jamk.fi

Betonielementtirakenteisen asuinrakennuksen jatkuva sortuma

Matias Hytönen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Jyväskylän ammattikorkeakoulu
JAMK University of Applied Sciences

jamk.fi

Kuvailulehti

Tekijä(t)	Julkaisun laji	Päivämäärä
Hytönen, Matias	Opinnäytetyö, AMK	10.5.2019
	Sivumäärä 63	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa Kyllä

Työn nimi

Betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon jatkuva sortuma

Tutkinto-ohjelma

Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Työn ohjaaja(t)

Pekka Lähdesmäki, Marko Viinikainen

Toimeksiantaja(t)

Sitowise Oy

Tiivistelmä

Työn päätavoitteena oli tutkia betonielementtirakenteiseen asuinkerrostaloon kohdistuvia onnettomuuskuormia ja jatkuvaa sortumaa. Työn edetessä työhön lisättiin myös sidejärjestelmien mitoituksen teoria, eli mukaan tulivat rengasteräkset, saumateräkset ja seinäelementtien pystysidonnat. Työn tilaajana toimii Sitowise Oy.

Aihe rajattiin elementtirakenteisiin asuinkerrostaloihin ja työssä ei otettu huomioon tulipalotilannetta eikä maanjäristystä maantieteellisen sijainnin vuoksi. Sidontojen mitoituksen teoria käsiteltiin vain laataston ja seinän osalta.

Työn tuloksena tilaajalle tuotettiin Excel-mitoituspohja, jolla voidaan mitoittaa rengasraudoitusten, saumaterästen ja elementtien pystysidonnat onnettomuustilanteessa. Tämän tuotoksen avulla rakennesuunnittelijat voivat mitoittaa rakennukselle onnettomuustilanteen antamat vähimmäissideteräsmäärät.

Opinnäytetyön toteuttamiseen käytettiin sekä kirjallisia että verkossa olevia lähteitä. Tärkeimpinä lähteinä toimivat eurokoodit, RIL julkaisut sekä ympäristöministeriön eurokoodien kansalliset liitteet.

Opinnäytetyön raportissa tarkasteltiin betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon onnettomuuskuormia, seuraamusluokkia, jatkuvaa sortumaa ja jatkuvan sortuman estämisen keinoja.

Avainsanat (asiasanat)

Onnettomuuskuorma, Jatkuva sortuma, Seuraamusluokka, Sidejärjestelmä, Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti

Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)

jamk.fi

Description

Author(s)	Type of publication	Date
Matias Hytönen	Bachelor's thesis	May 2019
		Language of publication: Finnish
	Number of pages: 63	Permission for web publication: Yes

Title of publication

Progressive collapse in precast apartment building

Degree programme

Bachelor of Engineering, Civil and Construction Engineering

Supervisor(s)

Lähdesmäki, Pekka; Viinikainen, Marko

Assigned by

Sitowise Oy

Abstract

The main goal of this thesis was to research accidental actions and progressive collapse in precast concrete apartment building. As the work progressed, the theory of designing tying systems was added to the thesis. Tying system includes internal ties, peripheral ties and vertical ties of precast walls. This thesis was assigned by Sitowise Oy.

The subject was narrowed to concern only precast apartment buildings and situations as building fire, and earthquake were ignored due the geographical location. Theory of designing tying system was only covered for floor systems and walls.

The outcome of the thesis was an Excel tool, with which structural engineers can design internal ties, peripheral ties and vertical ties of precast walls for accidental situation. The tool gives minimum amount of ties needed in accidental situation.

Both written and online sources were used for making this thesis. The most important sources were Eurocodes, RIL publications and National Annexes of Eurocodes released by Ministry of Environment.

Accidental loads, consequence classes, progressive collapse and prevention of progressive collapse of precast concrete building were studied in this thesis.

Keywords/tags (subjectshttp://vesa.lib.helsinki.fi/)

Accidental actions, Progressive collapse, Consequence class, Tying system, Alternate load path

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1 Opinnäytetyön lähtökohdat 5

1.1 Taustat ja toimeksiantaja 5

1.2 Tavoitteet ja rajaukset 5

2 Tutkimussuunnitelma 6

3 Onnettomuuskuormat 7

3.1 Rakenteiden suunnittelu 7

3.2 Onnettomuuskuormitustilanteet 9

3.3 Onnettomuustilanteet 12

3.4 Kuormien muodostuminen 15

3.4.1 Törmäys 15

3.4.2 Törmäys rakennuksen tukirakenteisiin 15

3.4.3 Rakennuksen sisäpuoliset räjähdykset 17

4 Jatkuva sortuma 18

4.1 Vaurionsietokyvyn varmistaminen seuraamusluokissa 21

4.2 Vaurionsietokyvyn varmistamisen keinoja 22

4.2.1 Sidejärjestelmät 22

4.2.2 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit 25

4.2.3 Avainasemassa oleva rakenneosa 29

4.3 Menettelytapojen valinta 30

4.3.1 CC1 seuraamusluokka 30

4.3.2 CC2 seuraamusluokka 30

4.3.3 CC3 seuraamusluokka 30

4.4 Nurkkapilarien tarkastelu 32

4.5 Riskiarviointi 33

4.5.1 Ennakoitavissa olevat onnettomuustilanteet 34

4.5.2 CC3b seuraamusluokan riskiarviointi 34

4.6 Jatkuvan sortuman suunnitteluratkaisuja 35

5 Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille 36

5.1 Vaakasiteet 36

5.2 Seinien liitokset 39

5.2.1 Vaakasidonta tasoon 39

5.2.2 Pystysiteet 42

5.2.3 Tappiliitoksen mitoitus leikkaukselle 43

6 Pohdinta ja johtopäätökset 44

6.1 Tulokset 44

6.2 Henkilökohtainen kehittyminen 45

6.3 Johtopäätökset 45

6.4 Jatkotutkimus 46

Lähteet 48

Liitteet 50

Liite 1. Rakententeellisen turvallisuuden riskiarviotaulukko 50

Liite 2. Jatkuvan sortuman uhkaa lisääviä suunnittelu yksityiskohtia 51

Liite 3. Keinoja vaurionsietokyvyn parantamiseksi 52

Liite 4. Yli 6m pitkän väliseinän sidonta ylempään elementtiin 53

Liite 5. Kantavan väliseinän ja ontelolaatan liitos 54

Liite 6. Seinän yläpään tappiliitoksen käyttö pystysidonnassa 55

Liite 7. Saumateräksen ankkurointiperiaate 56

Liite 8. Elementin poistuminen 57

Liite 9. Tappi-kololiitoksen heikot kohdat 58

Liite 10. Työn pohjalta tehty sideterästen mitoitus Excel-taulukko 59

Liite 11. Seinäelementin pystysidonnasta tehty Excel-taulukko 60

Kuviot

Kuvio 1. Onnettomuusmitoitustilanteen periaatteet 13
Kuvio 2. Seuraamusluokat onnettomuusrajatilassa 14
Kuvio 3. Törmäyskuorman pienennyskerroin 17
Kuvio 4. Rakennuksen tukirakenteisiin vaikuttava törmäyskuorman sijainti ja vaikutusalue 17
Kuvio 5. Paikallisen vaurion hyväksyttävä laajuus monikerroksisessa rakennuksessa 20
Kuvio 6. Rakennuksen rungon sidejärjestelmä 23
Kuvio 7. Mahdollisia korvaavia rakennesysteemejä 24
Kuvio 8. Staattisen määräämättömyyden hyödyntäminen 27
Kuvio 9. Kulmapilarin onnettomuussuunnittelu 33
Kuvio 10. Saumaterästen virheellinen sijoitus 37
Kuvio 11. z-mitan määritys määritettäessä T_i voimaa 39
Kuvio 12. Sidevoiman kuormitusleveyden s määritys seinien sidontavoiman laskennassa 42

Taulukot

Kuvaotsikkoluettelon hakusanoja ei löytynyt.

Taulukko 1. K_{FI} kertoimet 8
Taulukko 2. Seuraamusluokat 9
Taulukko 3. Ψ-kertoimien arvot 11
Taulukko 4. Törmäyksen mitoituskuormat tukirakenteisiin 16
Taulukko 5 Menettelytapoja vaurionsietokyvyn hallintaan 31

Käsitteet

Dynaaminen kuorma	Kuorma, jonka suunta ja suuruus vaihtelee
Ekvivalentti	Samanarvoinen, yhdenmukainen, täysin vastaava
Jatkuva sortuma	Paikallisen vaurion seurauksena ketjureaktiona tapahtuva sortuma, jossa merkittävä osa rakennuksesta, tai jopa koko rakennus sortuu. Merkittävän suuri henkilövahinkojen vaara
Levyrakenne	Tasomainen rakenneosa, johon kohdistuu tasossa vaikuttavia voimia. Voi koostua useasta esivalmisteisista osista, eli esimerkiksi elementeistä.
Paikallinen vaurio	Onnettomuuskuorman aiheuttama yksittäisen rakenneosan vaurioitumisesta johtuva alkusortuma
Plastisuus	Aineen ominaisuus, jossa voiman vaikutuksesta sen muotoon syntyy pysyviä muodonmuutoksia
Side	Elementtirakenteiden yhteydessä side on välipohjaan, seinään tai pilariin sijoitettu osa, esimerkiksi saumateräs tai deltapalkki, joka siirtää vetokuormituksia.
Staattinen kuormitus	Kuorma, jonka suunta ja suuruus on vakio

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Taustat ja toimeksiantaja

Opinnäytetyön lähtökohtana toimi Sitowise Oy:n antama toimeksianto, jonka tarkoituksena oli tutkia betonielementtirakenteisessa asuinkerrostalossa esiintyviä onnettomuuskuormia, seuraamusluokkia ja jatkuvaa sortumaa. Opinnäytetyön päämääränä oli selvittää elementtirakenteiseen kerrostaloon kohdistuvat onnettomuuskuormat, sekä tutkia jatkuvaa sortuman toimintaa ja sen hallitsemista.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Sitowise Oy. Sitowise on asiantuntijayritys, joka tarjoaa rakennetun ympäristön suunnittelu-, asiantuntija- ja digitaaliset palvelut. Sitowise tarjoaa uudis- ja korjausrakentamisen palveluita sekä infrasuunnittelua, rakennuttamista, hankesuunnittelua, valvontaa, konsultointia ja tutkimus- ja tarkastuspalveluita. Sitowise on suurin suomalaisomisteinen rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimisto. Yritys työllistää noin 1400 asiantuntijaa ja toimii Suomessa 19 paikkakunnalla. Yrityksellä on myös tytäryhtiöt Norjassa sekä Virossa ja osakkuusyhtiöt Latviassa sekä Puolassa. (Sitowise n.d.)

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon onnettomuuskuormia, seuraamusluokkia ja jatkuvaa sortumaa. Työn lukemalla suunnittelija saa käsityksen onnettomuuskuormien huomioimisesta rakennesuunnittelussa sekä tietää, miten jatkuva sortuma käyttäytyy ja miten se huomioidaan rakennesuunnittelussa.

Opinnäytetyössä tutkitaan seuraamusluokkia CC1, CC2 ja CC3. Opinnäytetyössä ei käsitellä maanjäristystä eikä tulipaloa.

Yritykselle on tarkoitus tuottaa suunnittelukäyttöön soveltuva Excel-taulukko-ohjelma. Taulukko-ohjelman tarkoituksena on onnettomuustilanteen rengasterästen,

saumaterästen ja seinien pystysuuntaisten saumaterästen mitoittaminen onnettomuustilanteessa.

2 Tutkimussuunnitelma

Opinnäytetyön tekoon käytetään kvalitatiivista tutkimusmenetelmää, jossa käytetään induktiivista logiikkaa. Laadullisella menetelmällä saadaan kapeasta tutkimusalueesta tarkempi kuva. Aineiston analyysi alkaa aineiston lukemisella ja etsimällä siitä tutkimusongelmaan liittyviä asioita. Aineistoa lukiessa tehdään muistiinpanoja ja merkintöjä. Saatu aineisto luokitellaan aiheittain ja yhdistellään ja jäsennellään tekstiksi, joka vastaa tutkimuskysymyksiin.

Tietojen luotettavuus arvioidaan tarkastelemalla sen ajantasaisuutta, kirjoittajan tiedot oltava olemassa. Käytetään mieluummin tiedon alkuperäistä versiota kuin toisen käden lähteitä. Käytetään tuoreinta saatavilla olevaa aineistoa. (Hakutulosten arviointi n.d.)

Tietojen luotettavuutta voidaan arvioida tiedonlähteiden arviointilomakkeilla, joka ottaa kantaa tiedon ajantasaisuuteen, tekijän asiantuntemukseen ja maineeseen, julkaisun laatuun, julkaisijan tai kustantajan laatuun sekä julkaisun kohderyhmään. (Hakutulosten arviointi n.d.)

Opinnäytetyössä etsitään vastauksia muun muassa seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä onnettomuuskuormia betonielementtirakenteiselle asuinkerrostalolle voi kohdistua?
- Miten onnettomuuskuormat täytyy huomioida rakennesuunnittelussa
- Miten jatkuva sortuma käyttäytyy?
- Miten jatkuva sortuma estetään?

3 Onnettomuuskuormat

3.1 Rakenteiden suunnittelu

Rakennus on suunniteltava kestämään suunnitellun käyttöiän aikana sille kohdistuvat kuormat ja vaikutukset, jotka todennäköisesti esiintyvät rakennuksen rakentamisen ja käytön aikana. Rakenne pitää suunnitella niin, että sillä on riittävä kestävyys, käyttökelpoisuus ja säilyvyys. Rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että ne kestävät niille mahdollisesti kohdistuvan onnettomuuskuorman aiheuttamatta suhteettoman paljon vaurioita verrattuna sen aiheuttamaan tapahtumaan. (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006, 44.)

Kun kantavat rakenteet suunnitellaan ja toteutetaan käyttäen eurokoodeja ja niiden kansallisia liitteitä noudattaen, niiden olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät. (Rakenteiden lujuus ja vakaus n.d.) Onnettomuusmitoitustilanteiden suunnittelua varten on olemassa standardi SFS-EN 1991-1-7, joka sisältää toimintaperiaatteita sekä sääntöjä, joita noudattamalla rakennuksia suojataan ennalta määriteltäviltä ja ennalta määrittelemättömiltä onnettomuuskuormilta.

Kuormien luokitus

Kuormat jaetaan niiden ajallisen vaihtelun mukaan pysyviin-, muuttuviin- ja onnettomuuskuormiin. Kuormat tulee myös luokitella välittömiksi tai välillisiksi niiden alkuperän perusteella, vaikutuskohdan vaihtelun perusteella kiinteiksi tai liikkuviksi ja luonteen tai rakenteen vasteen perusteella staattisiksi tai dynaamisiksi (SFS-EN 1990 + A1 + AC 2006, 58.)

Pysyviin kuormiin (G) kuuluvat rakenteiden omapaino, kiinteiden laitteiden paino, kutistumisen ja epätasaisten painumien aiheuttamat välilliset kuormat. Muuttuviin kuormiin (Q) kuuluvat hyötykuormat,lumikuormat ja tuulikuormat. Onnettomuuskuormiin (A) kuuluu muun muassa törmäykset ja räjähdykset (Mts. 58.)

Rajatilamitoitus

Rajatilamitoitus jaetaan kahteen eri ryhmään, käyttörajatila- ja murtorajatilamitoitukseen. Murtorajatilamitoitukseen kuuluvat ihmisten turvallisuuteen ja rakenteiden varmuuteen kuuluvat rajatilat. Tälläisiä murtorajatiloja ovat raketeen vaurioituminen, rakenteen väsymisen aiheuttama vaurioituminen ja rakenteen tasapainon menetys. Murtorajamitoituksessa käytetään kuormille ominaisarvoja, jotka kerrotaan tarkasteluun soveltuvilla kertoimilla, seuraamusluokan K_{fi} kertoimella. Esimerkiksi CC2 seuraamusluokan rakennukselle käytetään taulukon 1 mukaisesti kerrointa rajatilamitoituksessa 1,0 ja pysyvät kuormat kerrotaan kertoimella 1,15 ja muuttuvat kuormat kertoimella 1,5. (RIL 201-1-2017, 27; 38.)

Käyttörajatilat liittyvät rakenneosan tai rakenteen toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen ja rakennuskohteen ulkonäköön. Käyttörajatilassa kiinnitetään huomiota muun muassa siirtymiin, värähtelyihin ja vaurioihin jotka heikentävät teknisten järjestelmien ja rakenteen toimivuutta ja säilyvyyttä. Käyttörajatilassa kuormille käytetään pelkkää ominaisarvoa F_k, eli kuormien edustavia arvoja ilman osavarmuuskertoimia. Murtorajatilassa käytetään ominaisarvolle erilaisia osavarmuuslukuja ja kertoimia. (Mts. 28-29.)

Taulukko 1. K_{FI} kertoimet (RIL 201-1-2011, 37)

Kuormakerroin K_{fi}	Seuraamusluokka
1,1	CC3
1,0	CC2
0,9	CC1

Taulukko 2. Seuraamusluokat (SFS-EN 1991 Kansallinen liite 2016, 23)

Seuraamus-luokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä
CC3	**Suuret** seuraamukset ihmishenkien menetysten *tai* **hyvin suurten** taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Rakennuksen kantava runko[1)] jäykistävine rakennus-osineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten - yli 8-kerroksiset[2)] asuin-, konttori- ja liikerakennukset - konserttisalit, 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 ihmis-henkien menetysten *tai* **merkittävien** taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristö-vahinkojen takia	Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1.
CC1	**Vähäiset** seuraamukset ihmishenkien menetysten *tai* **pienten** tai **merkityksettömien** 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 raken-nusta jäykistävänä rakenteena.
[2)] kellarikerrokset mukaan luettuina.
[3)] tilapäisenä oleskeluna pidetään päivittäistä käymistä rakennuksessa, mutta ei siellä pidempään viipymistä.

