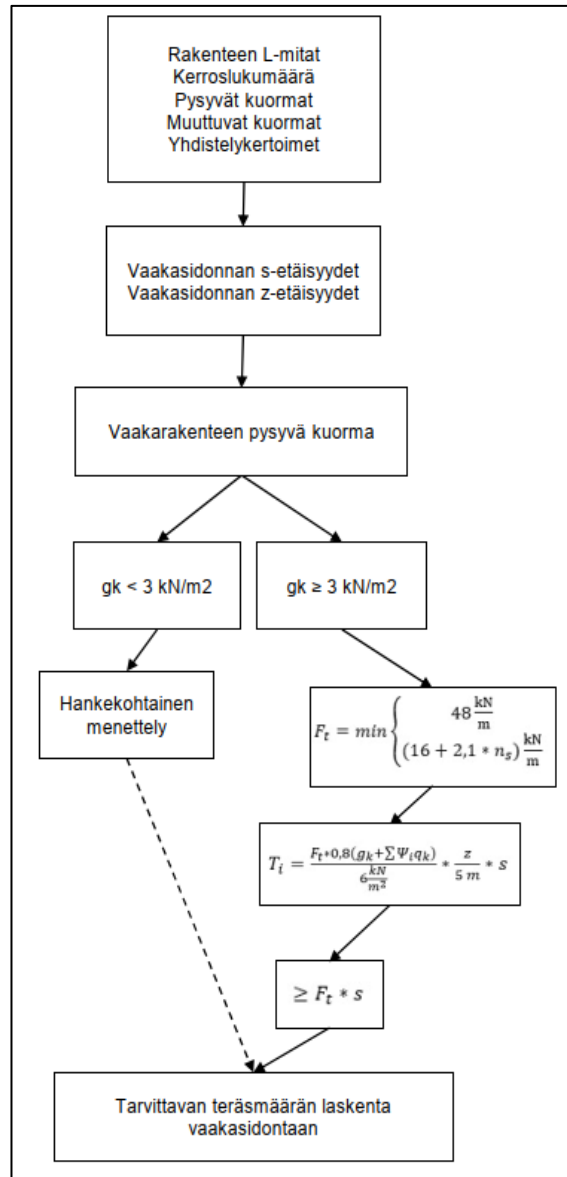
- Etäisyyden z laskenta sidevoimille T_3 ja T_4 : $z = \max \begin{cases} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{cases}$



Kuva 19 Etäisyys z kantavat seinät–laatta-rungossa (RIL 201-4-2017, 98).

- Etäisyyden z laskenta sidevoimille T_1 ja T_2 : $z = \frac{L_4}{2}$
- Etäisyyden z laskenta sidevoimille T_3 ja T_4 : $z = \max \begin{cases} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{cases}$

Kantavat seinät–laatta-rungossa arvo L_4 on kantavan seinälohkon nimellispituus, eli niiden rakenneosien välinen etäisyys, jotka toimivat sivusuuntaisina tukina kantavassa seinälohkossa. Pituus voi olla enintään $2,25H$, jossa H on kerroksen korkeus metreinä. (RIL 201-4-2017, 101.) Samoja sidevoimia voidaan käyttää kaikissa kerroksissa, mikäli pysyvät kuormat, muuttuvat kuormat tai etäisyydet s ja z eivät poikkea toisistaan suuresti (RIL 201-4-2017, 98). Rengas- ja sisäpuolisten siteiden laskentaprosessi seuraamusluokassa CC3 kiteytetään kuvassa 20.



Kuva 20. Rengas- ja sisäpuolisten siteiden mitoittamisen prosessikaavio (CC3).

6.4.2 Seinien ja pilareiden vaakasuora sidonta välipohjaan

Reunapilarit ja reunassa olevat seinät tulee sitoa välipohjiin ja yläpohjaan. Vaakasuora sidontavoima F_{tie} lasketaan seuraamusluokan ja vaakarakenteen pysyvän kuorman perusteella määräytyvillä kaavoilla. (RIL 201-4-2017, 99.) Nurkkapilarit sidotaan molempiin suuntiin, ja vaakasiteitä voi käyttää sidontaan, mikäli raudoitus on ankkuroitu pilareihin (RIL 201-4-2017, 100).

Pystyrakenteiden vaakasuora sidontavoima seuraamusluokassa CC2

Vaakasuora sidontavoima, kun $g_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$:

$$F_{tie} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times s \leq 150 \text{ kN}$$

Kaava 7 Vaakasuora sidontavoima (RIL 201-4-2017, 99).

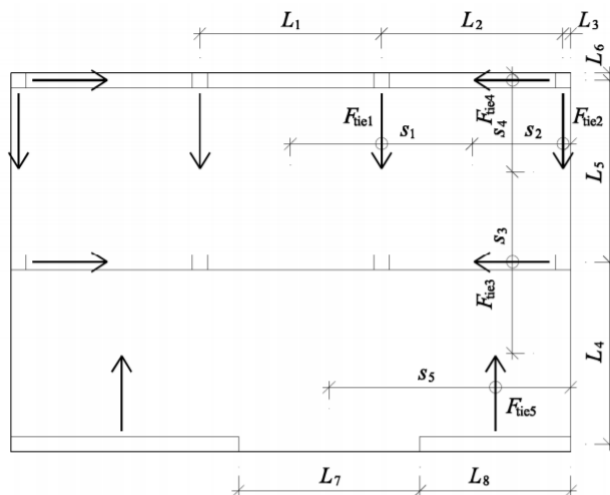
Vaakasuora sidontavoima, kun $g_k < 2 \text{ kN/m}^2$:

$$F_{tie} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times s \leq 150 \text{ kN}$$

Kaava 8 Vaakasuora sidontavoima (RIL 201-4-2017, 99).

Kummassakin tapauksessa sidontavoima voi olla enintään 150 kN. Mikäli $2 \text{ kN/m}^2 \leq g_k < 3 \text{ kN/m}^2$, vaakasuoran sidontavoiman arvot interpoloidaan. Jotta lopputulos saadaan varman puolelle, verrataan saatua sidontavoimaa maksimiarvoon vasta interpoloinnin jälkeen.

Kertymäetäisyydet määritetään kuvan 21 avulla ja kuvan jälkeen esitettävillä kaavoilla. Alaindeksit kuvaavat sitä, mikä kertymäleveys kuuluu millekin vaakasuoralle sidontavoimalle.

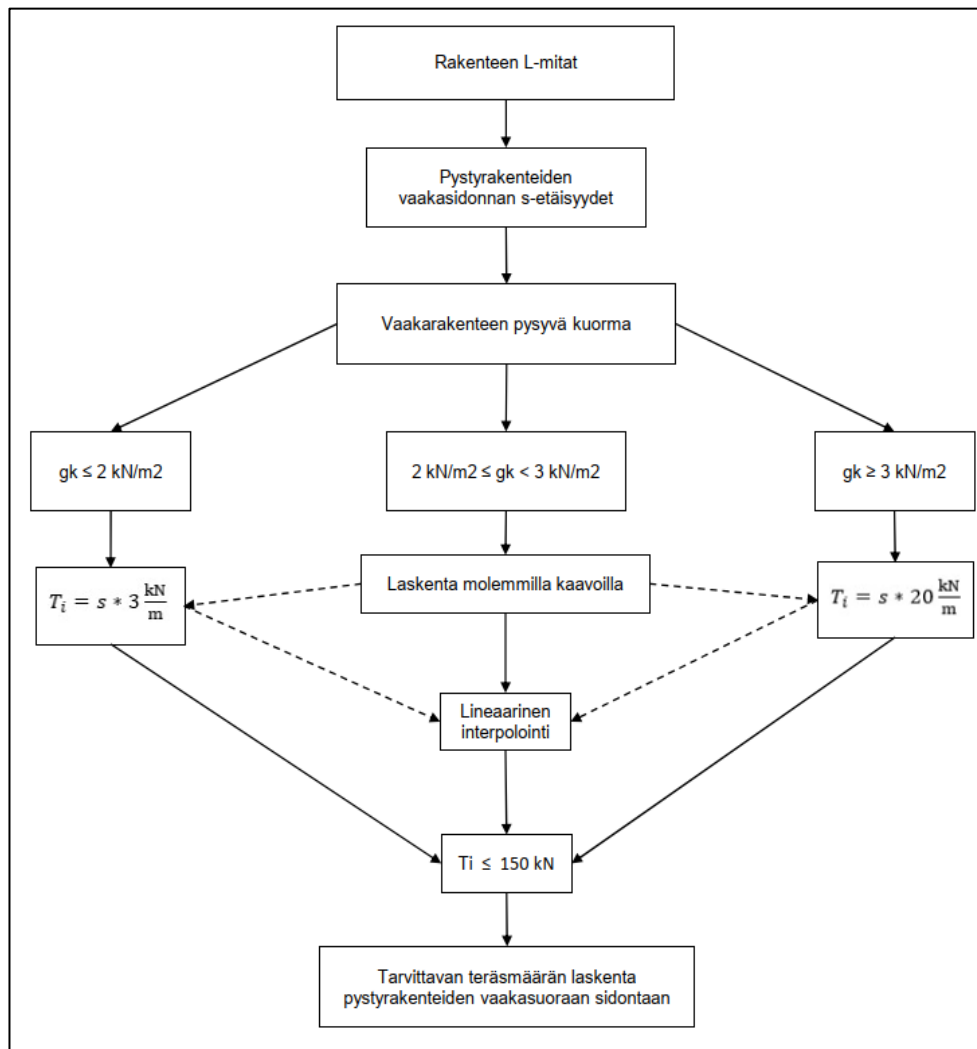


Kuva 21. Vaakasuoran sidontavoiman kertymäetäisyydet (RIL 201-4-2017, 100).

Kertymäetäisyyksien laskentakaavat kuvan mukaisesti:

- $s_1 = \frac{L_1+L_2}{2}$
- $s_2 = L_3 + \frac{L_2}{2}$
- $s_3 = \frac{L_4+L_5}{2}$
- $s_4 = L_6 + \frac{L_5}{2}$
- $s_5 = L_8 + \frac{L_7}{2}$

Pystyrakenteiden vaakasuoran sidontavoiman laskentaprosessi seuraamusluokassa CC2 on kiteytetty kuvassa 22.



Kuva 22. Pystyrakenteiden vaakasuoran sidontavoiman prosessikaavio (CC2).

Pystyrakenteiden vaakasuora sidontavoima seuraamusluokassa CC3

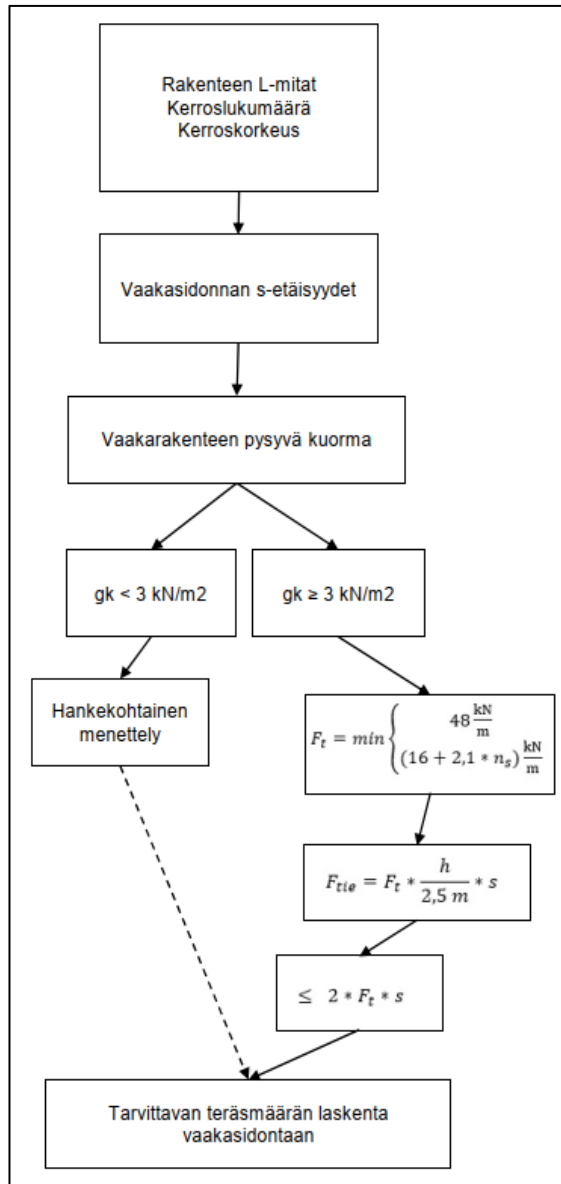
Kuten vaakasiteiden osaltakin, vaakasuoran sidontavoiman laskennassa vaakarakenteen pysyvän kuorman suuruus on useimmiten vähintään $g_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$. Jos pysyvä kuorma on tätä pienempi, laskenta määritellään hankekohtaisesti.

Vaakasuora sidontavoima, kun $g_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$:

$$F_{tie} = F_t \times \frac{h}{2,5 \text{ m}} \times s \leq 2 \times F_t \times s$$

Kaava 9 Vaakasuora sidontavoima (RIL 201-4-2017, 99).

F_t lasketaan aiemmin esitetyllä kaavalla 6. Kerroskorkeus h tarvitaan, kun lasketaan vaakasuoraa sidontavoimaa luokassa CC3. Sidevoiman kertymisetäisyys s määritetään samoin kuin seuraamusluokassa CC2. Kerroslukua n_s tarvitaan arvon F_t määrittämiseen. Pystyrakenteiden vaakasuoran sidontavoiman laskentaprosessi seuraamusluokassa CC3 on kiteytetty kuvassa 23.

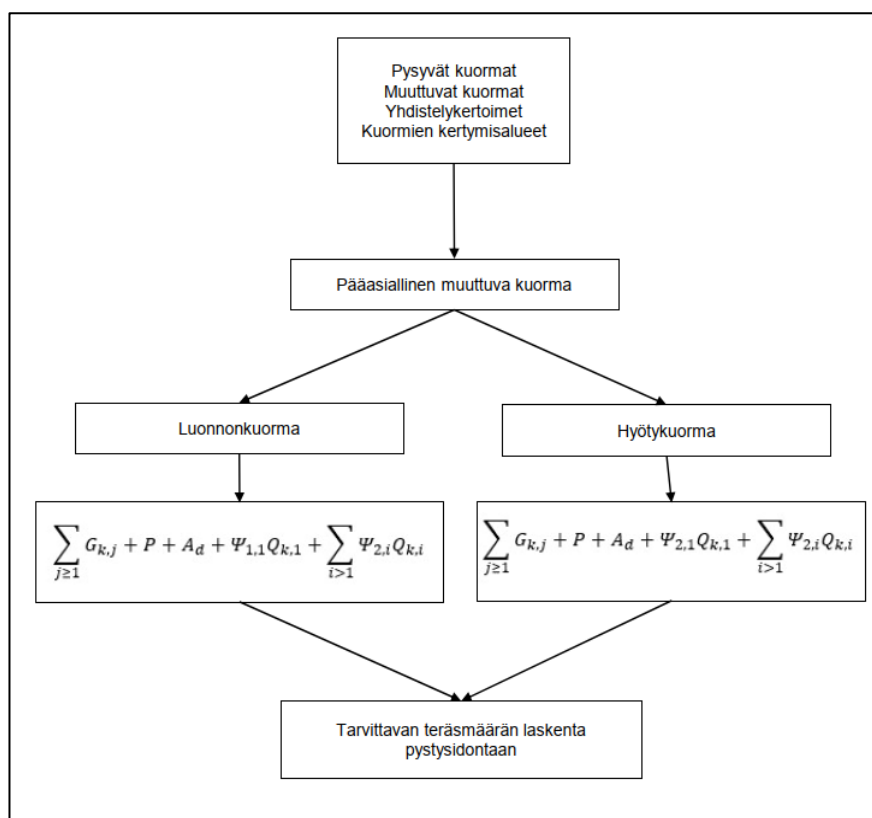


Kuva 23. Pystyrakenteiden vaakasuoran sidontavoiman prosessikaavio (CC3).

6.4.3 Pystysiteet

Pilarit ja seinät sidotaan jatkuvana perustuksista yläpohjaan. Kestävyyksivaatimuksena on onnettomuusmitoitustilanteen vetovoima eli suurin yhdestä kerroksesta kertyvä pystysuuntaisten kuormien mitoitusarvon reaktio. Kantavissa seinissä pystysiteet sijoitetaan joko elementtisaumoihin tai jaetaan tasaisesti seinän pituudelle. Reunimmainen side tulee sijoittaa seinän vapaasta päästä enintään kolmen metrin etäisyydelle. (RIL 201-4-2017, 100.)

Pystysiteiden sidonnassa lasketaan rakenteen omapaino ja sille kertyvät muut pysyvät ja muuttuvat kuormat. Näin saadaan ripustettavan kuorman arvo, jolle pystysiteet mitoitetaan. Huomioitavia asioita ovat osa tai kaikki seuraavista: palkkien, ontelolaattojen ja pilarien pysyvät kuormat, ripustukset, kevyet väliseinät, muuttuvat kuormat ja onnettomuuskuormat. (RIL 201-4-2017, 104-108.) Pystysidonnin prosessi kiteytetään prosessikaavioksi kuvassa 24.



Kuva 24. Pystysidonnin prosessikaavio.