3.2 Onnettomuuskuormitustilanteet

Onnettomuuskuormitusyhdistelmä on erillinen kuormitusyhdistelmä, joka ei vaikuta samanaikaisesti muiden kuormitusyhdistelmien kanssa. Onnettomuustilanteiden mitoituksessa käytetään murtorajatilamenetelmää pienentäen kuormien ja materiaalien osavarmuuslukuja. Onnettomuuskuormitusyhdistelmässä otetaan

huomioon tarkasteltava onnettomuuskuorma, pysyvät kuormat sekä mahdolliset onnettomuuskuorman kanssa samaan aikaan vaikuttavat muuttuvat hyötykuormat yhdistelykertoimella Ψ kerrottuna. Luonnonkuormien pääasilliselle kuormalle käytetään kerrointa Ψ_1 ja muille kerrointa Ψ_2, ks. taulukko 3. Kuormille käytetään osavarmuuslukua 1,0 onnettomuusmitoitustilanteessa. K_{FI} kerrointa ei käytetä onnettomuustilanteissa. (Betoninormikortti 23_EC 2012, 14.)

Onnettomuuskuormien mitoituskuorma A_d määritellään hankekohtaisesti ja mitoituskuorman arvona ei voida määrittää SFS-EN 1991-1-7 ja sen kansallisen liitteen määriteltyjä arvoja pienempiä arvoja ilman viranomaisen lupaa. (RIL 201-2-2011, 115.)

Onnettomuusrajatilan seuraamusluokat määritetään Suomessa SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen osassa 5: Rakennusten jako seuraamusluokkiin onnettomuusmitoitustilanteessa. (ks. kuvio 2). Rakennuksen eri osat voivat kuulua eri seuraamusluokkaan joissain olosuhteissa. Yksittäisiä rakenneosia ei voida tarkastella eri seuraamusluokkiin kuuluvina. (Mts. 116.)

Raudoituksille onnettomuusmitoitustilanteen laskentalujuutena käytetään ominaislujuutta. Materiaaliosavarmuuskertoimina käytetään betonille $\gamma_{c,acc} = 1,2$ ja betoniteräkselle $\gamma_{s,acc} = 1,0$. (RIL 202-2011, 18.)

Onnettomuusmitoitustilanteen kuormayhdistelmät ovat RIL 201-1-2017 mukaan seuraavanlaiset.

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

kun pääasiallinen hyötykuorma $Q_{k,1}$ on lumi, jää tai tuulikuorma

tai

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

kun pääasiallinen hyötykuorma $Q_{k,1}$ on jokin muu kuin lumi, jää tai tuulikuorma

jossa $G_{k,j}$ Pysyvä kuorma

$Q_{k,1}$ Määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k,i}$ Muut muuttuvat kuormat

Ψ Yhdistelykerroin taulukon 3 mukaan

P Esijännitysvoima

A_d Onnettomuusmitoituskuorma

(RIL 201-1-2017, 41).

Taulukko 3. Ψ-kertoimien arvot (SFS-EN 1990 Kansallinen liite 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, 30kN < ajoneuvon paino ≤ 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/m²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2{,}75$ kN/m²	0,7	0,5	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.
**) Ajokäytävillä $\psi_2 = 0$
***) Koskee huurtumisesta, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia

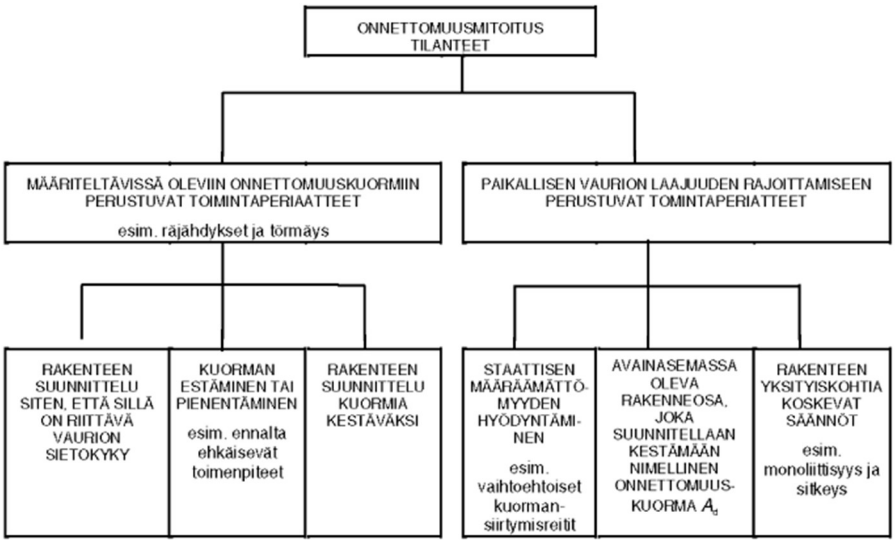
3.3 Onnettomuustilanteet

Onnettomuusmitoitustilanteet jaetaan kahteen pääryhmään, jotka ovat ennakoitavissa olevat ja ennakoimattomissa olevat tilanteet. Ennakoitavissa olevia onnettomuustilanteita ovat räjähdys, tulipalo, törmäys tai maanjäristys. Ennakoimattomilla onnettomuustilanteilla tarkoitetaan sellaisia tilanteita, joita ei kyetä suunnitteluhetkellä rakennuksen ja ympäristön kannalta tunnistamaan. Ennakoimattomissa tilanteissa on kyse arvaamattomista sisäisistä tai ulkoisista tapahtumista, joiden kuormitusvaikutusta tai voimakkuutta ei tiedetä. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi kantavan rakenneosan kantavuuden pettäminen tai osan irtoaminen johtuen ennakoimattomasta syystä. Ennakoimaton onnettomuustilanne voi myös johtua tunnetun kuorman vaikuttaessa ennakoimattomaan suuntaan. (RIL 201-4-2017, 17.)

Ennakoitaville sekä ennalta-arvaamattomille onnettomuuskuormille on olemassa ohjeistusta standardissa SFS EN 1991-1-7 ja sen kansallisissa liitteissä. Standardi sisältää toimintaperiaatteet ennakoitavissa sekä ennalta-arvaamattomiin onnettomuustilanteisiin. (Mts. 17.)

Ennakoitavien onnettomuuskuormien aiheuttamia vaurioita voidaan vähentää estämällä kuorman muodostuminen esimerkiksi suojaamalla rakenteita törmäyskuormilta suojakaitein, varmistamalla, että mahdollisen räjähdyksen aiheuttama paine pääsee purkautumaan tai suunnittelemalla rakenne niin, että sillä on tarvittava vaurionsietokyky, ks. kuvio 1. (RIL 201-2-2011, 115.)

Vaurionsietokyvyn varmistamisen keinoja ovat tiettyjen rakenneosien suunnittelu avainasemassa olevana, suunnittelemalla rakenteet riittävän sitkeiksi ja suunnittelemalla rakenteet siten, että kuormien kulku on mahdollista vaihtoehtoisia reittejä pitkin onnettomuustilanteessa. (Mts. 115.)



Kuvio 1. Onnettomuusmitoitustilanteen periaatteet (SFS-EN 1991-1-7, 24)

Standardissa SFS-EN 1990 määritetään seuraamusluokat, joita käytetään onnettomuusmitoitustilanteiden hallinnan lähtökohtana. Kansallisessa liitteessä seuraamusluokat jaetaan seuraaviin luokkiin:

CC1 Vähäiset vaurion seuraamukset

CC2 Keskisuuret vaurion seuraamukset

CC3 Suuret vaurion seuraamukset

Standardissa SFS-EN 1991-1-7 ja sen kansallisessa liitteessä on määritetty onnettomuustilanteiden hallinnan menettelyihin käytettäviä seuraamusluokkia. (RIL 201-4-2017, 31.)

Seuraamukset luokitellaan rakenteen tai rakenneosan tärkeyden henkilöturvallisuuden ja sortuman aiheuttamien vahinkojen seuraamusten kannalta. Seuraamusluokkia ei käytetä pelkästään onnettomuuksien hallintaan, vaan niitä käytetään yleisesti rakennuksen luotettavuuden hallintaan. Murtorajatilassa seuraamusluokka määrittää

mitoitustilanteiden kuormitusyhdistelmissä käytettävän K_{FI} kertoimen arvon. K_{FI} kerrointa ei käytetä onnettomuustilanteiden kuormitusyhdistelmässä, ks. taulukko 3. (Mts. 31.)

Seuraamus-luokka	Rakennuksen tyypin ja käyttötarkoituksen mukainen luokitus
1	1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot
2a Melko pienen riskin ryhmä	Rakennukset, joissa on korkeintaan neljä maanpäällistä kerrosta[1)] tai joiden korkeus maanpinnasta on enintään 16 m
2b Melko suuren riskin ryhmä	Kaikki muut rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu seuraamusluokkiin 1, 2a tai 3
3a	9-15 kerroksiset[2)] asuin-, konttori- ja liikerakennukset ja muut 9-15 kerroksiset käyttötarkoitukseltaan ja rungoltaan samantyyppiset rakennukset
3b	Muut yli 8-kerroksiset[2)] rakennukset Konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot (yli 1000 henkeä) Raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset Erikoisrakenteet tapauskohtaisen harkinnan mukaan

[1)] Asuinrakennukset, joissa on korkeintaan kaksi maanpäällistä kerrosta, voidaan suunnitella kuitenkin onnettomuusrajatilassa seuraamusluokan 1 mukaisesti.

[2)] Kellarikerrokset mukaan luettuina.

Kuvio 2. Seuraamusluokat onnettomuusrajatilassa (SFS-EN 1991 Kansallinen liite 2016, 37-38)

3.4 Kuormien muodostuminen

3.4.1 Törmäys

Asuinkerrostalolle voi aiheutua törmäyskuormia tieliikenteen ajoneuvojen ja junien törmäyksistä. Rakennukselle mahdolliset törmäystilanteet täytyy selvittää tapauskohtaisesti ja törmäyskuormat täytyy ottaa huomioon suunnittelussa, jos sellaisia voi rakenteelle kohdistua rakennuksen sijainnin vuoksi. (RIL 201-2-2011, 117.)

Asuinkerrostalossa törmäyskuormat tulee ottaa huomioon, jos rakennuksessa on pysäköintitiloja, ajoneuvoliikennettä tai rakennuksen välittömässä läheisyydessä on tie- tai rautatieliikennettä. (Mts. 117.)

Törmäyskuormille alttiit rakenteet suunnitellaan SFS-EN 1991-1-7 luvun 4 mukaan. Törmäysvoimille voidaan käyttää joko ekvivalenttia staattista kuormaa tai kuormat määritetään dynaamisen analyysin perusteella. Dynaamisesta analyysista löytyy opastusta standardin SFS-EN 1991-1-7 liitteestä C. (SFS-EN 1991-1-7, 30.)

Törmäyksestä voidaan tehdä oletus, että törmäävä kohde absorboi kaiken törmäysenergian eli kyseessä on kova törmäys. Tämä johtaa yleensä varmalla puolella oleviin tuloksiin. Tällaisessa tapauksessa voidaan käyttää törmäyskuorman arvoina ekvivalentteja staattisia kuormia ja rakenteeseen saadaan siten ekvivalentit voimasuureet. Tätä mallia käyttämällä voidaan määrittää staattinen tasapaino, riittävä kestävyys ja törmäyksen kohteena olevan kappaleen muodonmuutos eli deformaatio. (Mts. 30.)

3.4.2 Törmäys rakennuksen tukirakenteisiin

Tukirakenteisiin kohdistuvat törmäyksestä aiheutuvat mitoituskuormat saadaan standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen luvun 8 taulukosta. Taulukon mitoitusarvoa voidaan pienentää kertomalla saatu mitoitusarvo kuviosta 3 saatavalla pienennyskertoimella, joka esitetään etäisyyden d ja ajoneuvon suurimman sallitun nopeuden v_0 funktiona. Etäisyys d mitataan lähimmän ajokaistan keskilinjasta rakenneosan

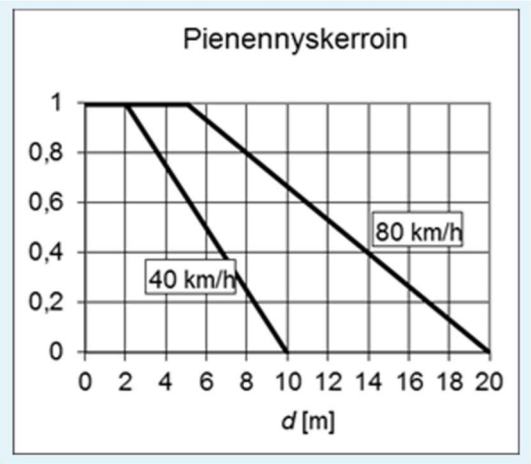
pintaan. Mitoituskuorman täytyy olla kuitenkin vähintään taulukon 4 kohdan pihat ja autotallit kuorma-autoa koskevien vaatimusten mukainen. Taulukossa esiintyvien kuormien F_{dx} ja F_{dy} ei katsota vaikuttavan samanaikaisesti. Törmäyskuorman vaikutuskohdat vaihtelevat ajoneuvotyypin mukaan. Henkilö- ja pakettiautoille ja kuorma-autoille ovat omat vaikutuskohdat ja ne määräytyvät kuvion 4 mukaan. Mitoitusta törmäyskuormille ei tarvitse tehdä, jos etäisyys d on niin suuri, että pienennyskertoimeksi saadaan nolla. (SFS-EN 1991 Kansallinen liite 2016, 45-46.)

Törmäyskuorman voiman resultantin vaikutusalue määritellään tukirakenteisiin suuntautuvan törmäyksen huomioimista varten. Henkilöauton tai pakettiauton aiheuttama törmäyskuorma suositellaan asettamaan vaikuttamaan puolen metrin korkeudelle tien pinnasta katsottuna. Suositeltava törmäyksen vaikutusalue on 0,25 metriä korkea ja 1,5 metriä leveä alue tai rakenneosan leveys, riippuen kumpi on pienempi. Kuorma-autolle suositeltu törmäyskuorman vaikutuskorkeus on 0,5m – 1,5m korkeudella tienpinnan yläpuolella. Suositeltu vaikutusalue on 0,5 metriä korkea ja 1,5 metriä leveä. ks. kuvio 4 (SFS-EN 1991-1-7, 32.)

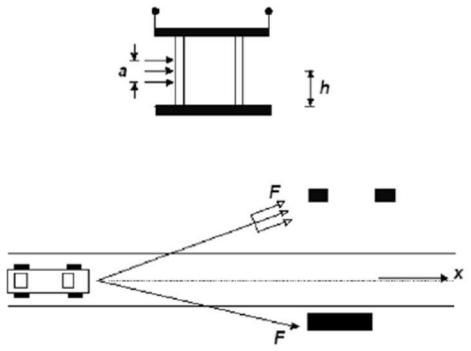
Taulukko 4. Törmäyksen mitoituskuormat tukirakenteisiin (SFS-EN 1991 Kansallinen liite 2016, 45)

Liikenteen luokka	Kuorma F_{dx} [a] [kN]	Kuorma F_{dy} [a] [kN]
Moottoritiet sekä tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v \geq 80$ km/h	1100	550
Tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on 50 km/h $\leq v < 80$ km/h	825	410
Tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v < 50$ km/h	550	275
Pihat ja autotallit, joihin: henkilö- ja pakettiautot pääsevät kulkemaan [b] kuorma-autot [c] pääsevät kulkemaan [b]	 25 75	 25 75

[a] x = normaali liikenteen suunta, y = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan.
[b] Jos piha-alueen ajoneuvoliikenteelle tarkoitetun osan reunan ja rakenteen vaakasuora välimatka on vähintään 2,0 m, ei rakennetta tarvitse mitoittaa ajoneuvon törmäyskuormalle.
[c] Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.



Kuvio 3. Törmäyskuorman pienennyskerroin (SFS-EN 1991 Kansallinen liite 2016, 46)



Selite

a on kuorman suositeltavan vaikutusalueen korkeus. Se vaihtelee välillä 0,25 m (henkilö- ja pakettiautot) … 0,50 m (kuorma-autot)

h on törmäyskuorman resultantin *F* sijainti eli korkeus ajoradan pinnan yläpuolella. Se vaihtelee välillä 0,50 m (henkilö- ja pakettiautot) … 1,50 m (kuorma-autot)

x on kaistan keskiviiva

Kuvio 4. Rakennuksen tukirakenteisiin vaikuttava törmäyskuorman sijainti ja vaikutusalue (SFS-EN 1991-1-7, 34)

3.4.3 Rakennuksen sisäpuoliset räjähdykset

Rakennuksen suunnittelussa räjähdykset tulee ottaa huomioon suunniteltaessa rakennuksen kaikkia osia, joissa varastoidaan tai käytetään räjähtävää materiaalia, joita ovat esimerkiksi kaasut, haihtuvat nesteet ja räjähdysaineet. Tällaisia asioita ovat säiliöt, polttoainevarastot, kaasulaitteita sisältävät huoneistot ja energiansiirtokanavat.