6.4.4 Laskelman lopputulos

Sideteräslaskennan lopputuloksena saadaan terästen kokonaispoikkipinta-ala. Lasketut sidevoimat (muunnettuna yksikköön N) jaetaan teräksen myötölujuudella (yksikössä MPa). Tuloksena saadaan pinta-ala (mm²), joka on vaaditun sideteräsmäärän poikkileikkausala. (RIL 201-4-2017, 108.) Saatu sideterästen määrän lopputulos tarkoittaa vähimmäisraudoitusta rakenteelle. Tarkoitus ei siis ole kasvattaa raudoitusmäärää muun raudoituksen lisäksi. (RIL 202-2011, 81.)

Kun raudoituksen pinta-ala on laskettu, voidaan raudoitustaulukosta valita vaatimukset täyttävä tankokoko ja tankojen lukumäärä. Mitoitustyökaluun nämä asiat voidaan myös laskea valmiiksi pienellä vaivalla. Laskelmassa voidaan esittää esimerkiksi suoraan taulukkona vaadittu terästen lukumäärä eri kokojen tapauksessa ylöspäin kokonaislukuun pyöristäen. On myös käytännöllistä antaa mitoitustyökalun käyttäjän valita eri tankopak-suuksista haluamansa määrät. Tällöin työkalu laskee valitun teräspinta-alan ja vertaa sitä vaadittuun pinta-alaan, ja antaa lopuksi teräsmäärän käyttöasteen prosentteina. Valittuihin ratkaisuihin palataan kuvattaessa mitoitustyökalun työvaiheita luvussa 8.

7 LIITOKSET

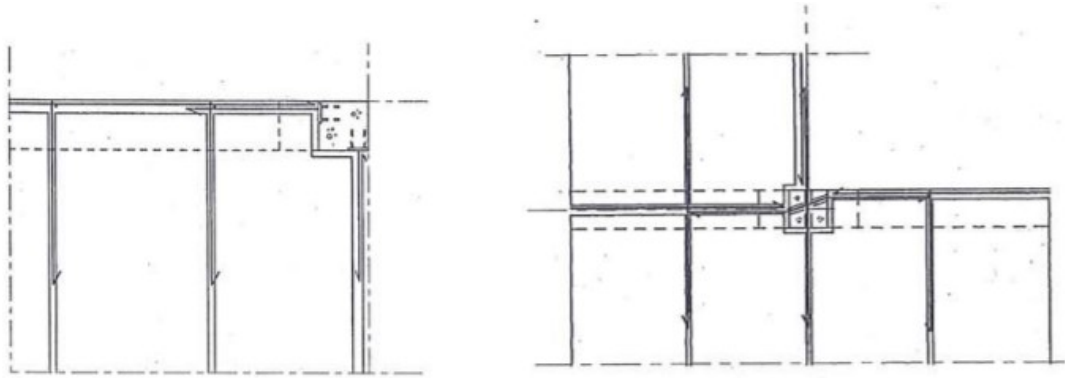
7.1 Ankkurointi ja jatkokset

Ankkuroinnin yksi tarkoitus on viedä raudoite riittävän pitkälle sellaiselle alueelle, jonne rakenteeseen ei enää kohdistu kriittisiä vetojännityksiä (RIL 149-2019, 112). Olennaista ankkuroinnissa on saada rakenneosien välille jatkuvuutta ja vetovoimakestävyttä. Jatkokset tarkoittavat esimerkiksi tankojen viemistä tarpeeksi limittäin, jotta jännitykset voivat siirtyä raudoitteelta toiselle rakenteessa (RIL 149-2019, 112). Muita vaihtoehtoja tankojen jatkamiselle ovat hitsaaminen tai mekaanisten jatkoskappaleiden käyttäminen. Jatkoksilla voidaan välittää raudoituksen voimat tangosta toiseen siitäkin huolimatta, että raudoituksen koko tai suunta muuttuu tai suurin tankopituus ylittyy. (Betoniyhdistys 2008, 475.)

Ankkuroinnin ja jatkospituuksien laskenta perustuu raudoituksen tyyppiin ja tartuntaolosuhteisiin. Hyvässä tartuntaolosuhteissa vaatimukset ovat pienempiä kuin muunlaisissa tartuntaolosuhteissa. (Betoniyhdistys 2008, 464.) Betoninormien vähimmäisankkurointipituus on kymmenen kertaa teräksen halkaisijan verran. Onnettomuustilanteessa on olennaista varmistaa, että ankkurointi ja jatkokset mahdollistavat liitoksen sitkeän toiminnan siten, ettei haurasta murtumista tapahtuisi. Raudoitustankojen taivuttaminen päistään lenkiksi tai koukuksi parantaa ankkurointikestävyttä, jolloin ankkurointi onnistuu pienemmässä tilassa kuin vastaavalla suoralla tangolla. (Betoniyhdistys 2008, 467.) Ankkuroinnin ja jatkospituuksien laskentaa ei käsitellä tässä työssä.

7.2 Nurkat

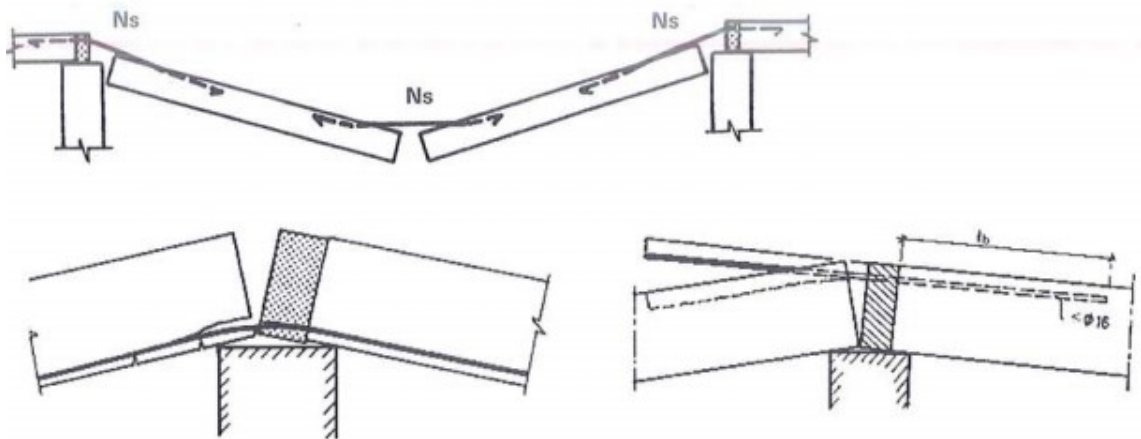
Sideterästen laskennan kirjallisuudessa on esitetty pääsääntöisesti yksinkertaisen muotoisia suorakulmaisia laattakenttiä. Erityishuomiota on kiinnitettävä monimuotoisempiin laattakenttiin, joissa tarvitaan riittävät limitys- ja ylityspituudet takaamaan terästen ankkurointi ja sidonnan riittävyys. Aiemmin sidontaperiaatteiden luvussa esitetyssä vaakasidonnan esimerkkikuvassa tällaisia voisivat olla esimerkiksi laataston sisänurkat, joissa rengasterästyistä on jatkettava nurkan yli ankkurointipituuden vaatimusten verran. Kuvassa 25 esitetään vasemmalla laataston ulkonurkka ja oikealla sisänurkka.



Kuva 25. Rengasraudoitus nurkissa (Betoniyhdistys 2012, 29).

7.3 Saumateräkset

Ontelolaattojen saumaterästen tulisi olla enintään 16 mm paksuudeltaan, ja liian suurta teräsmäärää tulisi välttää. Usein sopiva paksuus on 12 mm. (RIL 201-4-2017, 107.) Saumaraudoitus sijoitetaan korkeussuunnassa sauman keskelle. Kuvassa 26 esitetään tapaukset, joissa laataston saumateräkset ovat sijoitettu virheellisesti. Vääränlainen sijoittelu aiheuttaa laatan päähän tukimomenttia ja betonipeitteen rikkoutumista terästen oietessa. (Betoniyhdistys 2012, 27.)



Kuva 26. Väärin sijoitetut saumateräkset (Betoniyhdistys 2012, 27).

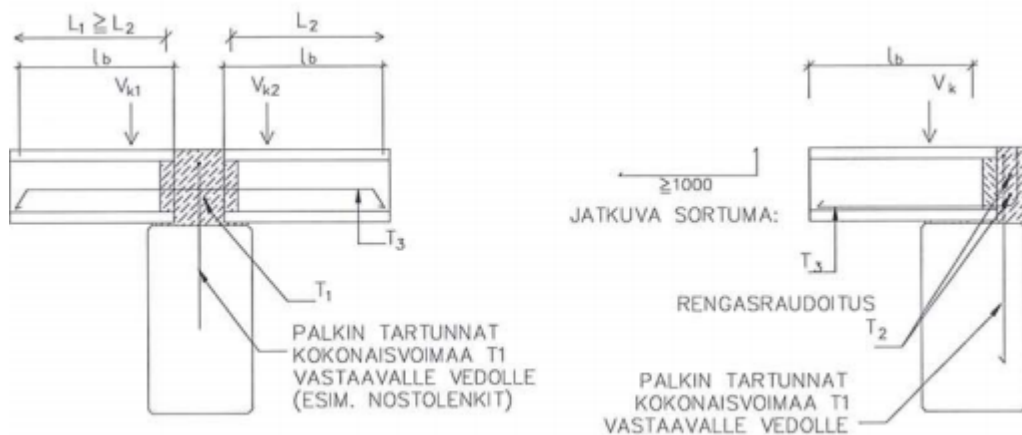
Saumaterästen tartuntaolosuhteita käsitellään huonoina, sillä sauma on kapea sekä hankala valaa ja tiivistää. Suuren teräsmäärän kohdalla tartuntalujuus voikin toimia määrävänä tekijänä saumaterästyistä laskiessa. (Betoniyhdistys 2012, 27.)

Sidontaperiaatteessa on tärkeää varmistaa siteen jatkuvuus rakenteen läpi ja rakenteesta toiseen. Elementtisaumoissa ei yleensä saa käyttää limijatkoksia (RIL 202-2011, 83).

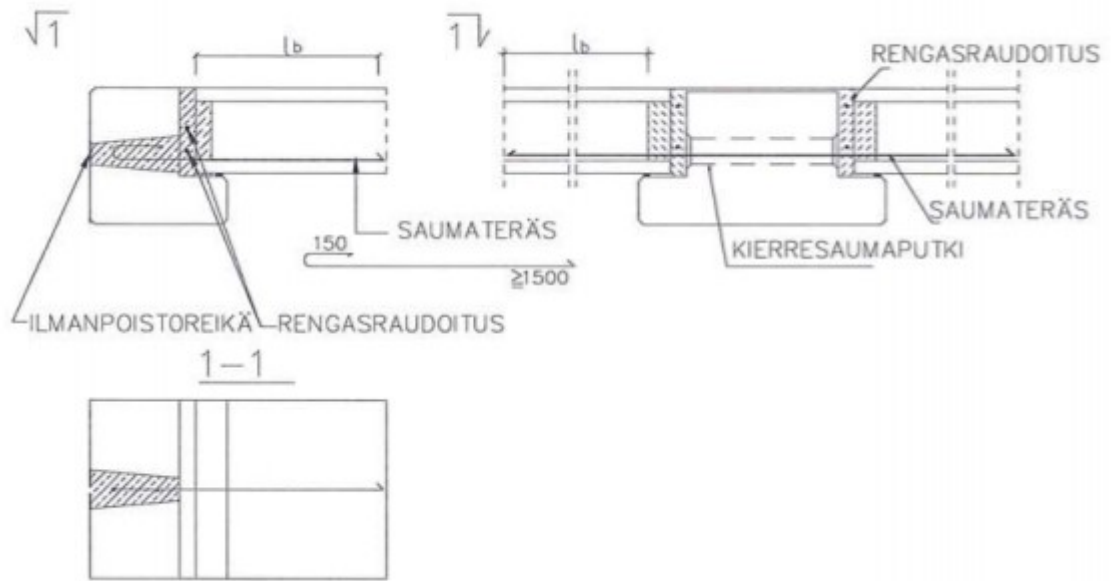
Sisäpuoliset siteet ankkuroidaan välipohjaa kiertävälle rengasraudoitukselle molemmissa päissä rakennetta (RIL 202-2011, 82). Sisäpuoliset siteet eivät siis RIL:n ohjeen mukaan jatku pilareille tai seinille, vaan niiden voimat siirretään luotettavasti rengasraudoitukselle. Siteet sijoitetaan kokonaan elementtisaumoihin tai pintabetonivaluun. (RIL 202-2011, 82.) Betoniyhdistyksen ohjeen mukaan pituussuuntainen saumateräs ankkuroidaan reunalla kantavaan rakenteeseen, joka toimii laatan tukena. (Betoniyhdistys 2012, 28.)

7.4 Vaaka- ja pystyrakenteiden liitokset

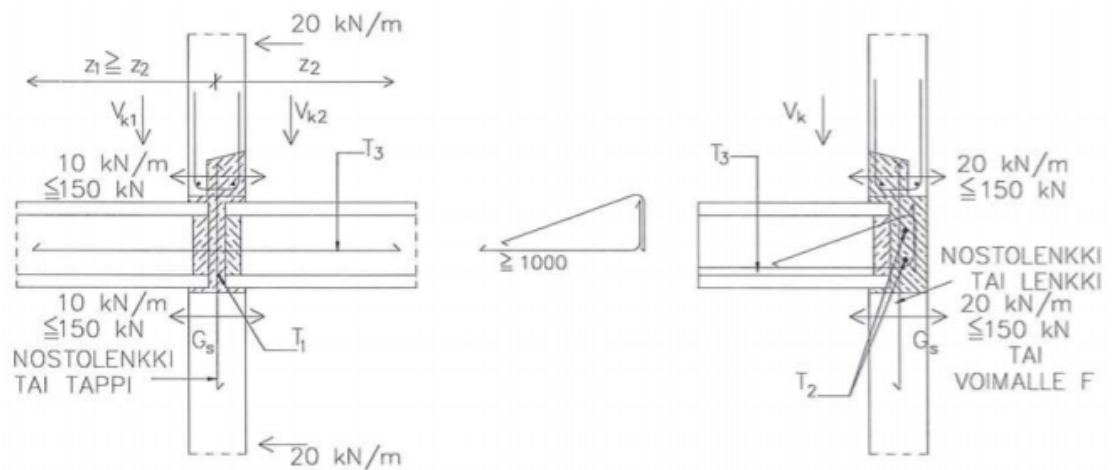
Seuraavissa kuvissa 27–32 esitetään betoninormikortin 23 mukaiset periaatteet liitoksille ja liitosdetaljeja opinnäytetyön aiheeseen liittyen.



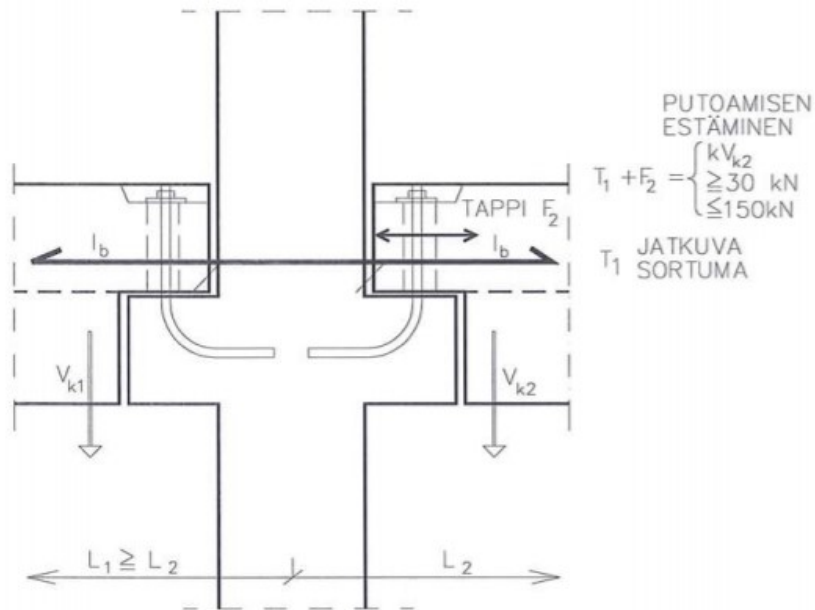
Kuva 27. Laatan ja palkin liitos (Betoniyhdistys 2012, 28).



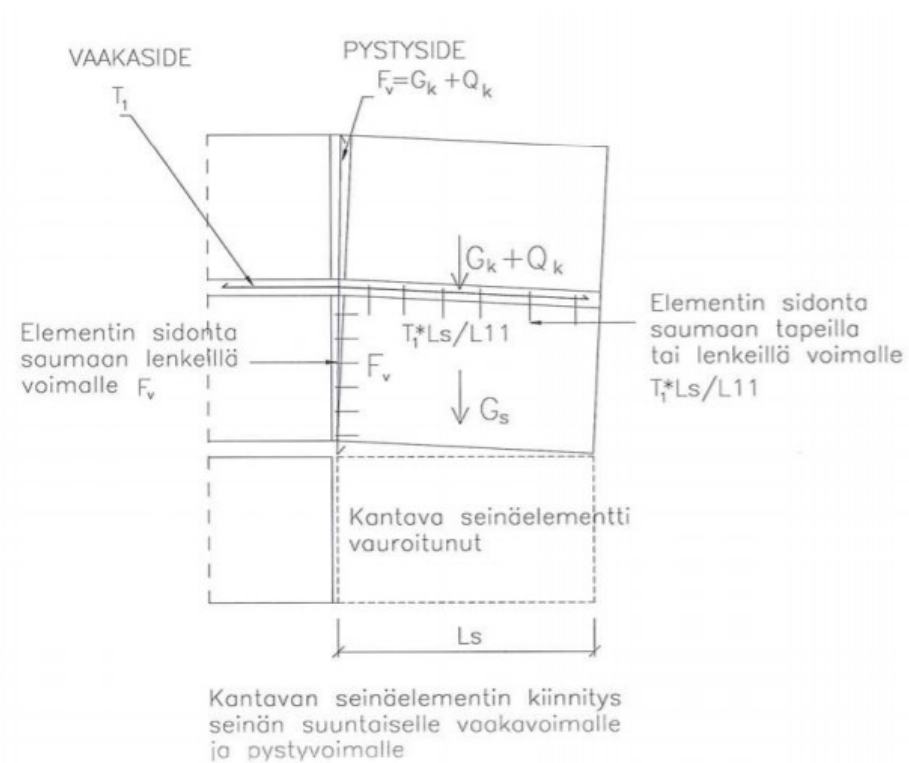
Kuva 28. Ontelolaatan ja leukapalkin liitos (Betoniyhdistys 2012, 29).