Räjähdysalttiiden tilojen räjähdyskuormat ovat määritetty standardissa SFS-EN 1991-1-7 ja sen kansallisessa liitteessä. Räjähdyksestä aiheutuva paine kohdistuu kaikkiin tilaa rajaaviin rakenneosiin täydellä voimalla. Räjähdyksen mahdollisuus on huomioitava, ellei räjähdysherkkien aineiden käyttöä ole luotettavasti estetty. (SFS-EN 1991-1-7, 49-50.)

Sisäpuolisten räjähdysten suunnittelussa sallitaan joidenkin rakenneosien pettäminen, kunhan pettävä rakenneosa ei ole avainasemassa oleva, josta koko rakenteen stabiilius riippuu. Pettävän rakenneosan poistumisesta ei saa aiheutua paikallisen vaurion rajaa suurempaa sortumaa. (Mts. 49-50.)

Räjähdyksien suunnittelussa voidaan räjähdyksien seuraamuksia rajoittaa suunnittelemalla rakenne kestämään räjähdyksen maksimipaine, käyttämällä paineenpurkausluukkuja, rajaamalla rakenteiden pinta-alaa, jotka ovat alttiita räjähdysvaaralle. (Mts. 50)

4 Jatkuva sortuma

Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan paikallisen vaurion aiheuttaman vähäisen sortuman etenemistä suhteettoman laajaksi sortumaksi vaarantaen koko rakennuksen tai rakenteen stabiiliuden. Jatkuva sortuma voi rakennetyypistä ja runkomateriaalista riippuen kehittyä joko äkillisesti tai se voi alkaa hitaasti ja edetä hitaana vaurioprosessina. Ensimmäinen paikallinen vaurio voi aiheutua mitoituskuormaa pienemmällä kuormalla, jos rakenteessa on vika tai puute. (RIL 201-4-2017, 20.)

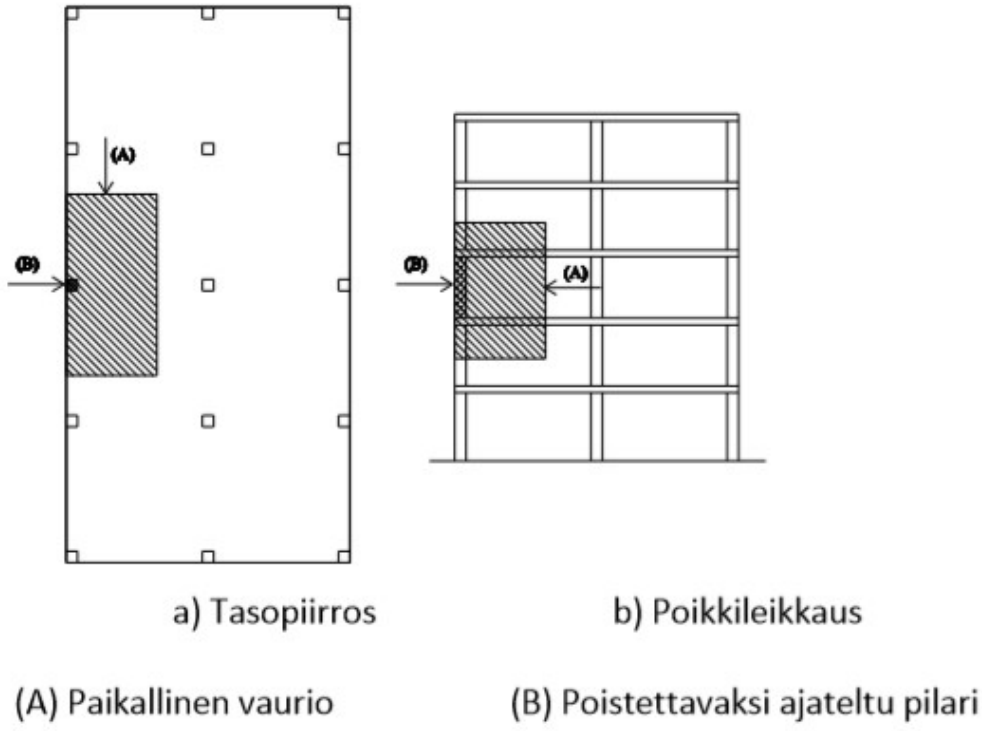
Jatkuvan sortuman ehkäiseminen perustuu paikallisen vaurion rajoittamiseen. Standardissa EN 1991-1-7 on menettelytapoja ja keinoja vaurionsietokyvyn parantamiseen, jotka liittyvät pääosin ennakoimattoman onnettomuustilanteen hallintaan. Menettelytavan valinnan lähtökohtana käytetään rakennuksen onnettomuustilanteen seuraamusluokkaa. (Mts. 17.)

Rakenteiden jatkuva sortuma aiheutuu, kun esimerkiksi jokin rakenneosa menettää kantavuutensa ja kuormilla ei ole mahdollista jakautua uudelleen. Jos kuormilla on mahdollisuus jakautua uudelleen, niin pettäneen osan kuormat siirtyvät muille rakenneosille. Jos rakenteiden kantavuus ei riitä kuormien uudelleen jakautumisen jälkeen, niin siitä voi aiheutua uusi vaurio muualla rakenteessa ja sen seurauksena voi tapahtua jatkuva sortuminen. (Mts. 20-21.)

> *"Rakenneosat mitoitetaan suhteellisesti yhtä vahvoiksi siten, että niiden käyttöasteet määräävällä kuormituksella ovat lähes 100%. Siksi rakenteen vaurionsietokykyä parantaa, jos rakenneosan tai liitoksen paikallisesta vauriosta EI automaattisesti aiheudu sen aiemmin kantamien kuormien uudelleen jakautumista." (Mts. 21)*

Paikallinen vaurio voi aiheutua mille tahansa rakenneosalle, joka kantaa kuormaa. Vakavin mahdollinen paikallinen vaurio on pystyrakenteelle tapahtuva kantokyvyn ennakoimaton häviäminen, mikäli se tapahtuu äkillisesti. Silloin kuormien pitää siirtyä kulkemaan jotain muuta kautta, tai seurauksena on sortuma, jonka laajuutta ei voi ennalta arvioida. (Mts. 22.)

Betonielementtirakenteisessa kerrostalossa jatkuvaa sortumaa pyritään rajoittamaan sitomalla elementit toisiinsa saumoihin sijoitettavilla sideteräksillä tai liitosten teräsosien avulla niin, että saadaan aikaan riittävä jatkuvuus ja vetovoimakapasiteetti elementtien välille. (Betoninormikortti 23, 3.)



Kuvio 5. Paikallisen vaurion hyväksyttävä laajuus monikerroksisessa rakennuksessa (SFS EN 1991 Kansallinen liite, 36)

Kansallisessa liitteessä määritellään monikerroksisille rakennuksille paikallisen vaurion ylärajaksi 15% kyseisen kerroksen lattiapinta-alasta, mutta kuitenkin enintään 100m^2 yhdessä kerroksessa. Vaurio saa tapahtua vain kahdessa päällekkäisessä kerroksessa. (SFS-EN 1991 Kansallinen liite 2016, 36.)

Paikallinen vaurio on ongelmallinen monikerroksissa rakennuksissa, sillä se johtaa rakennuksessa helposti jatkuvaan sortumaan. Paikallista sortumaa ei voida sallia monikerroksisessa rakennuksessa, jos ei voida tehdä tarpeeksi luotettavaa arviota paikallisen sortuman laajuudesta. Tällaisessa tapauksessa rakennus suunnitellaan standardin SFS-EN 1991-1-7 kansallisen liitteen kohdan 6§ mukaan käyttäen sidejärjestelmiä tai vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä. (Mts. 37.)

Standardin 1991-1-7 kansallinen liite täsmentää seuraamusluokkia onnettomuustilanteiden hallinnan kannalta. Standardin liitteessä seuraamusluokat CC2 ja CC3 jaetaan alaluokkiin a ja b rakenteiden ja rakennuksen koon perusteella. Luokassa b mahdolliset seuraamukset ovat suurempia. Jos rakenne on luokiteltu luokkaan CC2, tulee sille valita alaluokka CC2a tai CC2b vaurionsietokyvyn menettelytavan valintaa varten. (RIL 201-4-2017, 34.)

4.1 Vaurionsietokyvyn varmistaminen seuraamusluokissa

Rakennuksen tai rakenteen vaurionsietokyvyn varmistamistavan valintaan vaikuttaa rakennustyyppi ja kohteen seuraamusluokka. (RIL 201-4-2017, 35.)

Vähäisen vaurion seuraamusluokassa CC1 ei onnettomuuskuormien vuoksi tarvitse tehdä erityistarkasteluita. Rakenteiden stabiiliuteen ja kestävyysmitoitukseen kohdistuva suunnittelu tehdään määräävillä kuormituksilla, joihin kuuluu myös mahdolliset, ennakoitavissa olevat onnettomuustilanteet ja määriteltävissä olevat onnettomuuskuormat. (Mts. 35.)

Seuraamusluokkien CC2 ja CC3 rakennuksissa tulee lisäksi huomioida ennakoimattomat onnettomuustilanteet ja valita sopivat toimintatavat vaurionsietokyvyn parantamiseksi. Toimintatapoja vaurionsietokyvyn parantamiseksi löytyy standardista SFS-EN 1991-1-7 ja sen kansallisesta liitteestä. (Mts. 35.)

Vaurionsietokyvyn menettelytapojen käytössä on otettava huomioon, että muiden kuormitustapausten vaatimia rakenneosia ja rakenteita voidaan käyttää hyödyksi onnettomuustilanteessa, eri vaurionsietokyvyn varmistamiskeinoja voidaan yhdistellä vaurionsietokyvyn kasvattamiseksi ja onnettomuusmitoitustilanne on yksi kuormitustapaus toisten mitoitustapausten ohella. CC2 ja CC3 luokan rakenteissa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenneosien yhteistoimintaan. Se tarkoittaa esimerkiksi liitoksia palkkien ja pilareiden välillä, joissa voi onnettomuustilanteessa vaikuttaa voimia, joita ei esiinny normaalitilanteessa. (Mts. 36.)

4.2 Vaurionsietokyvyn varmistamisen keinoja

4.2.1 Sidejärjestelmät

Betonielementtirakenteinen rakennus tulee varustaa sidejärjestelmällä, johon kuuluvat laataston kiertävä rengasraudoitus, laataston sisäpuoliset siteet, vaakasuuntaiset pilari- tai seinäsiteet ja tarvittaessa pystysiteet, varsinkin rakenteen muodostuessa levyistä. Jos rakennus koostuu erillisistä, itsenäisesti toimivista rakenneosista, tulee jokainen erillinen rakenneosa varustaa erillisellä sidejärjestelmällä. Vaakasiteet voivat olla harjaterästankoja, teräsprofiileja tai alumiiniprofiileja ja niitä voidaan käyttää yhdessä. (SFS-EN 1992-1-1, 166.)

CC2 ja CC3-luokkien tärkein menettelytapa jatkuvan sortuman estämiseksi on rakenteiden välisten siteiden käyttäminen. Sidejärjestelmien käyttäminen on pääasiallinen menettelytapa lähes kaikissa monikerroksisissa rakennuksissa. (RIL 201-4-2017, 43.)

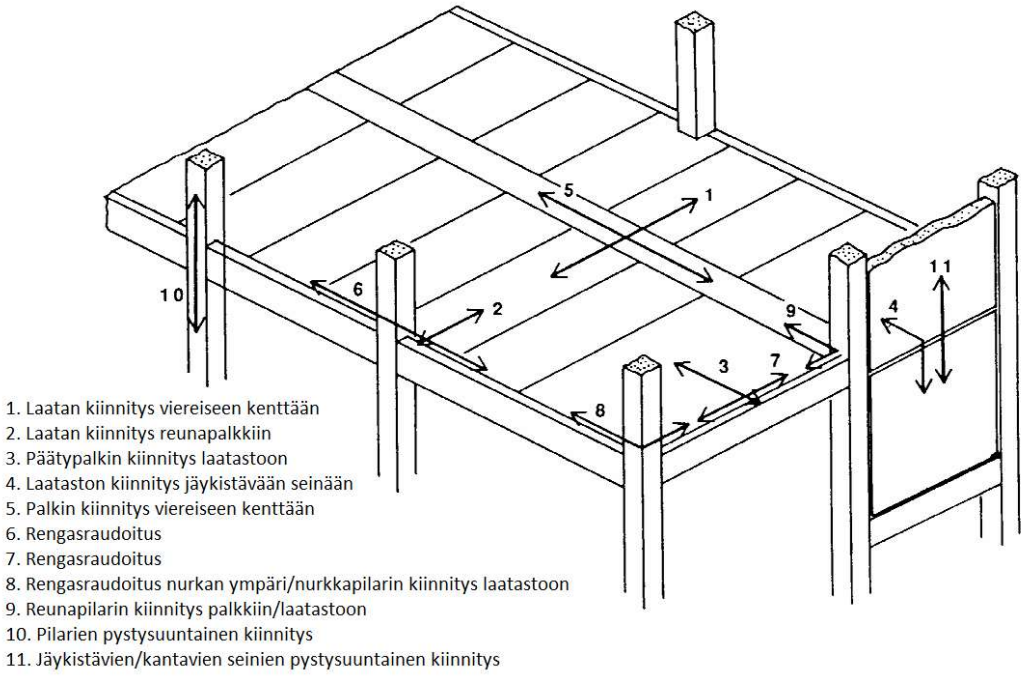
> *"Jokainen välipohja ja yläpohja varustetaan sen ympäri kiertävällä rengassiteillä ja toisiaan vastaan kohtisuorilla sisäpuolisilla siteillä. Siteet tehdään jatkuviksi ja ne sijoitetaan mahdollisimman lähelle välipohjien reunoja, pilari ja seinälinjoja. Vähintään 30% siteistä sijoitetaan pilarien ja seinien ruudukkolinjojen välittömään läheisyyteen." (Mts. 95.)*

Sidejärjestelmää käytettäessä rakenne toimii onnettomuustilanteessa yhtenä kokonaisuutena ja onnettomuuskuormat jakautuvat useiden osien kesken. Tämä parantaa yksittäisten rakenneosien kestävyyttä ennalta arvaamattomassa onnettomuustilanteessa. (RIL 201-4-2017, 43.)

Rakennuksen reunapilarien vaakasuora kiinnitys välipohjaan on tärkeä säilyttää kaikissa onnettomuustilanteissa rakenteen stabiliteetin säilymisen kannalta. (RIL 201-4-2017, 43.)

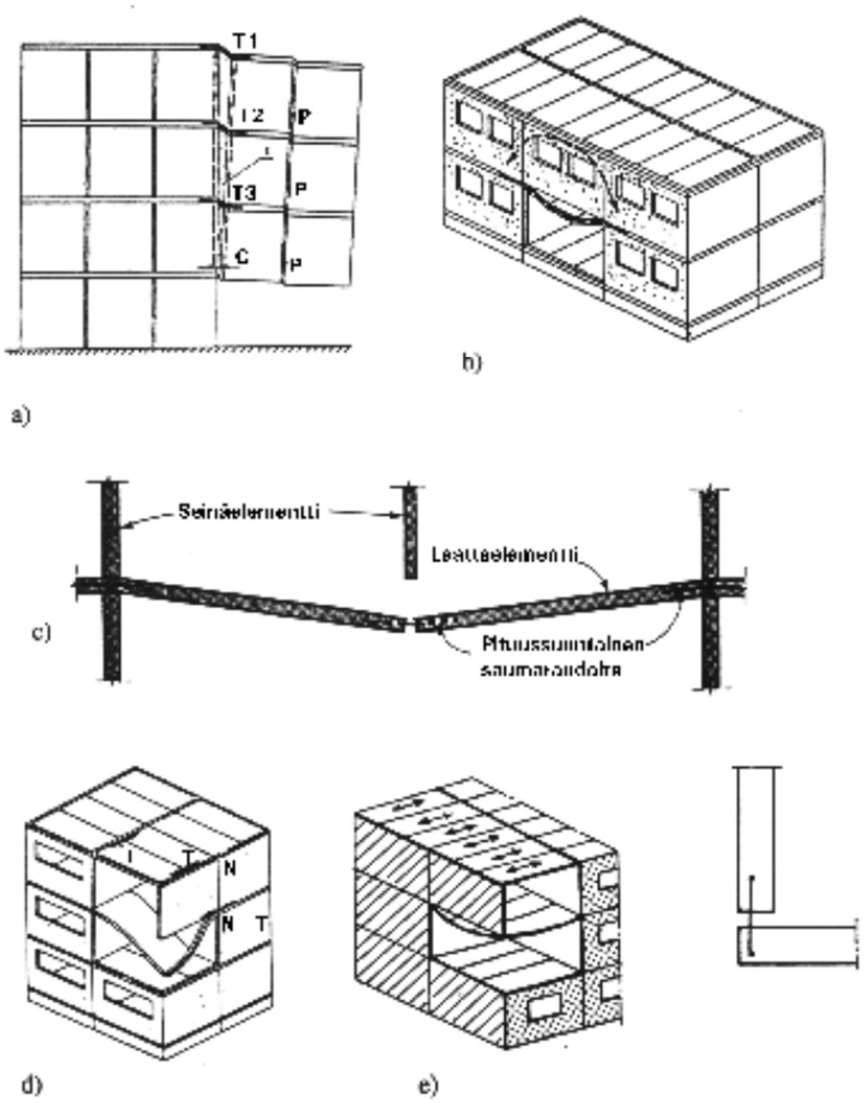
Vaurionsietokykyä sidejärjestelmällä lisäämällä pitää välipohjapalkkien ja –tasojen kiinnityksissä pilareihin leikkausvoimakestävyyden lisäksi tarkastella liitosten vetovoimakestävyys ja palkkitukien mitoitus palkin päissä. Palkkien suuntaiset kiinnitykset

tulee varmistaa riittävillä siteillä, sillä onnettomuustilanteessa liitokset joutuvat siirtämään kuormia, joita ei normaalitilanteessa esiinny. Tällaisia voimia ovat muun muassa aksiaaliset vaakasuuntaiset vetovoimat. Tällaisia tilanteita varten rakenteen sitominen yhdeksi kokonaisuudeksi auttaa vastustamaan onnettomuuden aiheuttamia rasitustilanteita ja estämään rakenneosien irtoaminen. (Mts. 43.)