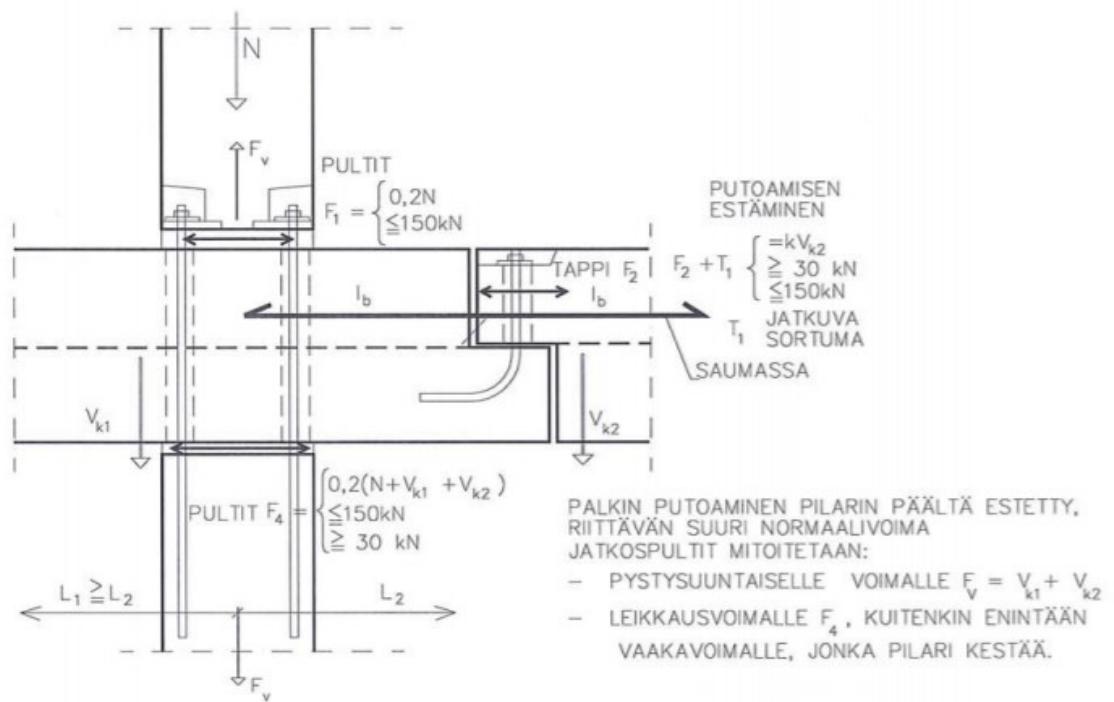
Kuva 29. Laatan ja seinän liitos (Betoniyhdistys 2012, 29).



Kuva 30. Pilarin ja palkin liitos (Betoniyhdistys 2012, 35).



Kuva 31. Kantavan seinän kiinnitys (Betoniyhdistys 2012, 32).



Kuva 32. Kerrospilariliitos (Betoniyhdistys 2012, 36).

8 MITOITUSTYÖKALU

8.1 Suunnittelu ja toteutus

Toimeksiannon tavoitteena oli luoda selkeä ja käyttäjäystävällinen mitoitus työkalu side-terästen laskentaan seuraamusluokissa CC2 ja CC3 betonirunkoisille asuinkerrostoille. Laskennan lopputuloksena käyttäjän tulisi saada tarkastelluille rakenteille vaakaja pystysidonnin sidevoimat ja teräsmäärät sekä pinta-alana että kappalemäärinä eri tankokokoja tarkastellen. Mitoitus työkalu eli laskelmat CC2- ja CC3-kohteille esitetään lopuksi opinnäytetyön liitteenä. Liitteessä toistetaan RIL-oppikirjassa laskettuja esimerkkejä laskentataulukon toiminnan havainnollistamiseksi.

Mitoitus pohjien suunnittelu alkoi kiteyttämällä sideterästen laskennan vaiheet omiksi prosessikaavioiksi. Prosessikaaviot on esitetty aiemmin sidontaperiaatteen esittelyn yhteydessä. Paras tapa lähteä hahmottelemaan mitoitus pohjia oli toistaa lähdekirjallisuudessa esitetyt esimerkkilaskelmat Excel-laskentana. Useat laskentakierrokset ja erilaiset kokeilut toivat oivalluksia mitoitus työkaluun ja laskentaprosessiin liittyviin vaatimuksiin käytännössä. Eri laskentakierrokset toivat myös ilmi, että järkevintä on tuottaa mitoitus pohjat erikseen CC2- ja CC3-seuraamusluokkien kohteille. Laskentaprosessit eroavat toisistaan merkittävästi, eikä olisi ollut mielekäs tai edes tarpeellista sommitella kaikkea samaan laskentapohjaan.

Selkeys ja käyttäjäystävällisyys tarkoittavat myös sitä, että toimivan mitoitus työkalun tulee olla visuaalisesti tarkoituksenmukainen. Koska mitoitus työkalu tulee Vahasen suunnittelijoiden käyttöön, oli järkevää mukaila olemassa olevien mitoitus pohjien tyyliä. Näin mitoitus työkalu on helpommin käyttöön otettava, ja se sulautuu myös sujuvasti osaksi muuta laskentakokonaisuutta. Varsinaisesti mitään uutta ei siis ollut tarpeen kehittää ulkoasun osalta.

Käytännön toimivuuden ja käytettävyyden osalta suureksi avuksi oli myös kokeneen rakennesuunnittelijan palaute ja huomiot käytännön laskennasta sekä esimerkiksi vakiintuneista rakenneratkaisuista. Kun kaikki edellä mainitut seikat oli selvitetty ja huomioitu, alkoi lopullisten mitoitus työkalujen sommittelu ensin ruutupaperille ja siitä Exceliin siten, että laskelmista voidaan lopuksi tehdä tuloste pystysuuntaisena paperikokoon A4.

8.2 Laskentaprosessit ja lopputulokset

CC2- ja CC3-seuraamusluokkien mitoitustyökaluista muodostui kaksi erillistä tiedostoa, joissa on erilainen laskentamenettely. CC2a-luokan kohteen osalta laskennan voi jättää siihen pisteeseen, jossa kaikki vaakasiteet on laskettu. CC2b-luokan kohteen osalta taas prosessi jatketaan loppuun saakka pystysiteiden laskentaan. CC3a- ja CC3b-seuraamusluokille prosessi on keskenään samanlainen. CC3b-luokan kohteisiin liittyy erillinen riskinarvio, joka voi vaikuttaa erityistoimenpiteiden huomiointiin, mutta näihin ei oteta mitoitustyökalussa kantaa.

Mitotustyökalun alkuun syötetään tiedot kohteesta ja laskennan suorittajan nimi. On myös suositeltavaa linkittää tarkasteltavana olevaan rakennekokonaisuuteen liittyvä dwg-tiedosto laskentapohjan tietoihin. Laskentaprosessin edetessä käyttäjä ohjataan syöttämään tietyt vaaditut lähtötiedot mitoitustyökaluun. Julkaisussa RIL 201-4-2017 esitetään periaatteet s- ja z-etäisyyksien laskentaan jänneväliden perusteella. Kohteiden ollessa mahdollisesti hyvinkin erilaisia keskenään, voisi niitä olla hankalaa sovittaa juuri näihin periaate-esimerkkeihin, eikä mitoitustyökalu toimisi tällöin oikein. Siispä s- ja z-etäisyyksien määrittäminen on ratkaistu mitoitustyökalussa siten, että mitoitustyökalun käyttäjä määrittää ne itse ohjeistuksen ja mitoitustyökaluun lisättyjen esimerkkien mukaisesti.