Kuvio 6. Rakennuksen rungon sidejärjestelmä (Betoninormikortti 23, 19)

Sidejärjestelmää käytettäessä rakenteelle voidaan sallia suuria muodonmuutoksia, jos korvaavan rakennesysteemin muodostuminen estää jatkuvan sortuman syntymisen. (Betoninormikortti 23_EC 2012, 5.)



Kuvio 7. Mahdollisia korvaavia rakennesysteemejä (Betoninormikortti 23, 11)

Pystysiteet

Jokainen seinä ja pilari on varustettava jatkuvalla pystysuuntaisella sidonnalla rakennuksen perustuksilta yläpohjan tasolle asti. Pilarien ja kantavien seinien on kestettävä onnettomuustilanteessa esiintyvä vetovoima, jonka mitoitusarvo on suurin yhdestä kerroksesta pilarille tai seinälle kertyvä pysyvän ja muuttuvien kuormien aiheuttama rasitus. (RIL 201-4-2017, 100.)

Pystysiteet voidaan sijoittaa kantavissa seinärakenteissa elementtisaumoihin tai jakaa seinän matkalle. Reunimmaiset pystysiteet sijoitetaan maksimissaan kolmen metrin päähän seinän vapaasta päästä. (Mts. 100.)

4.2.2 Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit

Vaihtoehtoisen kuormansiirtoreittien menettelyssä rakenne on suunniteltava niin, että sillä on riittävä staattinen määräämättömyys. Kun rakenteella on riittävä staattinen määräämättömyys, niin onnettomuustilanteissa on olemassa vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä, jos staattinen järjestelmä muuttuu vaurioitumisen seurauksena. (SFS-EN 1991-1-7, 82.)

Staattisen määräämättömyyden hyödyntäminen tarkoittaa sitä, että rakenteesta tehdään toiminnaltaan monimutkaisempi niin, että rakenteeseen kohdistuva yllättävä rasitus pystyy jakautumaan useammalle kuin yhdelle rakenneosalle ja useammalle kuin kahdelle tuelle. Rakenteeseen tehtävien muutosten ei tarvitse olla suuria, vaan esimerkiksi 1-aukkoisen palkin muuttaminen 2-aukkoiseksi voi parhaimmassa tapauksessa kasvattaa oleellisesti vaurioon vaadittavan muodonmuutosenergian määrää vähentäen sortuman riskiä. Myös yhden kerroksen korkuisen pilarin muuttaminen kahden kerroksen korkuiseksi parantaa rakenteen vaurionsietokykyä, koska tällöin kuormat pääsevät jakautumaan useammalle rakenneosalle ja vähintään kolmelle tuelle, ks. kuvio 8. (RIL 201-4-2017, 54.)

Rakenneosan odottamattomasta poistumisesta aiheutuva sortuma ei saa aiheuttaa sallitun sortuman raja-arvoa. Jos ajateltu rakenneosan poistuminen kuitenkin voi ylittää sallitun vaurion laajuuden rajan, on ruvettava toimenpiteisiin potentiaalisen sortuman ehkäisemiseksi. Jos vaihtoehtoista kuormansiirtoreittiä ei ole käytettävissä, voidaan rakenne mitoittaa esimerkiksi avainasemassa olevana rakenteena. (RIL 201-4-2017, 45.)

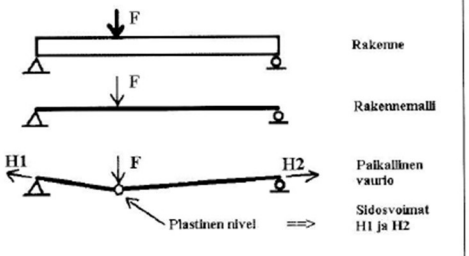
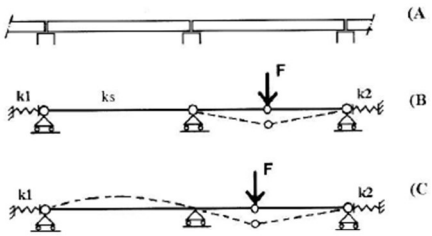
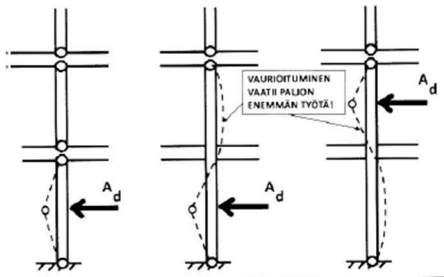
Sidejärjestelmän käyttö mahdollistaa sen, että rakenteeseen voi muodostua korvaavia rakennesysteemejä onnettomuustilanteessa. Jotta uusi kantava rakennesysteemi voi syntyä, on rakenteisiin pystyttävä syntymään plastisia niveliä. Plastisten nivelten

syntyminen vaatii elementtiliitoksilta tarpeellista vetovoimakapasiteettia sekä suurta muodonmuutoskykyä ja muodonmuutosenergiakapasiteettia, jolla voidaan heikentää putoavien kappaleiden liike-energia. Nämä saadaan aikaiseksi elementtisaumoihin ja liitoksiin laitettavilla riittävillä ja oikein sijoitetuilla saumateräksillä. Vaurioituneeseen rakenteeseen tukeutuvat elementit jäävät roikkumaan liitoksessa olevan raudoituksen varaan. (Betoninormikortti 23, 4-5.)

Rakenneosat, jotka eivät normaalitilanteessa ole kantavia rakenteita, voivat osana korvaavaa rakennesysteemiä toimia kantavina. Jos ei kantavilta rakenteilta odotetaan tällaista toimintaa onnettomuustilanteessa, tulee niiden liitokset mitoittaa kestämään onnettomuustilassa niille kohdistuvat rasitukset. (Mts. 5.)

Korvaavan rakennesysteemin tarkasteluprosessissa ajatellaan poistettavaksi yksitellen jokainen kunkin kerroksen pystyrakenne tai pystyrakennetta tukeva palkki ja selvitetään, kuinka rakennus vaurioituu kyseisen rakenneosan poistamisen jälkeen. Tämän lisäksi selvitetään vaurioituneen alueen laajuus sekä miten kuormat saadaan siirrettyä vaurioituneen alueen yli. (Mts. 5.)

Muuttuneen rakennesysteemin mitoitus tehdään onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelmällä rakenteiden painosta aiheutuvalle pysyvälle kuormalle ja muuttuvien kuormien yhdistelmälle. (Mts. 5.)

Rakenne-esimerkki	Selitys
	1-aukkoinen palkki (tai yhden kerroksen korkuinen pilariosa) voi vaurioitua paikallisesti, jos osaan kohdistuu riittävän suuri poikittainen voima. Pahimmillaan voima pystyy synnyttämään palkkiin (tai pilariin) plastisen nivelen, jolloin osan kuormankantokyky heikkenee. Palkin sortuman voi estää, jos palkki kestää vetovoimia, sitomalla palkkien päät kiinni pilareihin tai muihin tukirakenteisiin. Jos palkit ovat vaakasuuntaan jatkuvia, voimat H1 ja H2 jakautuvat usealle osalle ja tuelle.
	1-aukkoisissa palkeissa plastinen nivel ei helposti aiheuta sortumista, jos palkin osat pysyvät kiinni toisissaan ja tuissa. Jos 1-aukkoisista palkeista tehtyä palkistoa (B) kuormitetaan, kyseinen palkiston osa käyttäytyy kuten yo. yksittäinen palkki. Jos palkit tehdään esimerkiksi 2-aukkoisina (C), muodonmuutosenergiaa vaaditaan paljon enemmän sekä plastisen nivelen muodostamiseen että palkin taivuttamiseen, jolloin vauriosta ei helposti aiheudu sortumista.
	Pilareissa yhden kerroksen korkuisen rakenneosan vaurio (plastinen nivel) on erittäin vakava, koska vauriokohdan yläpuoliset rakenteet vajoavat aiheuttaen ennakoimattomia seuraamuksia. Vaurioita voidaan välttää käyttämällä esimerkiksi staattisesti määräämättömiä kahden kerroksen korkuisia pilarin jatkososia. Osien kantavuus säilyy paremmin (koska sortumaan tarvitaan 2 plastista niveltä).

Kuvio 8. Staattisen määräämättömyyden hyödyntäminen (RIL 201-4-2017, 55)

Vaihtoehtoisen kuormansiirtoreitin suunnittelu

Suunniteltaessa vaihtoehtoista kuormansiirtoreittiä, on huomioitava vaihtoehtoisen kuormansiirtoreitin lisäksi koko rungon stabiilius. Se tarkoittaa, että tarkastelut tulee kohdistaa rakenteen koko runkoon ja satunnaisesti valitun rakenneosan tai rakenteen kuviteltu poistuminen ei saa aiheuttaa sortumaa. Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti tarkoittaa joko rakenteen staattista määräämättömyyttä tai aidosti vaihtoehtoista reittiä perustuksille muiden rakenneosien välityksellä. (RIL 201-4-2017, 45-46.)

Vaihtoehtoisen kuormansiirtoreitin suunnittelussa kuvitellaan, että rakennuksessa pilarin ja palkin välinen liitos pettää tai pilari, pilaria tukeva palkki tai seinälohko menettää kantavuutensa. Menettelyssä kuorman arvoina käytetään onnettomuustilan mitoituskuormia. (SFS-EN 1991 Kansallinen liite, 44.)

Kirjassa RIL 201-4-2017 vaihtoehtoisen kuormansiirtoreitin menettelyssä vaadittu varmistustoiminta on jaettu kahteen eri vaihtoehtoon.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa tarkastellaan 3D-rakennemallia poistaen siitä satunnaisesti valittuja rakenneosia yksi kerrallaan. Rakenneosan poiston jälkeen lasketaan jäljelle jäävien rakenteiden stabiliteetti ja kestävyys, sekä lasketaan vauriota ympäröivien osien käyttöasteet ja selvitetään niiden avulla, onko muiden osien vaurioituminen todennäköistä. (RIL 201-4-2017, 46.)

Toisessa vaihtoehdossa tutkitaan piirustuksista eniten rasitetut pilarit ja seinät, sekä normaaliruudukosta poikkeavat pilarijaot ja pilareita tukevat palkit. Tällaiset rakenneosat ja niitä ympäröivät rakenteet suunnitellaan lisätyllä luotettavuudella tai siten, että rakenneosien yhteistoiminta tai rakenteiden staattinen määräämättömyys estää kuvitellut poistumisilmiöt. (Mts. 46.)

Ennakoitavissa oleville onnettomuustilanteita varten vaihtoehtoisia kuormansiirtoreittejä käytetään vain erityistapauksissa. Ensisijaisesti ennakoitavissa olevat kuormat huomioidaan mitoittamalla rakenteet kuorman kestäväksi tai pienentämällä tai estämällä kuorman vaikutus esimerkiksi suojarakenteilla. (Mts. 46.)

Ennakoimattomissa onnettomuustilanteissa sidejärjestelmämenettely sekä vaihtoehtoinen kuormansiirtomenettely pyrkii sitomaan rakenteet yhteen siten, että vaurio ei pääse aiheuttamaan jatkuvaa sortumaa, eikä rungon stabiliteetin menetystä. (Mts. 46.)

4.2.3 Avainasemassa oleva rakenneosa

Avainasemassa oleva rakenneosa tarkoittaa rakenneosaa, joka suunnitellaan kestämään sille kohdistuva onnettomuusmitoituskuorma A_d. Kansallisen liitteen ohjeen mukaan avainasemassa olevaa rakenneosaa käytetään vain, jos rakenteesta ei löydy onnettomuusmitoituskuormille vaihtoehtoista siirtotietä tai sen käyttö johtaa kohtuuttomiin rakenneratkaisuihin. Tyypillisesti avainasemassa olevia rakenneosia ovat rakennuksen ulkonurkkien pilarit. Kaikki rakennuksen pystyosia ei voi suunnitella avainasemassa olevina. Jos kyseessä on rakenneosa, jonka kuormitukset ovat tunnistettavissa ja arvioitavissa, osan mitoitus tehdään normaalien onnettomuusmitoituksen kuormitusyhdistelyillä. (SFS-EN 1991 Kansallinen liite, 44.)

Mikäli riskiarviossa katsotaan, että on tarvetta lisätä jonkin avainasemassa olevan rakenneosan luotettavuutta, voidaan sitä lisätä nostamalla seuraamusluokkaa, lisäämällä rakenteen staattista määräämättömyyttä tai valitsemalla suurimmaksi rakenteen käyttöasteeksi alle 100%. (RIL 201-4-2017, 48.)

Vaikka rakenneosan luotettavuutta lisättäisiin, täytyy sen status pysyä avainasemassa olevana, koska ei voida ennakoida osaan mahdollisesti kohdistuvaa voimaa, sen laatua tai kuormitustilannetta. (Mts. 48.)

Avainasemassa olevan rakenneosan kuorma A_d voi olla pistekuorma tai jakautunut kuorma. Rakenneosan määräävä kuormitustapaus onnettomuuskuorman A_d vaikuttaessa lasketaan SFS-EN 1990 yhdistelykaavoilla 6.11a/b, kun saman aikaisesti vaikuttaa pysyvät ja muuttuvat kuormat. Muuttuville kuormille valitaan oikeat yhdistelykertoimet kansallisesta liitteestä. (Mts. 48.)

Rakennusosaan kohdistuva onnettomuuskuorma A_d on valittava riskiarvioinnin mukaan ja valitun arvon käytön perustelut ovat kirjattava suunnitteluasiakirjoihin. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää standardin suositusarvoa, joka löytyy SFS-EN 1991-1-7 standardista. (Mts. 48). Suositusarvo talonrakenteita koskevalle kuormalle A_d on $34 kN/m^2$, joka vaikuttaa rakenneosaan joko vaaka- tai pystysuunnassa tasaisena kuormana, kuitenkin vain yhdessä suunnassa kerrallaan. (SFS-EN 1991-1-7, 64).

4.3 Menettelytapojen valinta

4.3.1 CC1 seuraamusluokka

CC1-luokan rakenteille ei vaadita ennakoimattomien onnettomuustilanteiden tarkastelua. Riittää kun rakenneosat ja liitokset kestävät murtorajatilatarkastelussa, täyttävät käyttörajatila- ja säilyvyysehdot. (RIL 201-4-2017, 37.)

4.3.2 CC2 seuraamusluokka

CC2-luokan rakenteelle vaurionsietokyvyn menettelytapana on lähtökohtaisesti sidejärjestelmä. Luokassa CC2a käytetään sidejärjestelmää, jossa käytetään vaakasiteitä rakenneosien välillä tai ankkuroidaan vaakarakenteita seiniin. Luokassa CC2b käytetään sidejärjestelmää, jossa vaakarakenteissa käytetään vaakasiteitä ja kaikissa kantavissa seinissä ja pilareissa pystysiteitä sekä pystyrakenteet sidotaan vaakarakenteisiin. (Mts. 37.)

Jos sidejärjestelmää ei voida soveltaa, joudutaan valitsemaan toinen vaurionsietokyvyn varmistusmenetelmä. Vaihtoehtoisia toimintatapoja ovat vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti ja avainasemassa oleva rakenneosa. Jos vaihtoehtoista kuormasiirtoreittiä ei löydetä vaivattomasti, voidaan käyttää avainasemassa olevaa rakenneosamenettelyä. Rakennuksen eri kohdissa on mahdollista käyttää eri menettelyjä. Näiden menetelmien lisäksi voidaan vaurionsietokyvyn varmistamiseksi käyttää tarvittaessa muita keinoja, ks. liite 3. (Mts. 37)

4.3.3 CC3 seuraamusluokka

CC3a-luokan rakenteille käytetään samoja toimintatapoja kuin CC2b luokassa, mutta sidevoimien laskentaan käytetään eri kaavoja kuin CC2 luokassa. Seuraamusluokassa CC3b täytyy ennen rakenteiden suunnittelua suorittaa riskiarviointi, jossa tutkitaan rakenteiden toimintaa uhkaavia tekijöitä ja mahdollisia kriittisiä rakenneosia. Riskiarvion perusteella suunnitellaan havaittuja uhkia vastaan onnettomuustilanteen vauri-

onsietokyky ja toimenpiteet, jolla estetään jatkuva sortuma. CC3b-luokan on täytettävä vähintään seuraamusluokan CC3a vaatimukset riippumatta riskiarvioinnin lopputulemasta. (Mts. 38.)

Lisäksi CC3b-luokassa tarkastellaan rakennuksen ulko- ja sisänurkissa olevia pilareita ja seinänosia. Jos nurkassa oleva kantava rakenne kuvitellaan poistettavaksi, rupeaa vaakasiteitä sisältävä vaakarakenne toimimaan ulokkeena. Jos rakenneosan poistamisesta aiheutuu hyväksyttävän vaurion ylittävä vaurio, on poistettavaksi kuviteltu rakenne käsiteltävä avainasemassa olevana rakenneosana (SFS-EN 1991 Kansallinen liite, 39.)

Taulukossa 5 on esitetty tiivistetysti seuraamusluokkien CC2b, CC3a ja CC3b pääasialliset ja toissijaiset menettelytavat, sekä muut asetetut ehdot.

Taulukko 5 Menettelytapoja vaurionsietokyvyn hallintaan (RIL 201-4-2017, 60)

Kohteen tyyppi	Seur. luokka	Runkorakenteet		Menettelyt		
		Pystyrakenne	Vaakarakenne	Pääasiallinen	Toissijainen/ täydentävä	Muut ehdot
Asuin-rakennus < 9 kerrosta	CC2b	Kantavat seinät (elementti tai paikallavalu)	Elementti- tai pv-laatat	Side-järjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reitit, harvoin	Selvitä aina sekä vaaka- että pystysidonnat
Asuin-rakennus, 9–15 kerrosta	CC3a	Kantavat seinät (elementti tai paikallavalu)	Elementti- tai pv-laatat	Side-järjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reitit	Selvitä aina sekä vaaka- että pystysidonnat
Asuin-rakennus, > 15 kerrosta	CC3b	Kantavat seinät (elementti tai paikallavalu)	Elementti- tai pv-laatat, vain betonirakenteet	Riskinarviointi aina aluksi, sidejärjes-telmä oltava aina	Muut menet-telyt tarpeen mukaan	Mahdollises-ti tarkemmat dynaamiset rakenneana-lyysit
Toimisto-rakennus < 9 kerrosta	CC2b	Pilari-palkki-laatta, jäykistävät rakenteet	Elementti- tai pv-laatat, eri materiaalit	Side-järjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reitit	Selvitä aina sekä vaaka- että pystysidonnat
Toimisto-rakennus 9–15 kerrosta	CC3a	Pilari-palkki-laatta, jäykistävät rakenteet	Elementti- tai pv-laatat, eri materiaalit	Side-järjestelmä	Vaihtoehtoiset kuormansiirto-reitit	Selvitä aina sekä vaaka- että pystysidonnat
Toimisto-rakennus > 15 kerrosta	CC3b	Pilari-palkki-laatta, jäykistävät rakenteet	Elementti- tai pv-laatat, eri materiaalit	Riskinarvioin-ti aina aluk-si, sidejärjes-telmä oltava aina	Muut menet-telyt tarpeen mukaan	Mahdollises-ti tarkemmat dynaamiset rakenneana-lyysit

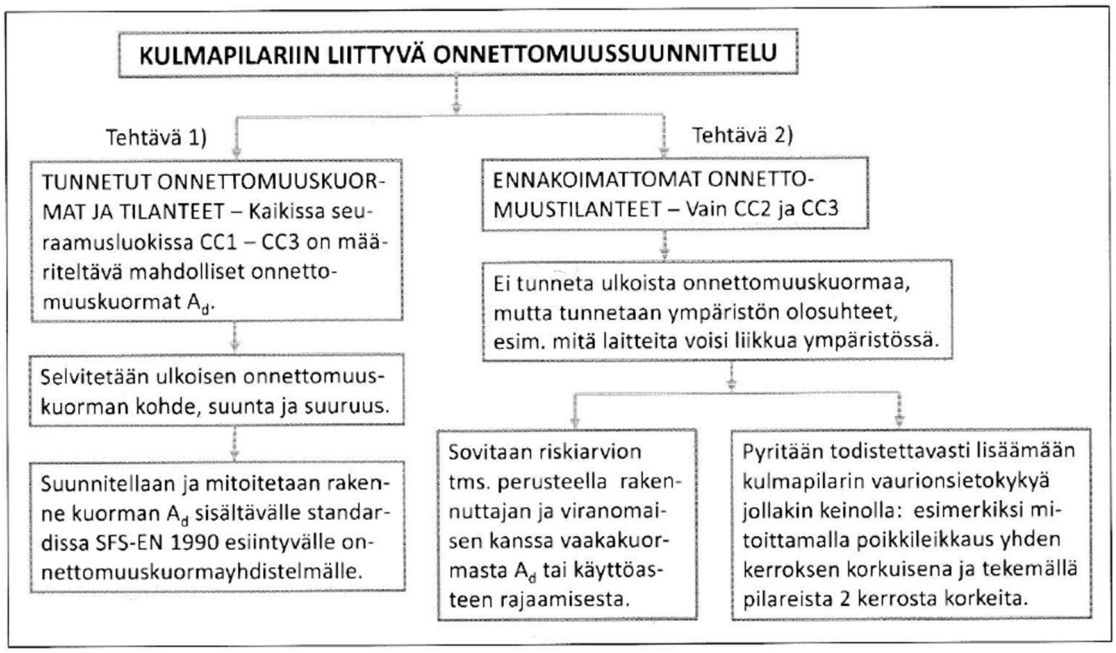
4.4 Nurkkapilarien tarkastelu

Seuraamusluokassa CC3b pitää selvittää kulmapilareihin kohdistuvat tunnetut vaarat tarkemmin. Standardin EN 1991-1-7 kansallisessa liitteessä mainitaan, että on tarkastettava rakennuksen kohdat, joissa pilarin tai kantavan seinän lohkon poiston seurauksena vaakasiteitä sisältävä vaakarakenne rupeaa toimimaan vaakarakenteen korkuisena ulokkeena. Jos tällaisesta rakenneosan kantavuuden menetyksestä aiheutuu hyväksyttävän rajan ylittävä vaurio, pitää kyseinen rakenneosa mitoittaa avainasemassa olevana. (RIL 201-4-2017, 49.)

Kulmapilarien luotettavuutta on syytä lisätä jatkuvan sortuman estämiseksi. Luotettavuutta voidaan lisätä esimerkiksi lisäämällä rakenteen staattista määräämättömyyttä käyttämällä useamman kerroksen korkuisia jatkososia. Myös käyttämällä kahta kulmapilaria ja rajaamalla kulmapilarien käyttöastetta voidaan parantaa luotettavuutta. (Mts. 49.)

Kulmapilareihin liittyvää onnettomuussuunnittelun etenemistä on esitetty kuviossa 9. Siinä jaetaan ennakoimattomien onnettomuustilanteiden tapaus kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa määritellään tunnettujen onnettomuuskuormien ja tilanteiden pohjalta järkevä vaakavoima A_d, jonka valinnassa otetaan huomioon minkälaisia ajoneuvoja tai koneita pilarin läheisyydessä voi rakennuksen käyttöiän aikana liikkua. Voiman suuruudeksi pitää valita arvo, jolla on kantavuutta parantava vaikutus. Pientä vaakavoimaa ei kannata yhdistää muiden kuormien kanssa, sillä osavarmuuskertoimet onnettomuusmitoitustilanteissa ovat normaalitilanteiden kertoimia pienempiä. (Mts. 49-50.)

Toisessa osassa pyritään parantamaan kulmapilarin vaurionsietokykyä esimerkiksi mitoittamalla kahden kerroksen korkuisten pilarien poikkileikkaukset yhden kerroksen korkuisena. Tällöin saadaan pilarin pystykestävyydelle noin kaksinkertainen kestävyys. (Mts. 50.)



Kuvio 9. Kulmapilarin onnettomuussuunnittelu (RIL 201-4-2017, 49)

4.5 Riskiarviointi

Riskiarvio laaditaan yleensä suunnittelun alkuvaiheen yleissuunnitteluvaiheessa. Arvion lähtötietoina ovat hanke- tai yleissuunnitelmatason tiedot, alustavat rakennevaihtoehdot, arkkitehdin yleissuunnitelmat sekä viranomaisohjeet. Riskiarvion laatii yleensä suunnittelualan vastaava erityissuunnittelija yhteistyössä pääsuunnittelijan, rakennushankkeeseen ryhtyvän ja mahdollisesti käyttäjän kanssa. (RIL241-2016, 19.)

Riskiarviossa on kyse riskien ja uhkien tunnistamisesta ja torjumisesta, vaurionsiedosta, potentiaalisten sortumien välttämisestä sekä rakennuksen henkilöturvallisuudesta. (RIL201-4-2017, 143.)

Riskiarvion teon tarkoitus on selventää hankkeeseen kuuluville osapuolille, kuuluuko hanke erityismenettelyn piiriin, selvittää onko jokin muu syy käyttää erityismenettelyn toimenpiteitä, ja ehdottaa erityismenettelyn toimenpiteitä tarvittaessa. Riskiarvio on tavallisesti aina syytä laatia hankkeista, joita voidaan pitää maankäyttö- ja rakennuslain mukaan erittäin vaativina tai lähellä tätä tasoa ja joihin voi liittyä mahdollisesti erityisiä riskejä. (RIL241-2016, 19.)

4.5.1 Ennakoitavissa olevat onnettomuustilanteet

Suunnittelussa voidaan pienentää ennakoitavien onnettomuustapausten toteutumisriskiä vähentämällä tapahtuman vaikutuksia ja riskin todennäköisyyttä. Riski määritellään määriteltävissä olevan onnettomuustilanteen tai taajuuden ja esiintymisen seurausten laajuuden yhdistelmän mitta, joka esitetään tulona:

RISKI = Tapahtuman (todennäköisyys * seuraukset)

Riskin arvioinnissa käytettävien toimenpiteiden valintaan vaikuttaa, mikä on sallittavan vaurion suuruus ja riskin todennäköisyys. Onnettomuustilannetta ei voida täysin poistaa koskaan ja joudutaan valitsemaan tietty riskitaso. Esimerkkinä luonnonkuormien arvot perustuvat kuormien esiintymiseen kerran 50 vuoden aikana, joten on mahdollisuus, että joskus kuormat ovat näitä arvoja suurempia. Jos riskitasoa ei voida pitää hyväksyttävänä, on tehtävä toimenpiteitä onnettomuustilanteen estämiseksi tai lieventämiseksi. (RIL 201-4-2017, 50.)

Järjestelmälliseen riskien arviointiin sisältyy onnettomuustapahtumasta johtuvien henkilö- ja ympäristövahinkojen sekä taloudellisten vahinkojen arviointi. Taloudellinen tarkastelu pitää sisällään muun muassa korjaus-, osien vaihto-, sekä toiminnan tai käytön keskeytyskulujen määrän arvioinnin. Rakenteiden riskien arvioinnissa potentiaaliset henkilövahingot ovat merkitykseltään tärkeimmät. (Mts. 51.)

4.5.2 CC3b seuraamusluokan riskiarviointi

CC3b luokan kohteissa tulee tehdä riskiarviointi jollakin järjestelmällisellä tavalla. Riskiarviossa havaitusta riskitekijästä riippuen pyritään riskienhallintatoimenpiteillä vaikuttamaan joko alkuperäiseen tapahtumaan tai sen todennäköisyyteen, tapahtumasta aiheutuvan ensimmäisen vaurion syntyyn, jostakin vauriosta aiheutuvan jatkuvan sortumisen todennäköisyyksiin, tai vauriosta tai sortumasta aihetuvien seurausten määrään.” (RIL 201-4-2017, 51.)

Riskiarvioinnin menettelynä voidaan käyttää standardissa IEC 60300-3-9 suositeltua menettelyä, jolla selvitetään riskiarvion todennäköisyyksiä. Standardin menettelyssä riskien tunnistamiseen käytetään vertailevia menetelmiä, joihin voidaan käyttää esimerkiksi liitteen 2 mukaista tarkastuslistaa, johon merkataan luku väliltä 1-3, luku yksi tarkoittaa ei ja luku kolme kyllä. Kaikkiin taulukon kohtiin, joihin merkataan arvo 2 tai 3, täytyy suunnitella jokin tarkistus, tai suunnitelmien laatua varmistava toimenpide. Liite 1 on vastaavanlainen riskiarvioon käytettävä tarkastuslista. Tarkastuslistojen lisäksi voidaan käyttää workshop-menetelmää. (Mts. 51, 144.)

4.6 Jatkuvan sortuman suunnitteluratkaisuja

Säännöllinen ja symmetrinen rakenne on parempi kuormien uudelleenjakautumiselle. Epäkeskiset rakenneratkaisut voivat aiheuttaa suuria momenttivoimia kuorman kasvaessa. Rakenteissa tulisi välttää epäjatkuvuuksia, jotka aiheuttavat kuormien keskittymistä. Jatkuvien palkkien, jotka ovat usean jännevälin yli kulkevia, käyttö johtaa parempaan kuormien jakautumiseen verrattuna yksiaukkoisiin palkkeihin ja pienempään taipumaan, jos jokin pilari menettää kantavuutensa. Varmuus sortumaa vastaan pitää ottaa huomioon joka suuntaan. Rakennetta ei saa olettaa käyttäytyvän tasomaisena kehänä vaan kolmiulotteisena. (NIST 2007, 55.)

Vaakasuuntainen sortuma voidaan rajoittaa jakamalla rakenne itsenäisiin rakennekokonaisuuksiin. Tällöin sortuman laajuus rajoittuu yhteen osaan rakennusta. Tällaiset rakenneratkaisut ovat tehokkaita matalissa, mutta laajoissa rakennuksissa. Korkeissa rakennuksissa on tarve estää jatkuvan sortuman laajeneminen pystysuunnassa, joka voidaan jakaa lohkoihin pystysuunnassa. Pystysuuntaiset lohkot voidaan toteuttaa tekemällä jotkin välipohjat niin, että ne ovat suunniteltu lisäämään vakautta rakenteeseen, sekä kestämään putoavien rakenneosien kuormat. (NIST 2007, 55.)

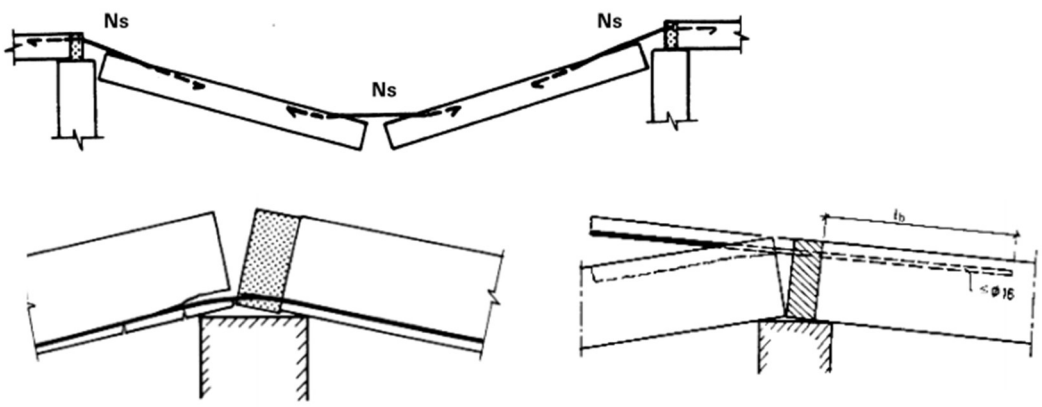
5 Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille

Liitoksia onnettomuuskuormille mitoitettaessa voidaan laskea mukaan kaikki liitoksessa oleva raudoitus, vaikka niitä olisi käytetty murto- tai käyttörajatilan kuormille, sillä onnettomuustilanteen katsotaan olevan erillinen kuormitustilanne, joka ei vaikuta samanaikaisesti murto- ja käyttörajatilan kuormitusyhdistelmien kanssa. Onnettomuustilanteen mitoituksesta saatavat liitosten raudoitukset ovat rakenteen vähimmäisraudoitukseksi. Onnettomuusmitoituksen lisäksi liitoksille on tehtävä mitoitukset käyttörajatilassa sekä murtorajatilassa, ja tarpeen mukaan käyttää vähimmäismäärää suurempaa teräsmäärää. (Betoninormikortti 23, 14-15.)

5.1 Vaakasiteet

Rakennuksen ontelolaataston välisen saumaraudoituksen tehtävä on estää laatan tippuminen onnettomuustilanteessa, jossa laatan toisen pään tuki on vaurioitumisen seurauksena menettänyt kantavuutensa. Saumaraudoitus muodostaa tällöin vaurioalueen ylittävän kalvorakenteen, ks. kuvio 7. Saumaraudoitus myös estää laattaelementtiä putoamasta lämpö- ja kosteuselämisen seurauksena. (Betoninormikortti 23, 23.)

Laataston saumaraudoitus on sijoitettava sauman korkeussuunnassa puoliväliin, jolla parannetaan betonipeitteen rikkoutuminen onnettomuustilanteessa. Saumaterästen pituussuuntaisten saumojen hajoaminen estetään poikittaisiin elementtisaumoihin sijoitettavilla raudoitteilla, jotka mitoitetaan samalle rasitukselle kuin saumaraudoitus. Kuviossa 10 on esimerkkejä väärästä saumateräksen sijoittamisesta. Pituussuuntainien saumateräs ankkuroidaan reunalla laatan tukena toimivaan kantavaan rakenteeseen, esimerkiksi kantavaan ulkoseinään. Alapuolisen kantavan ulkoseinän sidonta välipohjaan ankkuroi pituussuuntaisen saumaraudoitteen, ks. liite 7. (Mts. 27-28.)



Kuvio 10. Saumaterästen virheellinen sijoitus (Betoninormikortti 23, 27)

Seuraamusluokissa CC2a ja CC2b vaakasuuntaiset sidevoimat T_i lasketaan pysyvän kuorman g_k perusteella. T_i valitaan kuvion 11 perusteella mitoitettavan kohdan mukaan. Kun pysyvän kuorman ominaisarvo on $g_k \geq 3{,}0 kN/m^2$ käytetään kaavaa

$$T_i = s \cdot 20kN/m.$$

Kun ominaisarvo $g_k \leq 2{,}0 kN/m^2$ käytetään kaavaa

$$T_i = s \cdot 3{,}0kN/m.$$

Ominaispainon arvon ollessa $2.0 kN/m^2$ ja $3.0 kN/m^2$ välillä, sidevoiman arvot saadaan interpoloimalla. (RIL 201-4-2017, 96.)