Rengas- ja sisäpuolisten siteiden laskentaan mitoitustyökalussa tarvittavia lähtötietoja ovat CC2-seuraamusluokassa vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo, teräksen myötölujuus ja sidevoiman kertymäleveys s . Lisäksi laskentakaavan valintaa varten määritellään se väli, johon vaakarakenteen kuorma osuu. Kaavat ja kriteerit niiden valintaan esiteltiin aiemmin sidontaperiaatteen luvussa. On myös valittava, käytetäänkö sidevoimalle vähimmäisarvoa. Esimerkiksi rengassiteelle tätä kuuluu käyttää, mutta ontelo-laattojen välisille saumateräksille taas vähimmäisarvoa ei käytetä. Lopputuloksena laskennasta saadaan sidevoima, vaadittu teräspinta-ala sekä pinta-alan perusteella lasketut terästen kappalemäärät riippuen valitusta tankokoosta. Lukumäärät esitetään teräksille T10, T12, T16 ja T20. Pystyrakenteiden vaakasuoran sidontavoiman laskennan lähtötietomenettelyt ovat samat kuin rengas- ja sisäpuolisten siteiden osalta. Vähimmäisarvoa ei tässä tapauksessa ole, mutta sen sijaan enimmäisarvo pätee kaikille sidevoimille. Lopputuloksena saadaan samanlaiset tiedot kuin rengas- ja sisäpuolisissa siteissä.

Pystysidonnin laskentaprosessi on sama seuraamusluokasta riippumatta. Lähtötietoina pystysiteiden mitoitukselle syötetään pystyrakenteelle kohdistuvat pysyvät kuormat,

onnettomuuskuormat, muuttuvat kuormat ja niiden yhdistelykertoimet. Lisäksi määritellään teräksen myötölujuus. Lopputuloksena saadaan jälleen terästen lukumäärät. Lisäksi pystysiteiden osalta on mielekästä pystyä valitsemaan erikokoisista teräksistä käytettävät kappalemäärät ja tarkistamaan niiden käyttöaste, joten tämä toiminto lisättiin pystysiteiden mitoitukseen.

CC3-seuraamusluokan kohteessa rengas- ja sisäpuolisten siteiden laskentaan tarvittavia lähtötietoja ovat teräksen myötölujuus, kerroskorkeus, kerroslukumäärä, vaakarakenteen pysyvä kuorma, muuttuvat kuormat, yhdistelykertoimet sekä etäisyydet s ja z . Pystyrakenteiden vaakasuoraan sidontaan lähtötiedoiksi tarvitaan vaakarakenteen pysyvä kuorma, teräksen myötölujuus, kerroskorkeus, kerroslukumäärä ja etäisyys s . Lopputuloksena kummastakin laskennasta saadaan jälleen sidevoimat, teräspinta-alat ja teräslukumäärät kuten edellä on kuvailtu. Pystysidonta on osana mitoitustyökalua edellisessä kappaleessa kuvaillun mukaisesti.

8.3 Mitoituspohjan toimivuuden testaaminen

Paras tapa tarkistaa mitoituspohjien toimivuus oli testata niitä aitoon kohteeseen aiemmin käsiteltyjen esimerkkien lisäksi. Kohteen suunnitelmat ja laskelmat oli jo aiemmin tehty, joten omia laskelmia pystyi nopeasti vertaamaan kokeneiden suunnittelijoiden määrittämiin teräsmääriin. Testaaminen aloitettiin tutkimalla kohteen tasopiirustuksia ja sitä, mihin kohtaan tarvittaisiin mitään sideteräksiä. RIL-julkaisun ohje ja esimerkkien perusteella luodut mallit esimerkiksi s -etäisyyksistä auttoivat hahmottamaan kyseiset etäisyydet kohteessa. Suunnitelmiin valmiiksi lasketut kuormat oli helppo lisätä mitoituspohjaan.

Laskenta oli helpompaa yksinkertaisen muotoisten alueiden kohdalla. Alueet eivät kuitenkaan aina ole malliesimerkkien tapaan suorakulmioita ja samansuuntaisia. Ne voivat olla esimerkiksi puolisuunnikkaita tai monikulmioita, jotka eivät välttämättä asetu samansuuntaisesti muihin alueisiin nähden. Periaate mitoittamisessa ei kuitenkaan muutu, vaikka suunnat muuttuisivatkin. Yleisesti voisi todeta, että mitä yksinkertaisempi lasketava kohde on, sitä helpompi mitoituspohjaa on käyttää sideterästen laskentaan. Oli tilanne kuitenkin mikä hyvänsä, taulukon käyttö vaatii käyttäjältä asiantuntemusta ja tarkkuutta.

Tilan tarve oli eräs asia, joka nousi esiin mitoituspohjia testatessa. Mitoituspohjiin pystyy erittelemään kunkin laskelman kohdalle kymmenen rakenneosaa, joille määritetään myös modulilinjat, jotta sijainnin paikantaminen on helppoa. Tilan määrän on oltava rajallinen, jotta laskelmat eivät pituudeltaan paisuisi liian pitkiksi. Jos laskettavia sideteräksiä on paljon, joutuu käyttäjä tulostamaan useita eri laskelmatiedostoja saadakseen kaikkia kokonaisen rakennuksen. Kaikki tämä riippuu täysin siitä, kuinka monimuotoinen rakennus on, ja kuinka paljon samoja sideteräsmääriä voidaan toistaa kerroksesta toiseen. Mitä enemmän poikkeavia yksityiskohtia rakennuksessa on, sitä enemmän tarvitaan laskelmiakin. Toisaalta, jos eri kohtiin laskettujen terästen määrien erot eivät ole suuria, valitaan usein käytännöllisyyden takia sellainen ratkaisu, joka toimii kaikissa kohdissa yhteneväisesti. Vaikka teoreettisesti voidaan määrittää tarkkaan eri rakennuksen kohtiin tarvittavat teräsmäärät, käytännössä tämä ei ole tarpeen muuten kuin tarkistamisen takia.

9 LOPUKSI

Opinnäytetyössä perehdyttiin teräsbetonielementtirunkoisten asuinkerrostalojen onnettomuustilanteisiin, vaurionsietokyvyn parantamiseen ja sideterästen mitoitukseen. Lopputuloksena luotiin sideterästen mitoitustyökalu toimeksiantona Vahanen Suunnittelu-palvelut Oy:lle. Aihe on kokonaisuudessaan laaja, sillä onnettomuustilanteessa on huomioitava monenlaisia seikkoja ennalta määritellyistä yllättäviinkin tilanteisiin. Aiheen rajaaminen yhdeksi opinnäytetyöksi toikin omat haasteensa prosessiin. Aihe oli mielenkiintoinen ja syvensi ymmärrystä elementtirakentamiseen, yleisesti rakenteiden käyttäytymiseen ja kuormien siirtymiseen poikkeuksellisissa tilanteissa. Haastavuudeltaan ja laajuudeltaan aihe sopi hyvin rakennustekniikan insinöörin opinnäytetyöksi.

Mitoitustyökalun luominen oli prosessina aluksi mutkikasta ja se vaati paljon systemaattisuutta. Helppokäyttöisyyden ja visuaalisen selkeyden aikaansaaminen vaati useampia laskentakierroksia ja työkalun testikäyttöä esimerkkikohteisiin. Perusteellinen suunnittelu etukäteen oli eduksi mitoitustaulukkoa luotaessa, mutta lopulta tehokkain tapa alkaa tekemään ja kokeilemaan, sillä eniten oivalluksia syntyi juuri kokeilemisen kautta. Ymmärrys aiheesta myös kasvoi sitä mukaa, mitä pidemmälle laskentapohjat etenivät ja mitä useampia haasteita pääsi ratkomaan projektin aikana.

Erilaiset laskentakaavat ja prosessit toivat työhön mielenkiintoa ja haastetta. Seuraamusluokan vaikutus laskentaprosessiin oli suuri: siinä missä luokka CC3 vaati hieman enemmän lähtötietoja laskennan pohjaksi, luokka CC2 taas vaatii sidevoimien interpolointia tietyissä tilanteissa. Koska opinnäytetyössä käsiteltiin betonirakenteisia asuinkerrostaloja, oli kyseessä myös automaattisesti melko painavat vaakarakenteet. Vain harvat, kaikkein kevyimmät ontelolaatat jäisivät pysyvän kuorman arvoltaan alle 3 kN/m^2 . Näin ollen kaavat pienemmille kuormille tai interpolointi ei lähes koskaan tule kyseeseen tällaisissa tapauksissa. Mitoitustyökalun kattavuuden ja aiheen perusteellisen oppimisen kannalta kuitenkin oli tarpeen tehdä laskenta kaikki asiat huomioiden. Näin ollen mitoitustyökalu on sovellettavissa tarvittaessa myös muunlaisille rakennusrungoille, vaikka itse opinnäytetyö rajautui vain tiettyyn materiaaliin ja rakennustyyppiin.