Kun ominaisarvo on yli $3{,}0 kN/m^2$, niin sidevoiman T vähimmäisarvo rengassiteille 70kN. Jos sisäpuolisia siteitä joudutaan keskittämään tukilinjalle, vähimmäisarvoa 70kN käytetään myös sisäpuolisille siteille. (Mts. 96.)

Kun ominaisarvo on alle $2{,}0 kN/m^2$, niin sidevoiman T vähimmäisarvo on rengassiteillä 10kN. Jos sisäpuolisia siteitä joudutaan keskittämään tukilinjalle, vähimmäisarvoa 10kN käytetään myös sisäpuolisille siteille. (Mts. 96.)

Seuraamusluokissa CC3a ja CC3b sidevoimat T_i lasketaan seuraavalla kaavalla, kun g_k on enemmän kuin 3,0kN/m^2. Jos vaakarakenteen pysyvän kuorman arvo on tätä pienempi, sidevoimat voidaan määritellä hankekohtaisesti. (Mts. 96.)

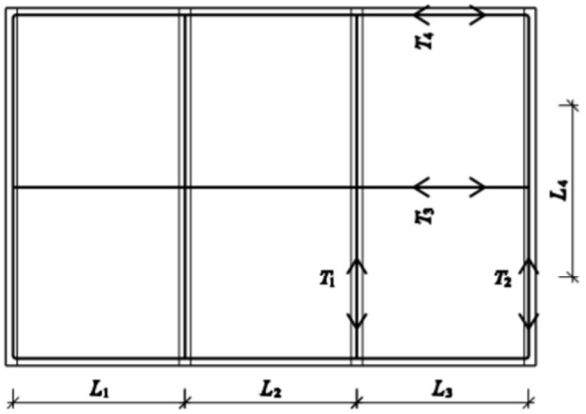
$$T_i = \frac{F_t \cdot 0{,}8 \cdot (g_k + \sum \Psi_i \cdot q_k)}{6\frac{kN}{m^2}} \cdot \frac{z}{5m} \cdot s$$

missä

T_i	on voima, jonka siteiden pitää kestää vedettynä onnettomuusrajatilassa
F_t	on 48 kN/m tai (16+2,1*ns) kN/m sen mukaan, kumpi on pienempi
g_k	on vaakarakenteen pysyvän kuorman ominaisarvo
Ψ_i	on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusrajatilassa
q_k	on vaakarakenteen muuttuvan kuorman ominaisarvo
z	on pilareiden tai seinien keskiviivojen välinen etäisyys siteen suunnassa tai siteen ollessa kantavan seinän suunnassa poistettavaksi ajatellun seinälohkon nimellinen pituus jaettuna kahdella, eli köysirakenteen koko jänneväli jaettuna kahdella. Maksimissaan 2,25H, H on kerroskorkeus
s	on sisäpuolisilla siteillä siteiden väli keskeltä keskelle ja rengassiteillä rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdella lisättynä etäisyytenä rakenteen reunaan

n_s on rakennuksen kerrosten lukumäärä

Kuitenkin vähintään $T_i=F_t \cdot s$ (Mts. 97)



Sidevoimat kantavat seinät-laatta-rungossa:
T_1 ja T_2: $z = L_4/2$, jossa L_4 on kantavan seinänlohkon nimellispituus (ks. kohta 3);
T_3 ja T_4: $z = \max(L_1, L_2, L_3)$

Kuvio 11. z-mitan määritys määritettäessä T_i voimaa (SFS-EN 1991 Kansallinen liite 2016, 23)

5.2 Seinien liitokset

5.2.1 Vaakasidonta tasoon

Kantavat ja jäykistävät reunaseinäelementit ja pilarit sidotaan jokaiseen välipohjaan ja yläpohjatasoon. Kantavien ulkoseinien vaakasidonta toimii rengasraudoituksen, saumaraudoituksen ja ulkoseinässä olevien tappien yhteistoiminnalla, ks liite 7. Sidevoimat sidontaan määräytyvät vaakarakenteen pysyvän kuorman g_k perusteella. Sidonnan avulla laatan pituussuuntaiset siteet saadaan ankkuroitua. (RIL 201-4-2017, 99.)

Kantavat ja jäykistävät **reunaseinäelementit** on kiinnitettävä yläreunastaan muuhun kantavaan rakenteeseen, esimerkiksi yläpuoliseen elementtiin tappiliitoksella. Tappiliitokset mitoitetaan seinän tasoa vastaan kohtisuoralle vaakavoimalle F_{tie} tai

seinän suuntaiselle voimalle T_i, riippuen kumpi arvo on suurempi, ks. kuviot 11 ja 12. (Betoninormikortti 23, 31.)

Kantava tai jäykistävä **seinäelementti** on kiinnitettävä yläpuolisella liitoksella muuhun kantavaan rakenteeseen seinän pituussuuntaiselle vaakavoimalle T_i. Ne ovat myös kiinnitettävä ylä- ja alareunastaan tasoa vastaan myös kohtisuoralle vaakavoimalle H. Tämä liitosvoima voidaan jakaa tasan ala- ja yläreunan kiinnityksen kesken. Tämä raudoitus on myös mahdollista sijoittaa elementin pystysaumaan, mutta silloin on saumalla oltava riittävä leikkauskestävyys. (Mts. 32.)

Seinäelementin sidevoiman on pystyttävä kannattelemaan onnettomuustilanteessa seuraavat voimat:

Seuraamusluokissa CC2a ja CC2b sidevoimat F_{tie} lasketaan pysyvän kuorman g_k perusteella. Kun pysyvän kuorman ominaisarvo $g_k \geq 3{,}0 kN/m^2$ käytetään kaavaa

$$F_{tie} = s \cdot 20kN/m.$$

Kun ominaisarvo $g_k \leq 2{,}0 kN/m^2$ käytetään kaavaa

$$F_{tie} = s \cdot 3{,}0kN/m$$

Ominaispainon arvon ollessa $2.0 kN/m^2$ ja $3.0 kN/m^2$ välillä, sidevoiman arvot saadaan interpoloimalla. (Mts. 99.)

missä

s	on sisäpuolisilla siteillä siteiden väli keskeltä keskelle ja rengassiteillä rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdella lisättynä etäisyytenä rakenteen reunaan

Seuraamusluokissa CC3a ja CC3b sidevoimat F_{tie} lasketaan seuraavalla kaavalla, kun g_k on enemmän kuin 3,0kN/m^2. Jos vaakarakenteen pysyvän kuorman arvo on tätä pienempi, sidevoimat voidaan määritellä hankekohtaisesti. (Mts. 99.)

$$F_{tie} = F_t \cdot \frac{h}{2{,}5m} \cdot s$$

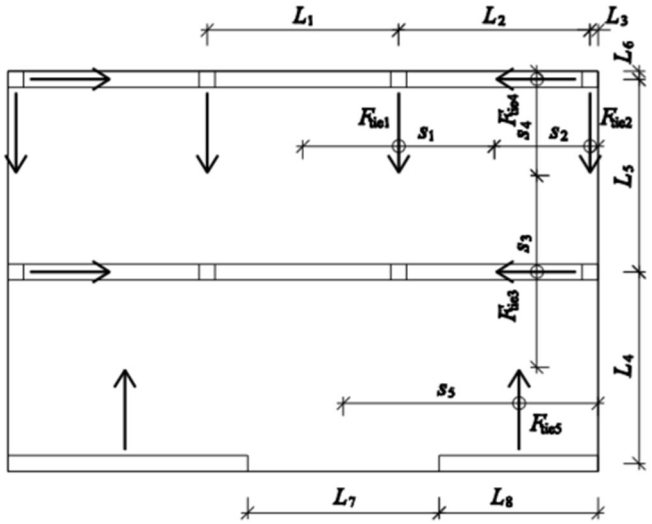
F_{tie} enintään kuitenkin $F_{tie} = 2 \cdot F_t \cdot s$

missä

F_t	on 48 kN/m tai (16+2,1*ns) kN/m sen mukaan, kumpi on pienempi
h	on kerroskorkeus
s	on sisäpuolisilla siteillä siteiden väli keskeltä keskelle ja rengassiteillä rengassiteen ja lähimmän sisäpuolisen siteen väli jaettuna kahdella lisättynä etäisyytenä rakenteen reunaan
n_s	on rakennuksen kerrosten lukumäärä

(Mts. 99.)

Yläreunan kiinnitys tulee mitoittaa myös seinän pituussuuntaisen siteen voimalle T_i, ks. kuvio 11. Voima T_i lasketaan opinnäytetyön kappaleen 3.5.1 mukaisesti. (Betoninormikortti 23, 31.)



Sidevoimat:

F_{tie1}: $s_1=(L_1+L_2)/2$ F_{tie2}: $s_2=L_3+L_2/2$ F_{tie3}: $s_3=(L_4+L_5)/2$

F_{tie4}: $s_4=L_6+L_5/2$ F_{tie5}: $s_5=L_8+L_7/2$

Kuvio 12. Sidevoiman kuormitusleveyden s määritys seinien sidontavoiman laskennassa (RIL 201-4-2017, 100)

5.2.2 Pystysiteet

Jokainen kantava seinä on varustettava perustuksista yläpohjan tasolle jatkuvalla pystysuuntaisella sidonnalla. Kantavien seinien on kestettävä onnettomuustilanteessa esiintyvä vetovoima F_v, jonka mitoitusarvo on suurin yhdestä kerroksesta pilarille tai seinälle kertyvä pysyvän ja muuttuvien kuormien aiheuttama rasitus. Kantavan seinän pystysiteet voidaan sijoittaa elementtien saumoihin tai jakaa seinän pituudelle. Reunimmaiset pystysiteet oltava enintään kolmen metrin etäisyydellä seinän vapaasta päästä. (RIL 201-4-2017, 100.)

Kiinnitys voimalle F_v voidaan sijoittaa elementtien väliseen pystysaumaan, jolloin kiinnityksen keskiöväli voi olla enintään kuusi metriä. Kun kiinnitys sijoitetaan elementtisaumaan, varmistetaan voimien siirtyminen elementin reunasta saumaan ulottuvilla tapeilla tai lenkeillä, joiden kapasiteetti vastaa yhden elementin matkalla vaadittavaa liitosvoimaa. Kiinnitys tehdään yläpuoliseen kantavaan rakenteeseen, jotta

onnettomuustilanteessa elementti ei tipu, vaikka alapuoleinen elementti menettäisi kantavuutensa. (Betoninormikortti 23, 32.)

Ei-kantavat seinäelementit, ei jäykistävät rakenteet, on kiinnitettävä vähintään 1 kN/m suuruiselle vaakasuuntaiselle viivakuormalle elementin vaakasuuntaista pituusmetriä kohti. Kuormasta aiheutuvia epäkeskisyyksiä ei tarvitse huomioida liitosten mitoituksessa. (Mts. 33.)

Elementin saumoille tuleva pystykuorma F_v alla olevalla kaavalla. Voimalle vastaava teräspinta-ala A_s saadaan jakamalla voima F_v teräksen ominaislujuudella F_{yk}. Pystykuormaa Fv voidaan mahdollisesti pienentää elementin pystytappien kapasiteetin verran, ks. kappale 6.4

$$F_v = G_s + G_k + \Psi \cdot Q_k$$

missä

G_s on seinäelementin paino

G_k on seinäelementille yhdeltä kerrokselta tulevan pysyvän kuorman ominaisarvo

Ψ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusrajatilassa

Q_k on seinäelementille yhdeltä kerrokselta tulevan muuttuvien kuormien ominaisarvo (RIL 201-4-2017, 108.)

5.2.3 Tappiliitoksen mitoitus leikkaukselle

Yhden tapin leikkauskestävyys lasketaan kaavalla.

$$V_{Rd} = \frac{1{,}2 \cdot \oplus^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot f_{yk}}}{\gamma_{c,acc}}$$

missä

$\oplus$	on tapin halkaisija
f_{ck}	on elementin betonin lujuus
f_{yk}	on tapin teräksen ominaislujuus
$\gamma_{c,acc}$	on betonin osavarmuusluku onnettomuuskuormayhdistelmille, eli 1,2

Mitoitusehto $V_{rd,kok} \geq \begin{cases} H \\ F_{tie} \\ T_i \end{cases}$

$$\begin{cases} H \geq \frac{20kN}{m} \cdot L_s \\ H \leq 150kN \end{cases}$$

L_s on seinäelementin pituus vaakasuunnassa

(Betoninormikortti 23, 42.)

6 Pohdinta ja johtopäätökset

6.1 Tulokset

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi toimeksiantajalle Excel-laskentapohja, ks. liite 10 ja 11. Sidejärjestelmän laskentapohjan teko onnettomuustilanteelle oli haasteellinen, mutta lopputuloksesta tuli mielestäni hyvä. Laskentapohjissa on eritelty ulkoke-

hän ja sisäpuolella kulkevien rengasterästen mitoitus, saumaterästen sekä pystysiteiden mitoitus. Laskentapohjaan syötetään sinisiin kenttiin kohteen tietoja ja laskuri laskee opinnäytetyössä esiintyneiden kaavojen avulla valituille rengasteräkset, saumateräkset ja elementtien pystysiteille käyttöasteet ja toteaa, onko valitut teräkset riittävät kyseiselle onnettomuustilanteen mitoitukselle. Laskentapohja antaa vain onnettomuustilanteen raudoitemäärän, mikä on vaadittu vähimmäisteräsmäärä. Lisäksi sideteräksille pitää tehdä murtorajatilamitoitus.

6.2 Henkilökohtainen kehittyminen

Opinnäytetyön tekeminen oli hyvä keino tutustua onnettomuuskuormiin ja jatkuvaan sortumaan. Koulussa aihetta on käsitelty vain maininnan tasolla, joten aihe oli minulle täysin tuntematon. Tietoa aiheesta löytyi riittävästi ja teksti oli paikoitellen erittäin haasteellista luettavaa. Opin kuitenkin paljon ja tietämykseni aiheesta laajeni.

Sidejärjestelmän mitoitusteorian sisällyttäminen työhön lisäsi opinnäytetyön työmäärä hieman, mutta samalla se auttoi minua ymmärtämään sidejärjestelmän kokonaistoimintaa. Laskuria tehdessäni Excel-ohjelman käyttötaitoni kehittyivät, kun jouduin tekemään monimutkaisia laskukaavoja.

6.3 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä saatiin vastauksia tutkimussuunnitelman mukaisiin tutkimuskysymyksiin. Opinnäytetyössä selvitetään rakennukselle kohdistuvat onnettomuuskuormat, niiden huomioiminen rakennesuunnittelussa. Myös jatkuvan sortuman toimintaan ja sen estämiseen löytyy opinnäytetyöstä vastauksia.

Opinnäytetyön tärkeimpänä aiheena oli jatkuva sortuma, joka pitää ottaa rakennesuunnittelussa huomioon suunnitellessa CC2 ja CC3 seuraamusluokan rakennuksia. Jatkuvan sortuman estäminen perustuu paikallisen vaurion laajuuden rajoittamiseen. Vaurion laajuuden rajoittamisen keinoina voidaan käyttää sidejärjestelmää, vaihtoeh-

toista kuormansiirtoreittiä ja avainasemassa olevaa rakenneosaa. Elementtirakenteisissa rakennuksissa pääasiallinen vaurion laajuuden rajoittamiseen käytettävä keino on sidejärjestelmän käyttö.

Onnettomuuskuormien ja jatkuvan sortuman kirjallisuudessa on vielä kehitettävää. Tällä hetkellä puuttuu julkaisu, joka käsittelisi jatkuvaa sortumaa selkeästi ja kaikenkattavasti. Varsinkin elementtien onnettomuustilanteen liitosten mitoituksesta on vähän kirjallisuutta. Opinnäytetyötäni tehdessä jouduin selvittämään joitakin asioita liittyen elementtien liitoksiin käyttäen pelkästään betoninormikorttia 23 ilman vertailumahdollisuutta muihin julkaisuihin. Esimerkiksi seinien pystysiteiden kuormien laskennasta en löytänyt tietoa esimerkiksi kansallisesta liitteestä, vaikka vaakasiteistä oli kaavat.

6.4 Jatkotutkimus

Kappaleessa 5.2.2 mainittu elementtien pystysiteiden sijoittaminen pystysaumoihin tai seinän pituudelle mahdollistaa sen, että yli kuuden metrin mittaisiin seiniin voidaan käyttää elementtisaumoihin sijoitettavien pystysiteiden lisäksi elementin pituudelle jaettavia pystysiteitä. Esimerkiksi liitteen 4 mukainen spiraloputkiliitos voidaan tehdä pitkään elementtiin, jolla lisätään elementin kiinnityksen kapasiteettia voimaa F_v vastaan. Kyseisessä liitoksessa väliseinäelementtiin on valettu teräksinen, ulko- sekä sisäpinnaltaan muotoiltu putki, joka varmistaa tartunnan betoniin. Sen sisään jälkivaletaan halkaisijaltaan 20 millimetriä paksu harjateräs, joka on kiinni alapuolisessa elementissä.

Tämän lisäksi myös tappikoloja voitaisiin periaatteessa käyttää rakennesuunnittelijan harkinnan mukaan voiman F_v kiinnittämiseen. Harkintaa on käytettävä, koska työmaalla tappikololiitosten juotosbetonin toteutus voi olla epäluotettava.