Kehitystyötä voisi jatkaa edelleen esimerkiksi laajentamalla mitoitustyökalua soveltuvaan useammalle eri rakennustyyppille ja myös eri rakennusmateriaaleille. Excelissä on myös paljon toimintoja ja ominaisuuksia, joita opiskelemalla ja hyödyntämällä mitoitustyökalusta voisi jalostaa entistä paremman. Toimeksiantoa sovittaessa mitoitustyökalun

vaatimusten osalta tehtiin rajaus: pitkälle viety mitoitustyökalun suunnittelu ja laskenta-prosessi riittävät, eikä ulkoasun ja toimintojen tarvitse saavuttaa täysin lopullista muotoaan. Mitoitustyökalusta muodostui tästä huolimatta selkeä ja helppokäyttöinen ensimmäinen versio, joka sai myös hyvää palautetta toimeksiantajalta. Versio on käyttökelpoinen jo nyt, mutta siinä on myös hyvä pohja lähteä kehittämään parempia versioita jatkossa.

LÄHTEET

Elementtisuunnittelu, 2010. Asuinrakennukset. (Viitattu 13.1.2021.) <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/asuinrakennukset>.

RIL 149-2019. 2019. Betonirakenteiden työmaatoteutus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry & Suomen Betoniyhdistys ry.

RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.

RIL 201-2-2017. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.

RIL 202-2011. 2011. Betonirakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL ry.

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

Rakennusteollisuus 2004. RT 82-10821. Betonielementtirunkorakenteet. Helsinki: Rakennusteollisuussäätiö RTS.

SFS-EN 1990. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1991-1-1. 2002. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1991-1-7. 2014. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

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

Suomen Betoniyhdistys 2012. Betoninormikortti 23 EC. Liitosten suunnittelu ja mitoitus standardin SFS-EN 1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys Ry. (Viitattu 3.2.2021.) <http://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/betoninormikortit.html>

Suomen Betoniyhdistys ry. 2008. By 210. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2013. By 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1. Vaasa: Waasa Graphics Oy.


Suomen Betoniyhdistys ry. 2014. By 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2. Tampere: Tammerprint Oy.

Vahanan 2021. Tietoa vahasesta. (Viitattu 13.1.2021.) <https://vahanen.com/fi/vahanen/>

Ympäristöministeriö, 2016. Eurokoodin 1990 kansallinen liite. Rakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, säännökset ja ohjeet. (Viitattu 3.2.2021.) https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus

Ympäristöministeriö, 2019. Eurokoodin 1991 kansallinen liite. Kuormat, säännökset ja ohjeet. (Viitattu 3.2.2021.) https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus

Liite 1. Sideterästen mitoituslaskelma, seuraamusluokka CC2b

		Rakennelaskelmat	
		Tekijä: LJa	Sivuja: 3
Rakennuskohde:	Työ nro:	Päiväys: 2021	Sisältö:
RIL 201-4-2017 luvun 7.4 esimerkkiä mukaillen			Sideterästen mitoituslaskelmat
Sideterästen mitoitus CC2-kohteeseen			Versio 1.0

Linkki mitoitettavan kohteen dwg-tiedostoon:

Kohteen seuraamusluokka:

CC2b

Mitoitettavat siteet:

Rengas- ja sisäpuoliset siteet, pystyrakenteiden vaakasidonta, pystysiteet

Rengas- ja sisäpuoliset siteet

Jokainen väli- ja yläpohja varustetaan sen ympäri kiertävillä rengassiteillä ja toisiaan vastaan kohtisuorilla sisäpuolisilla siteillä. Siteet tehdään jatkuviksi ja ne sijoitetaan mahdollisimman lähelle välipohjien reunoja, pilari- ja seinälinjoja. Vähintään 30% siteistä sijoitetaan pilarien ja seinien ruudukolinjojen välittömään läheisyyteen.

Vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo:

gk ≥ 3 kN/m²

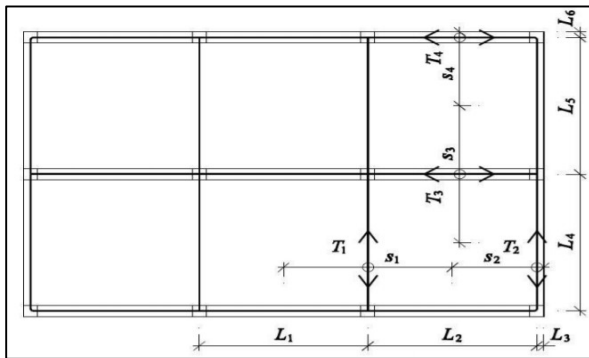
6,6 kN/m²

Teräksen myötölujuus:

500 MPa

Kertymäleveyden s määrittäminen:

Sisäpuolisilla siteillä leveys s on siteiden väli keskeltä keskelle. Rengassiteillä leveys s on rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdella, lisättyä etäisyydellä rakenteen reunaan.



Rakenneosan selite	Mod. linja	T	s [m]	T [kN]	T väh. [kN]	Vähimmäisarvon käyttö*
Rengasside kentän reunatuella		T1	7,29	145,8	70	Kyllä
Rengasside kentän reunalla		T2	5,265	105,3	70	Kyllä
Rengasside keskituella, saumateräs		T3	0,6	12	70	Kyllä
Rengasside reunatuella, saumateräs		T4	1,14	22,8	70	Kyllä
Sisäpuolinen side, saumateräs		T5	1,2	24	70	Ei
Sisäpuolinen side, saumateräs		T6	1,2	24	70	Ei
				0	70	Ei
				0	70	Ei
				0	70	Ei
				0	70	Ei

*Sidevoiman T vähimmäisarvoa käytetään pääsääntöisesti rengassiteille. Jos sisäpuoliset siteet joudutaan keskittämään tukiliinjalle, tulee vähimmäisarvoa soveltaa myös tällöin (esim. elementtien päätysaumoissa olevat sisäpuoliset siteet). Ontelolaattojen välisille saumateräksille ei yleensä sovelleta vähimmäisarvoa.

Rakenneosan selite	Mod. linja	T valittu arvo [kN]	Teräsala [mm ²]	T10 [mm ²]	T12 [mm ²]	T16 [mm ²]	T20 [mm ²]
Rengasside kentän reunatuella		145,8	291,6	4	3	2	1
Rengasside kentän reunalla		105,3	210,6	3	2	2	1
Rengasside keskituella, saumateräs		70	140	2	2	1	1
Rengasside reunatuella, saumateräs		70	140	2	2	1	1
Sisäpuolinen side, saumateräs		24	48	1	1	1	1
Sisäpuolinen side, saumateräs		24	48	1	1	1	1
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0

Pystyrakenteiden vaakasuora sidonta

Reunapilarit ja -seinät sidotaan jokaiseen väli- ja yläpohjatasoon.

Vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo:

$g_k \geq 3 \text{ kN/m}^2$

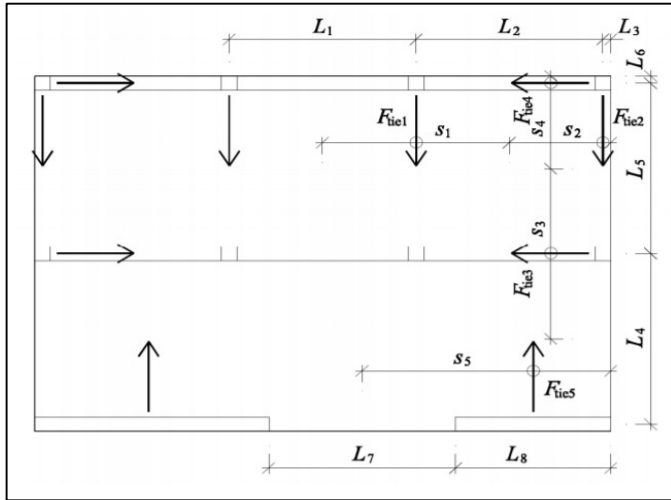
6,6 kN/m²

Teräksen myötölujuus:

500 MPa

Kertymäleveyden s määrittäminen:

Sidevoiman kertymisleveys s lasketaan pystyrakenteiden välisten vapaiden etäisyyksien puolesta välistä puoleenväliin tai pystyrakenteen ollessa ulkonurkassa rakenteen ulkoreunaan saakka.



Rakennesosan selite	Mod. linja	F_{tie}	s [m]	F_{tie} [kN]	F_{tie} max. [kN]
Kantavat seinät		F_{tie7}	8,94	178,8	150
Kantavat seinät		F_{tie8}	8,04	160,8	150
				0	150
				0	150
				0	150
				0	150
				0	150
				0	150
				0	150

Rakennesosan selite	Mod. linja	F_{tie} valittu	Teräsala				
		arvo [kN]	[mm ²]	T10 [mm ²]	T12 [mm ²]	T16 [mm ²]	T20 [mm ²]
Kantavat seinät		150	300	4	3	2	1
Kantavat seinät		150	300	4	3	2	1
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0

CC2a: Mitoitus päättyy tähän.