Kun rakennuksesta poistuu liitteen 8 mukaisesta kohdasta elementti, sen päällä oleva laatasto notkahtaa alaspäin ja laataston saumaraudoitusten ansiosta muodostaa köysirakenteen estäen laataston sortuman. Notkahtaneen laataston yläpuolinen

elementti jää roikkumaan yläpuoleisesta kantavasta rakenteesta. Elementin pystysaumaraudoitukselle syntyy vetoa, jonka suuruus on kappaleen 5.2.2 mukainen. Jotta roikkuvan elementin yläreunan tappiliitosta voidaan hyödyntää, täytyy liitoksen heikoin kohta selvittää.

Tappiliitosta hyödynnettäessä on otettava huomioon tappi-kololiitoksen toimintaperiaate. Kun tapahtuu liitteen 8 mukainen elementin poistuminen, tappikolossa oleva juotosbetonia pitää paikallaan vain betonin holvivaikutus betonin tukeutuessa tappikolon läpi kulkevaan pieliteräkseen, ks liite 6. Tappikolon molemmin puolin on liitteessä 6 näkyvät haat. Tällöin tappikololiitoksen vetokapasiteetti määräytyy pieliteräksen leikkauskapasiteetin, tapin ankkurointikapasiteetin, kolojen molemmin puolin olevien hakojen leikkauskapasiteetin tai pieliteräksen vaarnatapin leikkauskestävyyden mukaan, ks. liite 9. Eli joko teräksen leikkaus-, ankkurointilujuus tai holvautuvan betonin kestävyys määrittää tappi-kololiitoksen vetokapasiteetin. Näiden kapasiteettien pienintä arvoa voidaan mahdollisesti käyttää kuorman F_v kiinnittämiseen.

Jatkotutkimuksena tästä voisi tehdä lisää onnettomuustilanteen liitosten tarkastelua. Esimerkiksi selvittää tarkemmin tässä kappaleessa mainitun spiraloputkiliitoksen kapasiteettia ja tappiliitosten käyttöä voiman F_v kiinnittämiseen onnettomuustilanteessa.

Lähteet

Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings. 2007. National Institute of Standards and Technology (NIST). U.S. Department of Commerce. n.d. Viitattu: 1.5.2019. https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860696

Betoninormikortti 23_EC: Liitosten suunnittelu ja mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN 1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuus kuormat mukaan. 2012. Julkaisu Betoniyhdistyksen sivustolla. Viitattu 25.3.2015. http://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti_23ec.pdf.

Hakutulosten arviointi N.d. Tietoa Lahden korkeakoulukirjaston sivulla. Viitattu 30.4.2019. http://libguides.lamk.fi/tiedonhankinnanopas/lahdekritiikki

Rakenteiden lujuus ja vakaus. N.d. Tietoa ympäristöministeriön sivulla. Viitattu: 25.3.2019. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus

RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki: Grano Oy

RIL 201-2-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki: Hansaprint Oy.

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

RIL 202-2011. 2011. Betonirakenteiden suunnitteluohje. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki: Saarijärven Offset Oy.

RIL 241-2016. 2016. Erityismenettelyn soveltaminen –rakennuksen turvallisuus, terveellisyys ja kulttuurihistorialliset arvot. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki: Grano Oy.

SFS-EN 1990 + A1 + AC. 2006. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-7 + A1 + AC. 2014. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat – Onnettomuuskuormat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.

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

Sitowise. N.d. Tietoa Sitowisen nettisivustolla. Viitattu: 25.2.2019. https://www.sitowise.com

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1990. Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. Ympäristöministeriö. http://www.ym.fi/fiFI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaaraysko koelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus. 15.4.2019.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991. Rakenteiden kuormat. Ympäristöministeriö. http://www.ym.fi/fiFI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaaraysko koelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus. 10.4.2019.

Liitteet

Liite 1. Rakententeellisen turvallisuuden riskiarviotaulukko (RIL 241-2016, 144)

Rakenteellisen turvallisuuden riskiarvio

Pvm:

Yleistiedot	
Kohteen nimi	
Rakennuttaja	
Omistaja/käyttäjä	
Pääsuunnittelija	(ALLA OLEVAT TIEDOT OVAT TURHIA, JOS RISKIARVIO ON OSA O-ASIAKIRJAA)
Vastaava rakennesuunnittelija	
Rakennuksen käyttötarkoitus	
Kohteen tilavuus ja pinta ala	br-m3 br-m2
Rakennuksen runkojärjestelmä (materiaalit, rakenteet)	

Vahinkojen seuraamukset

Mahdolliset vahingot ja niiden kuvaus:

- henkilövahingot - ympäristövahingot - taloudelliset vahingot		*Seuraamusluokka S1 (1-3):* *Seuraamusluokka S2 (1-3):* *Seuraamusluokka S3 (1-3):*
		Seuraamusluokka S (1-3):

Hankkeen vaativuus

V1. Suunnittelun ja/tai toteutuksen kannalta vaativia rakenteita ovat:	ON	EI	*Tarkennus:*
- korkea rakennus: yli 12 krs. (betoni- tai teräsrak.) tai 8 krs. (puurakennus)			
- suuri jänneväli, yleensä yli 25 metriä			
- pitkäjännevälinen avaruusrakenne tai kupolirakenne			
- poikkeuksellinen jännitetty erikoisrakenne			
- rakennus on erityisen hoikka tai muodoltaan poikkeuksellinen			
- rakenteiden värähtelyn hallinta on erityisen vaativaa			
- poikkeuksellinen liitto- tai erikoisrakenne			
- suunnitteluun liittyy erittäin vaativien ratkaisujen tuotekehitys			
- poikkeuksellisen vaativat korjaus- tai muutostyöt (teknilliset tai toiminnalliset)			
- poikkeuksellisia vaatimuksia, esim. suojeltun kohteen erityisvaatimuksia			
			Vaativuus V1 (1-3):

V2. Vaativia kuormitustilanteita	ON	EI	*Tarkennus:*
– muuttuvien kuormien osuus kokonaiskuormituksesta on suuri			
– dynaamiset kuormat ovat merkittävän suuria			
			Vaativuus V2 (1-3):

V3. Teknisesti vaativa käytön, huollon ja ulkoisten olosuhteiden kannalta

Kuvaus:

Vaativuus V3 (1-3):

V4. Vaativa hankkeen tiedonhallinnan ja organisaation kannalta	ON	EI	*Tarkennus:*
- kohteen runko on vähintään vaativa ja hankittu tuoteosakaupalla			

Kuvaus:

Vaativuus V4 (1-3):

Vaativuusluokka V (1-3):

Riskitasoluokka R (1-3)

Erityismenettelyn tarve (ks. ohje, taulukko 1) ja ehdotus toimenpiteiksi:

Lomakkeen täyttäjä ja tehtävä:

Liite 2. Jatkuvan sortuman uhkaa lisääviä suunnittelu yksityiskohtia (RIL 201-4-2017, 144.)

Nro	Kysymykset:	Arvio
1	Onko rakennuksessa tiloja, joihin on yleisöllä vapaa valvomaton pääsy? Tai onko asiattomilla pääsy rakennukseen?	
2	Onko rakenne toteutettu tekniikoilla, missä jonkin kohdan menettäessä kantavuutensa, kuormalle ei helposti löydy vaihtoehtoista tietä perustuksille?	
3	Sisältääkö rakenne kriittisiä yksittäisiä rakenneosia, joiden vaurio tai joiden liitosten vaurio voi johtaa merkittäviin seurauksiin?	
4	Sisältääkö rakenne rakenneosan tai liitoksen, johon voi vaikuttaa ylisuuri kuormitus verrattuna sen mitoituksessa sovellettuun määräävään kuormaan?	
5	Sisältääkö rakenne hitsaamalla tehtyjä liitoksia, joiden muotoilu ei vastaa liitosten mitoituskaavojen pohjana olleita geometriaehtoja?	
6	Voiko rakenne käyttäytyä onnettomuustilanteessa poikkeavalla tavalla verrattuna sen oletettuun käyttäytymiseen, jolloin rakenteen sisäiset voimat jakautuvat eri tavalla kuin on oletettu?	
7	Onko mahdollista, että tasokehänä mitoitettu rakenne ei onnettomuustilanteessa pysy omassa alkuperäisessä tasossaan?	
8	Sisältääkö rakenne liitoksia, jotka on suunniteltu nivelliitoksiksi, mutta valmistettu siten, että liitoksiin voi syntyä merkittävä taivutusmomentti?	
9	Sisältääkö rakenne liitoksia, jotka on suunniteltu toimivan jäykkinä, mutta jotka todellisuudessa eivät kykene siirtämään vaadittuja taivutusmomentteja?	
10	Sisältää rakenne standardiliitososilla toteutettuja elementtien välisiä liitoksia, joissa liitososia ei ole testattu siirtämään mahdollisessa onnettomuustilanteessa esiintyviä voimasuureita, tai sidevoimia rakenneosien välillä?	
11	Joutuuko jokin osa yksinään kantamaan ennakoimattoman onnettomuustilanteen kuormista, joista yksityiskohtaan aiheutuu onnettomuuskuormitus?	
12	Onko rakennemateriaalit sellaisia, joille ei ole mahdollisuutta hyödyntää rakennemateriaalin plastista muodonmuutoskykyä ja toimintaa (esimerkiksi materiaalin plastista venymistä)?	
13	Onko liitosten yksityiskohdat on mitoitettu kestävyyden (lujuuden) perusteella, huomioon ottamatta osien tai liitosten sitkeyttä tai vaurionsietokykyä?	
14	Sisältääkö liitoksia, joissa voi esiintyä erilaisia leikkauslävistys tai stabiliteettiilmiöitä (nurjahdus/lommahdus) ?	
15	Sisältääkö rakenne palkkeja/palkistoja, jotka kannattelevat pilareita tai seinälohkoja?	
16		
17		
19		

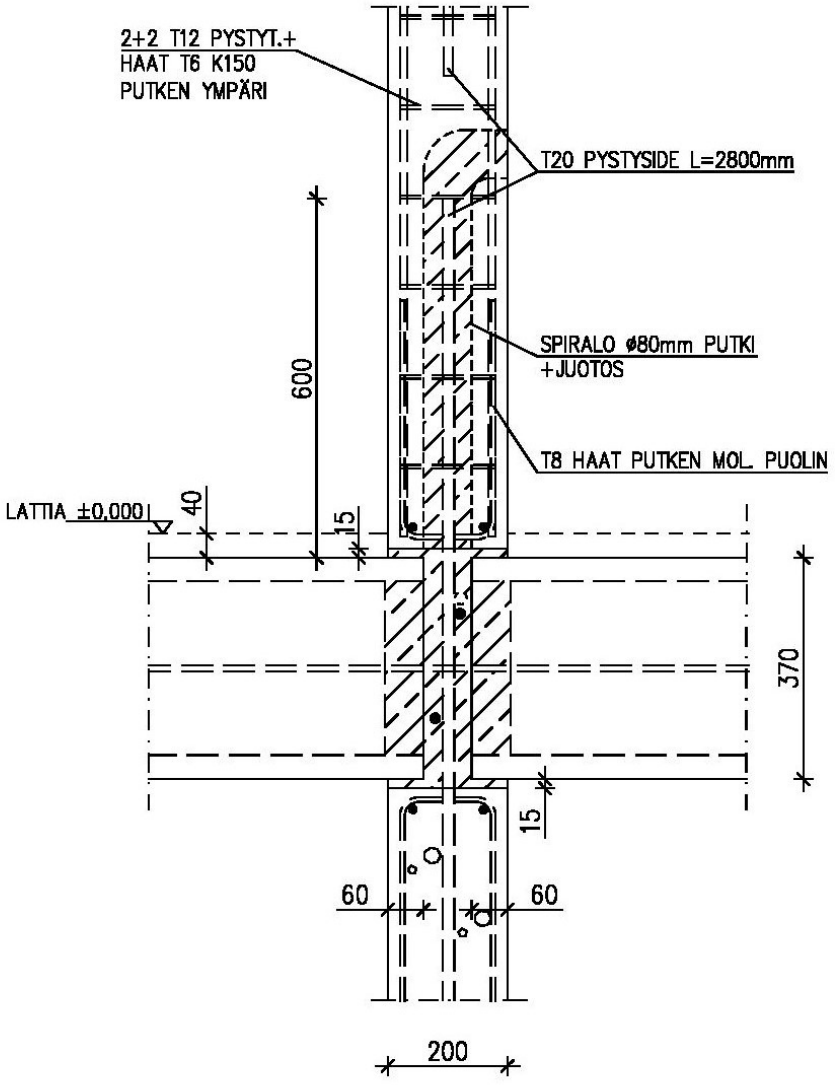
Liite 3. Keinoja vaurionsietokyvyn parantamiseksi

Keinoja vaurionsietokyvyn parantamiseksi	Tyypilliset käyttökohteet		
	CC1	CC2	CC3
Rakenteiden suunnittelu:			
– Pilari-palkki-liitoksilta varmistettu suunnittelustandardissa mainitut vähimmäiskestävyydet	x	x	x
– Vaakarakenteiden kiinnityksissä tukiin varmistettu standardien SFS-EN 1991 ja materiaalikohtaisten standardien (esim. SFS-EN 1992-1998) määrittelemä vähimmäiskestävyys	x	x	x
– Rakennusten stabilointisysteemit (vaakasuuntaan) tulee varmistaa ja varmentaa kahdentamalla osia tarkoituksenmukaisella tavalla	x	x	x
– Raskaat katto, välipohja, porras ja muut vastaavat elementit ja laitteistotasot yms. tulee ankkuroida rakenteisiin asianmukaisesti		x	x
– Käytetään standardin SFS-EN 1991-1-7 esittämää menettelyä staattisen määräämättömyyden lisäämisestä	x	x	x
– Hyödynnetään tehokkaasti rakenneosien ja liitosten sitkeyttä tai monoliittisuutta		x	x
– Käytetään KFI–kertoimelle arvoa 1,1 kaikille kohteen rakenneosille, myös CC2-luokan osarakenteille		x	x
Rakenneratkaisujen vaihto:			
– Muutetaan rakennetta siten, että kriittiset yksittäiset rakenneosat muunnetaan jatkuviksi rakenteiksi	x	x	x
– Valitaan toinen rakenneratkaisu, jonka herkkyys tarkasteltavan uhkan suhteen on vähäinen	x	x	x
– Valitaan rakenneratkaisu, joka pystyy paremmin sietämään paikallisen vaurion tai osan poiston	x	x	x
– Valitaan aiemman (esim. 3-nivelkehä) tilalle rakennejärjestelmä, joka ei voi sortua äkillisesti varoittamatta	x	x	x
Suunnittelun ja toteutuksen laadunvarmistus			
– Hyödynnetään rakennusten suunnittelussa ja rakentamisessa sovellettavia erityismenettelyitä (ulkopuolinen tarkastus tms., ks. RIL 241-2016 Erityismenettelyn soveltaminen /39/)			x
– Hyödynnetään rakenneosien valmistuksessa sovellettavia laaduntarkkailuun liittyviä menettelyitä			x
Käytön ja ylläpidon varmistus			
– Hyödynnetään rakennusten ylläpidossa ja kunnon tarkkailussa sovellettavia erityismenettelyitä			x
– Otetaan käyttöön järjestelmä, joka hälyttää suurista muodonmuutoksista tai ominaistaajuuksista		x	x

Liite 4. Yli 6m pitkän väliseinän sidonta ylempään elementtiin

	Työ Nro.	DE–1
	Päiväys 8.5.2018 / Tekijä	
Rakennuskohde/Käyttökohde	Sisältö YLI 6 m PITKIEN VÄLISEINÄELEMENTTIEN SIDONTA YLEMMÄN KERROKSEN ELEMENTTIIN	

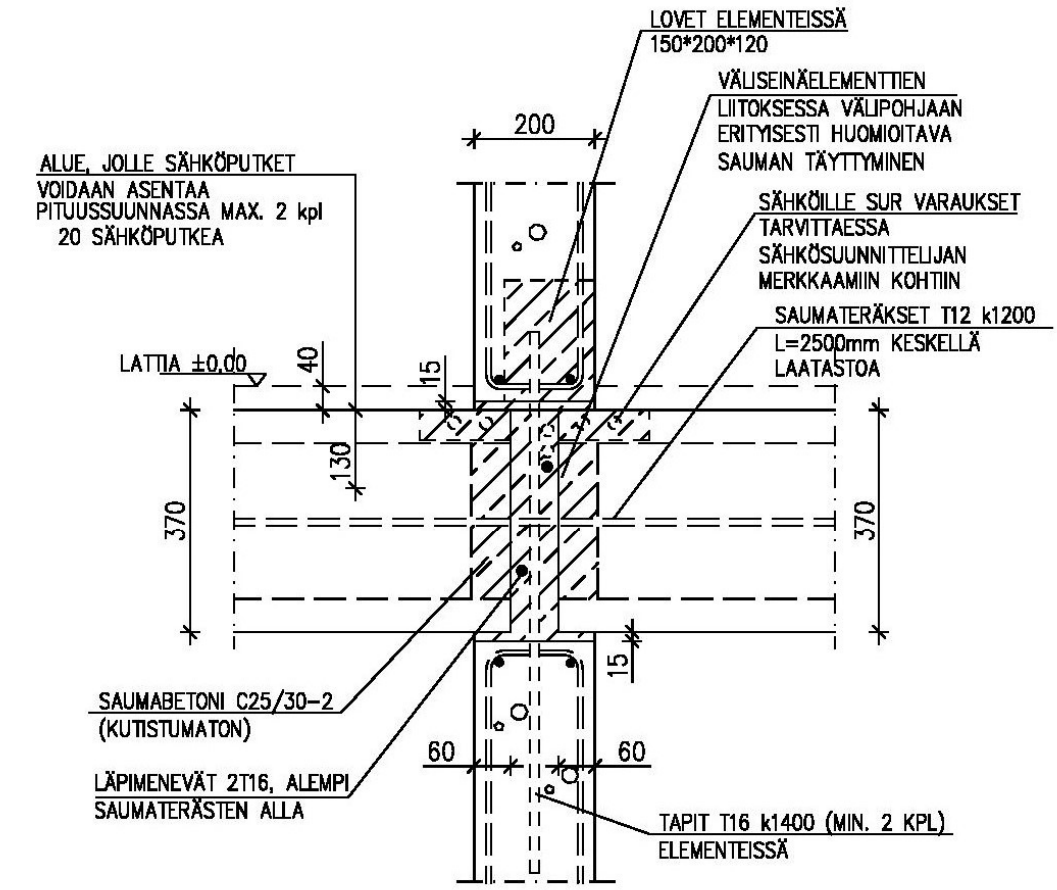
MITTAKAAVA 1:10



– ELEMENTTIEN SAUMAUKSESSA NOUDATETTAVA RT 28–10979 JA RT 82–10980 MÄÄRÄYKSIÄ JA OHJEITA
– SAUMAUSMASSALLA OLTAVA VARMENNETTU KÄYTTÖSELOSTE
– BETONIALUSTAT PUHDISTETTAVA JA KÄSITELTÄVÄ PRIMERILLÄ ENNEN SAUMAUSTA