CC2b: Mitoitus etenee pystysiteiden mitoitukseen.

Pystysidonta

Jokainen pilari ja seinä varustetaan jatkuvalla pystysuuntaisella sidonnalla perustuksista yläpohjan tasolle. Pilareiden ja kantavien seinien tulee kestää onnettomuusmitoitustilanteessa esiintyvä vetovoima, jonka mitoitusarvo on suurin pystysuuntaisten pysyvän ja muuttuvien kuormien mitoitusarvon reaktio, joka kertyy pilarille tai seinälle yhdestä kerroksesta. Vetovoima ankkuroidaan yläpuoliseen kerrokseen.

Teräksen myötölujuus:

500 MPa

Rakenneosan selite	Mod. linja	T	Pysyvät kuormat [kN/m ²]	Kertymis-alue [m ²]	Pysyvät kuormat [kN]	Onnettomuus-kuormat [kN]
Kantava seinä 1		T9	6,6	61,236	109,2	0
Kantava seinä 2		T10	6,6	40,74	109,2	0


Rakenneosan selite	Mod. linja	Muuttuva kuorma 1 [kN/m ²]	Yhdistelykerroin 1	Muuttuva kuorma 2 [kN/m ²]	Yhdistelykerroin 2	Muuttuva kuorma 3 [kN/m ²]	Yhdistelykerroin 3
Kantava seinä 1		2	0,3				
Kantava seinä 2		2	0,3				

Rakenneosan selite	Mod. linja	T [kN]	Teräsala vaad. [mm ²]	T10 [mm ²]	T12 [mm ²]	T16 [mm ²]	T20 [mm ²]
Kantava seinä 1		550	1100,1984	15	10	6	4
Kantava seinä 2		403	805,056	11	8	5	3
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0

Käytettävät teräkset:

Rakenneosan selite	Mod. linja	T10 [kpl]	T12 [kpl]	T16 [kpl]	T20 [kpl]	Teräsala val. [mm ²]	Käyttöaste [%]
Kantava seinä 1		0	4	0	4	1709,0	64
Kantava seinä 2		0	3	0	3	1281,8	63
						0,0	
						0,0	
						0,0	
						0,0	
						0,0	
						0,0	
						0,0	
						0,0	

CC2b: Mitoitus päättyy tähän.

		Rakennelaskelmat	
		Tekijä: LJa	Sivuja: 4
Rakennuskohde:	Työ nro:	Sisältö:	
RIL 201-4-2017 luvun 7.4 esimerkkiä mukaillen		Sideterästen mitoituslaskelmat	
Sideterästen mitoitus CC3-kohteeseen			Versio 1.0

Linkki mitoitettavan kohteen dwg-tiedostoon:

Kohteen seuraamusluokka:

CC3a

Mitoitettavat siteet:

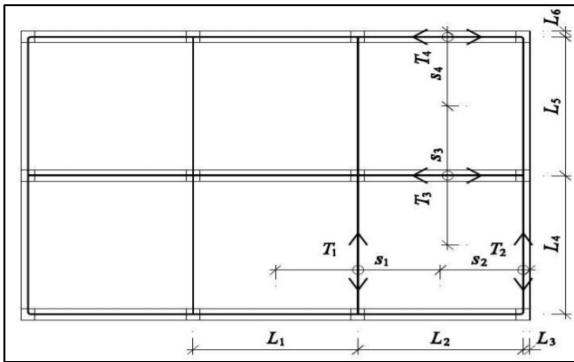
Rengas- ja sisäpuoliset siteet, pystyrakenteiden vaakasidonta, pystysiteet

Rengas- ja sisäpuoliset siteet

Jokainen väli- ja yläpohja varustetaan sen ympäri kiertävillä rengassiteillä ja toisiaan vastaan kohtisuorilla sisäpuolisilla siteillä. Siteet tehdään jatkuviksi ja ne sijoitetaan mahdollisimman lähelle välipohjien reunoja, pilari- ja seinälinjoja. Vähintään 30% siteistä sijoitetaan pilarien ja seinien ruudukolinjojen välittömään läheisyyteen.

Kertymäleveyden s määrittäminen:

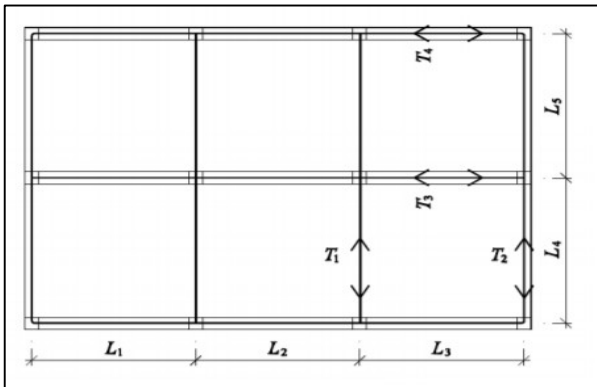
Sisäpuolisilla siteillä leveys s on siteiden väli keskeltä keskelle. Rengassiteillä leveys s on rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdella, lisättynä etäisyydellä rakenteen reunaan.



Etäisyyden z määrittäminen:

Etäisyys z on varmalle puolelle otaksuttu arvio korvaavan köysirakenteen jännevälin puolikkaasta: pilareiden tai seinien keskiviivojen välinen etäisyys siteen suunnassa, tai siteen ollessa kantavan seinän suunnassa, poistettavaksi ajatellun seinälohkon nimellinen pituus jaettuna kahdella. Kantavan seinälohkon nimellispituus on sivusuuntaisena tukena toimivien pystysuuntaisten rakenneosien välinen etäisyys, joka on kuitenkin enintään 2,25H (H = kerroskorkeus).

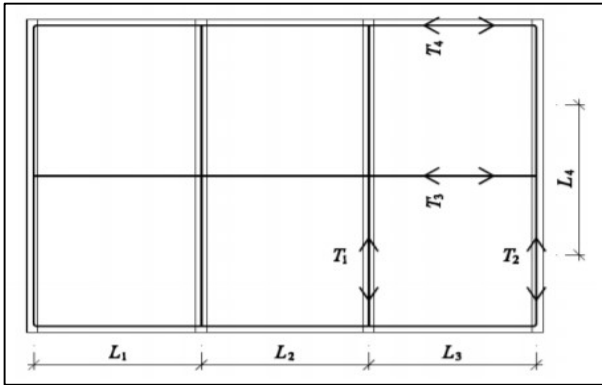
Pilari-palkki-runko:



T1 ja T2: $z = \max (L4, L5)$

T3 ja T4: $z = \max (L1, L2, L3)$

Kantavat seinät - laatta -runko:



T1 ja T2: $z = L4 / 2$
Huom! L4 enintään 2,25H (H=kerroskorkeus)

T3 ja T4: $z = \max (L1, L2, L3)$

Teräksen myötölujuus:

Kerroskorkeus (H):

Kerroslukumäärä (ns):

Vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo:

Vaakarakenteen muuttuva kuorma 1:

Muuttuvan kuorman 1 yhdistelykerroin:

Vaakarakenteen muuttuva kuorma 2:

Muuttuvan kuorman 2 yhdistelykerroin:

500	MPa
3	m
11	kpl
3	kN/m ²
2	kN/m ²
0,3	
	kN/m ²

Kantavan seinälötkön nimellispituuden maksimiarvo (2,25H):

6,75 m

Ft (pienempi arvoista 48 kN/m ja (16+2,1*ns) kN/m):

39,1 kN/m

Rakenneosan selite	Mod. linja	T	s [m]	z [m]	Sidevoiman vähimmäisarvo	
					Side-voima [kN]	Ft * s [kN]
Rengasside kentän reunatuella		T1	7,29	3,38	92	285
Rengasside kentän reunalla		T2	5,265	3,38	67	206
Rengasside keskituella, saumateräs		T3	0,6	9,7	22	23
Rengasside reunatuella, saumateräs		T4	1,14	9,7	42	45
Sisäpuolinen side, saumateräs		T5	1,2	9,7	44	47
Sisäpuolinen side, saumateräs		T6	1,2	9,7	44	47
					0	0
					0	0
					0	0
					0	0

Rakenneosan selite	Mod. linja	T valittu arvo [kN]	Teräsala [mm ²]	Teräsala			
				T10 [mm ²]	T12 [mm ²]	T16 [mm ²]	T20 [mm ²]
Rengasside kentän reunatuella		285	570	8	6	3	1
Rengasside kentän reunalla		206	412	6	4	3	1
Rengasside keskituella, saumateräs		23	47	1	1	1	1
Rengasside reunatuella, saumateräs		45	89	2	1	1	1
Sisäpuolinen side, saumateräs		47	94	2	1	1	1
Sisäpuolinen side, saumateräs		47	94	2	1	1	1
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0