Liite 5. Kantavan väliseinän ja ontelolaatan liitos

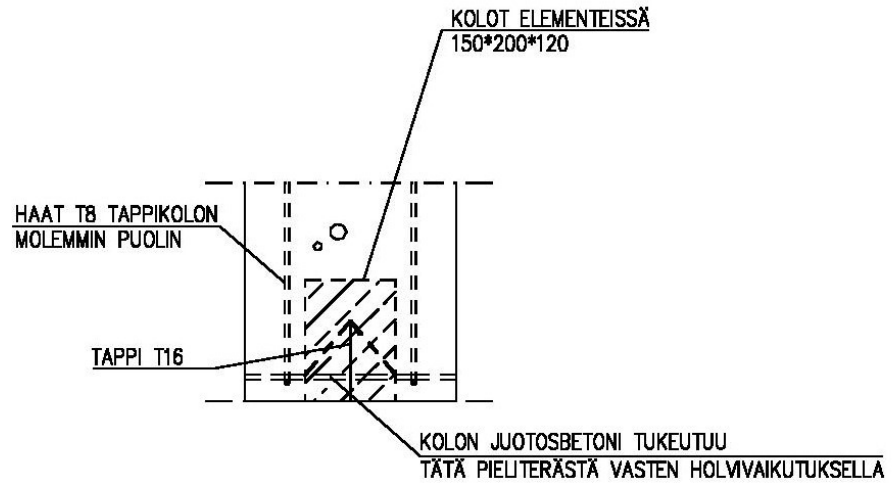
	Työ Nro.	
	Päivitys 8.5.2018 / Tekijä	DE–2
Rakennuskohde/Käyttökohde	Sisältö: KANTAVAN VÄLISEINÄN JA ONTELOLAATAN LIITOS	

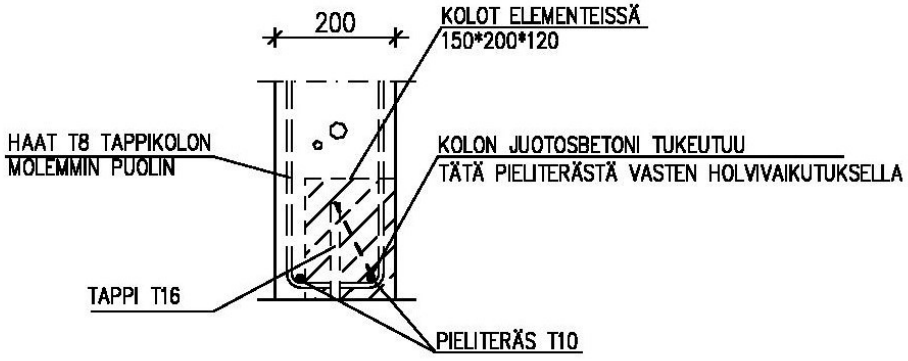


Liite 6. Seinän yläpään tappiliitoksen käyttö pystysidonnassa

	Työ Nro.	
	Päiväys 8.5.2018 / Tekijä	DE–3
Rakennuskohde/Käyttökohde	Sisältö TAPPI–KOLO LIITOS, HOLVIVAIKUTUS	

MITTAKAAVA 1:10



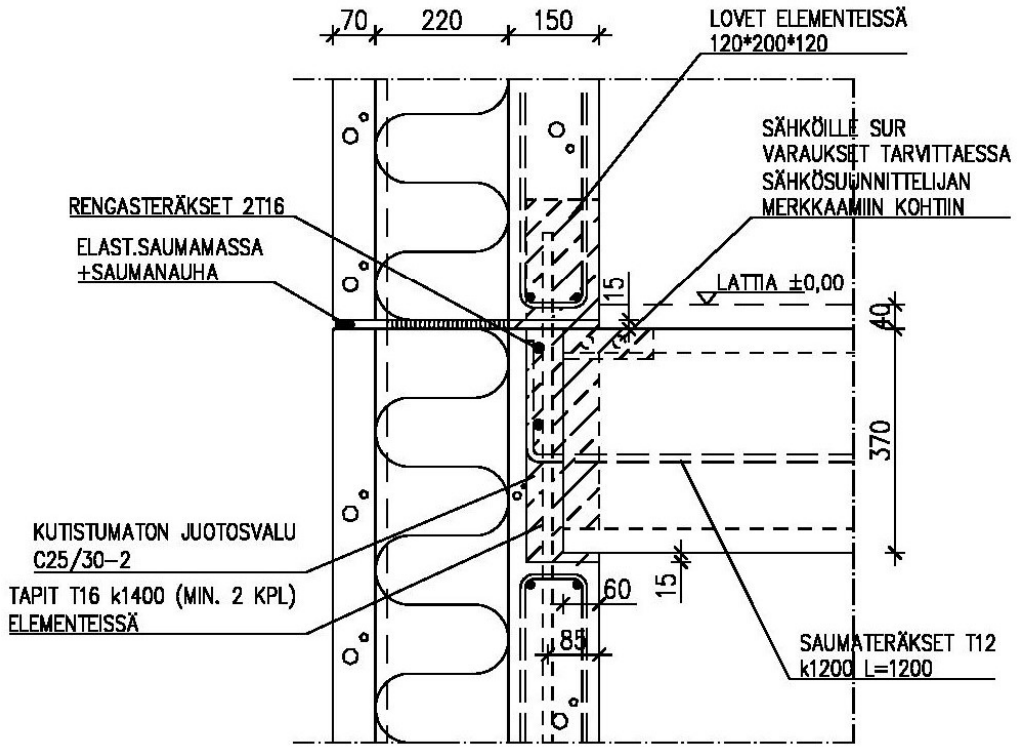


– ELEMENTTIEN SAUMAUKSESSA NOUDATETTAVA RT 28–10979 JA RT 82–10980 MÄÄRÄYKSIÄ JA OHJEITA
– SAUMAUSMASSALLA OLTAVA VARMENNETTU KÄYTTÖSELOSTE
– BETONIALUSTAT PUHDISTETTAVA JA KÄSITELTÄVÄ PRIMERILLÄ ENNEN SAUMAUSTA

Liite 7. Saumateräksen ankkurointiperiaate

	Työ Nro.	
	Päiväys 9.5.2019 / Tekijä	DE – 4
Rakennuskohde/Käyttökohde	Sisältö: KANTAVAN ULKOSEINÄELEMENTIN JA ONTELOLAATAN LIITOS	

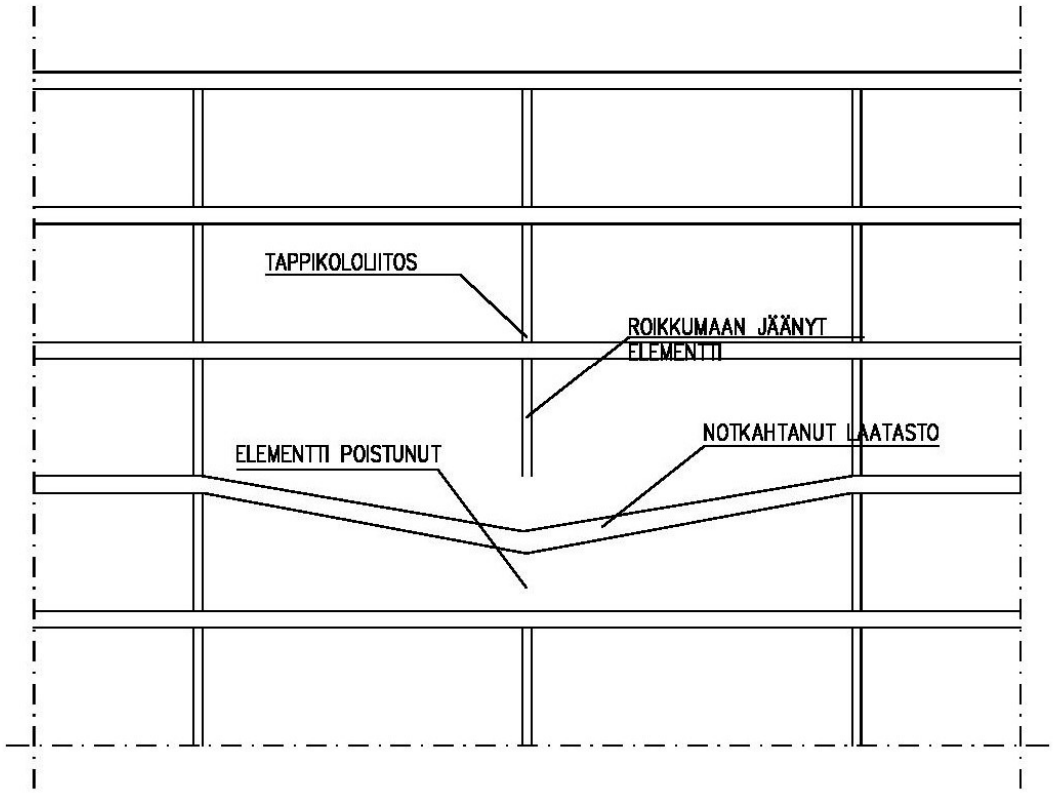
MITTAKAAVA 1:10



– ELEMENTTIEN SAUMAUKSESSA NOUDATETTAVA RT 28–10979 JA RT 82–10980 MÄÄRÄYKSIÄ JA OHJEITA
– SAUMAUSMASSALLA OLTAVA VARMENNETTU KÄYTTÖSELOSTE
– BETONIALUSTAT PUHDISTETTAVA JA KÄSITELTÄVÄ PRIMERILLÄ ENNEN SAUMAUSTA

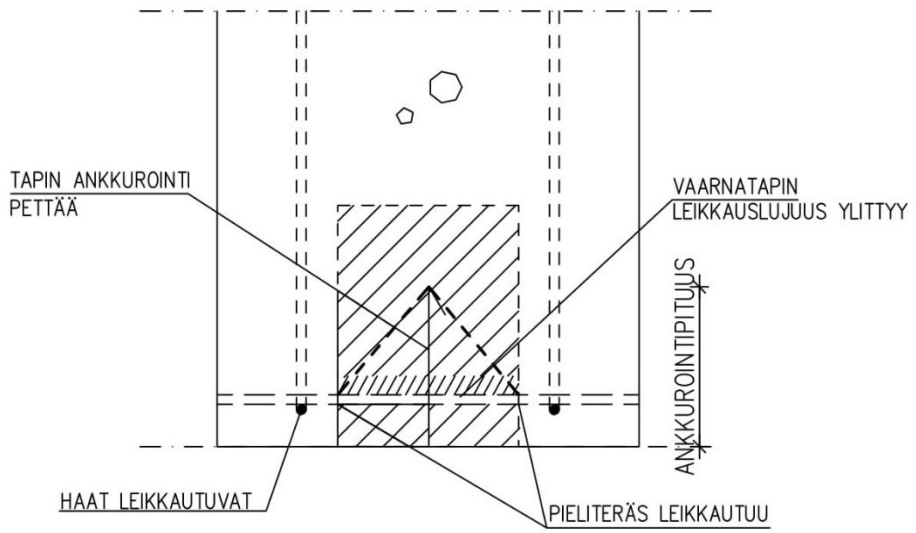
Liite 8. Elementin poistuminen

	Työ Nro.	
	Päivätyo 10.5.2018 / Tekijä	
Rakennuskohde/Käyttökohde	Sisältö ELEMENTIN POISTUMINEN	



Liite 9. Tappi-kololiitoksen heikot kohdat

	Työ Nro.	DE – 3
	Päiväys 8.5.2018 / Tekijä	
Rakennuskohde/Käyttökohde	Sisältö TAPPI–KOLO LIITOS, HEIKOT KOHDAT	



Liite 10. Työn pohjalta tehty sideterästen mitoitus Excel-taulukko

SITOWISE

RAKENNELASKELMA

Tekijä		Sivu	1 (1)
Päiväys	10.5.2019		
Rakennuskohde	Työ nro	Sisältö	Sijainti

RENGASRAUDOITUKSEN MITOITUS ONNETTOMUUSTILANTEESSA (T2, T4) ver 1.0

Mitoitustilanne

Seuraamusluokka	CC3a		Kerrosten lukumäärä	9	kpl
G_k	6,00	kN/m²	Kertymiseleveys (s)	Kuva 3, max s_2,s_4 5	m
Q_k	2	kN/m²	Köysirakenteen jänneväli / 2, (z, max arvo)	Kuvat 4a ja 4b 8	m
Määräävä hyötykuorma	Asuintila		Teräksen ominaislujuus F_k	500	N/mm

Tulokset

Vaadittava rengasteräsmäärä T2,T4

$A_{s,min}$ 491,392 mm²

Valitut teräkset

2 T 25 KA: $\frac{A_{s,min}}{A_s}$ = 50,1 %

A_s 981,7 mm²

▶Teräsmäärä OK

SAUMATERÄSTEN MITOITUS ONNETTOMUUSTILANTEESSA (T1, T3 ks. Kuva 3)

Mitoitustilanne

Kantavaa suuntaa vastaan kohtisuorassa (kantavalla väliseinällä) olevat teräkset

Kertymiseleveys (s)	Kuva 3	6	m
Köysirakenteen jänneväli / 2, (z, max arvo)	Kuvat 4a ja 4b	6	m

Tulokset

Vaadittava sideteräsmäärä T1, T3

$A_{s,min}$ 442,3 mm²

Valitut teräkset

2 T 16 KA: $\frac{A_{s,min}}{A_s}$ = 110,0 %

A_s 402,1 mm²

▶Teräsmäärä liian pieni

Mitoitustilanne

Kantavassa suunnassa olevat teräkset

Kertymiseleveys (s)	Kuva 3	3,6	m
Köysirakenteen jänneväli / 2, (z, max arvo)	Kuvat 4a ja 4b	9	m

Tulokset

Vaadittava kokonaissideteräsmäärä T1, T3 — Saumojen määrä laatastossa

$A_{s,min}$ 398,0 mm² — n 2 kpl

saumojen määrä

Yhden sauman vaadittu sideteräsmäärä

$A_{s,yksi\ sauma}$ 199,0 mm²

Valitut teräkset

1 T 16 KA: $\frac{A_{s,min}}{A_s}$ = 99,0 %

A_s 201,1 mm²

▶Teräsmäärä OK

Liite 11. Seinäelementin pystysidonnasta tehty Excel-taulukko

SITOWISE					RAKENNELASKELMA						
					Tekijä					Sivu	1 (1)
					Päiväys	10.5.2019					
Rakennuskohde				Työ nro	Sisältö					Sijainti	
Seinäelementin pystysidonta											ver 1.0
Mitoitustilanne											
Seinäelementin paino	G_s	13,00	kN/m		Teräksen ominaislujuus	F_{yk}		500	N/mm^2		
Yhden kerroksen pysyvä kuorma	G_k	6	kN/m^2		Seinässä yläpään tappien määrä kuormituspituudella			2	kpl		
Yhden kerroksen muuttuvat kuormat	Q_k	2	kN/m^2		Seinässä yläpään tappien halkaisija			16	mm		
Määräävä hyötykuorma		Asuintila			Betonin lujuus	f_{ck}		C25/30			
Kuormitusleveys		9	m		Seinän pieliteräksen halkaisija			10	mm		
Kuormituspituus (elementin pituus /2 normaalisti)		3	m		Kolon viereisten hakojen halkaisija			8	mm		
Tulokset											
Seinän yhden pystysuuntaisen sauman vetovoiman laskeminen											
F_v	194,84	kN									
$A_{s,min}$	389,68			KA:	$\frac{A_{s,min}}{A_s}$	=	96,9 %				
Valitut teräkset											
	2	T 16					►Teräsmäärä OK				
A_s	402,1	mm^2									
Maksimi saumajako seinäelementille käytettäessä valittuja pystysaumateräksiä											
K	6,19	m	Jos tarvitaan pidempiä seinäelementtejä, voidaan käyttää väliseinissä spiraloputkiliitosta lisäämään pystysuuntaista vetokapasiteettia								