

Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Heini Ahokas

Jatkuvan sortuman riskiarvio - vaativan kohteen malliasiakirja

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

12.11.2020

Tekijä Otsikko	Heini Ahokas Jatkuvan sortuman riskiarvio - vaativan kohteen malliasiakirja
Sivumäärä Aika	27 sivua + 1 liite 12.11.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Osastopäällikkö, Anssi Vuorenmaa Päätoiminen tuntiopettaja, Matti Leppä
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli koostaa asiakirjapohja sekä hyödyllisiä huomioita jatkuvan sortuman riskiarvion laatimiseksi vaativissa rakennushankkeissa.</p> <p>Työn tilaajana oli Sweco Rakennetekniikka Oy. Yrityksen tavoitteena oli yhtenäistää riskiarvion laatimisprosessia sekä saattaa viimeisin tieto ja parhaat käytännöt kaikkien yrityksessä riskiarvioita laativien saataville.</p> <p>Jatkuvan sortuman riskiarvio on tullut lakisääteiseksi vaatimukseksi vuonna 2012, mutta siihen liittyvät tarkemmat säädökset ja ohjeet on julkiastu vasta vuonna 2017. Käytäntö riskiarvion toteutukseen on edelleen vaihteleva eikä yksiselitteistä ohjetta valvontaviranomaiselta ole.</p> <p>Riskiarvioita vaaditaan vain CC3b seuraamusluokan rakennuksissa eli se ei ole tiheästi eteen tuleva suunnittelutehtävä eikä rutiinia pääse yhtä helposti muodostumaan kuin tavanomaisemmissa tehtävissä.</p> <p>Riskiarviossa tutkitaan rakennuksen onnettomuusmitoituksen mukaisia tilanteita ja määritetään vaihtoehtoiset kuorman siirtoreitit, tarvittavien sidevoimien käyttö sekä tunnistetaan avainasemassa olevat rakenteet. Riskiarvio asiakirja esittää nämä suoritettut tarkastelut tiivistetyssä muodossa, jotta voidaan varmistua siitä, että tarkastelut on tehty ja toimenpiteisiin havaittujen riskien hallitsemiseksi ryhdytään.</p> <p>Työ toteutettiin kirjallisuustutkimuksena sekä haastattelututkimuksena. Kirjallisuudesta etsittiin viimeisimmän määräykset ja säännökset jatkuvaa sortumaa koskien. Haastatteluiden avulla kerättiin parhaat käytännöt ja suunnattiin asiakirjapohjaa palvelemaan käyttäjiään mahdollisimman hyvin.</p> <p>Asiakirjapohja ja siihen kerätyt hyödylliset huomiot helpottavat ja nopeuttavat suunnittelijan työtä sekä ovat mukana luomassa rutiinia ja yhtenäistä laatua toimintatapoihin.</p>	
Avainsanat	Jatkuva sortuma, riskiarvio, riskianalyysi

Author Title Number of Pages Date	Heini Ahokas Risk Assessment of Progressive Collapse – Document Template for Very Challenging Builds 27 pages + 1 appendice 12 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Programme of Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Anssi Vuorenmaa, Head of Department Matti Leppä, Full-time teacher
<p>The aim of the thesis was to compile a document template regarding the risk assessment of progressive collapse.</p> <p>The project was commissioned by Sweco Rakennetekniikka Oy. The intention of the company was to standardize their process of risk assessment of progressive collapse. Another goal of the thesis was to bring the most up-to-date information and best practices available to everyone in the company.</p> <p>Literature was studied to gather the latest requirements regarding progressive collapse design. Interviews were conducted to gain knowledge of the best practices and to refine the information gathered for the document template.</p> <p>The document template made as the result of this thesis and the useful insights gathered in it, offer a valuable tool that helps the structural engineer's work. The result helps create good routines and ensure the quality of all risk assessments made in the company.</p>	
Keywords	Progressive collapse, risk assessment, risk analysis

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jatkuva sortuma	3
2.1	Jatkuvan sortuman historiaa	5
2.2	Esimerkkitapauksia	6
2.3	Suunnittelumääräykset Suomessa	9
2.4	Euronormit ja kansalliset liitteet	9
2.5	Seuraamusluokat	9
2.5.1	Jatkuvan sortuman huomioimisen dokumentointivelvoite	13
3	Tutkimuksen kulku	15
3.1	Aineiston taustatutkimus	15
3.2	Haastattelut	16
3.3	Malliasiakirjan koostaminen	17
3.4	Lopputulokset	17
4	Asiakirjan rakenne	18
4.1	Kohteen vaurionsietokyvyn varmistaminen	18
4.2	Riskianalyysi	19
4.3	Avainasemassa olevat rakenteet	21
4.4	Sidevoimat	21
4.5	Köysivoimat	22
4.6	Dynaaminen lisäkerroin	23
5	Yhteenveto	24
5.1	Pohdinta ja jatkokehitys	25
5.2	Loppupäätelmät	25
	Lähteet	26
	Liitteet	
	Liite 1. Jatkuvan sortuman riskianalyysi – mallipohja	

1 Johdanto

Työn tilaajana on Sweco Rakennetekniikka Oy:n toimisto- ja liikerakentamisen tulosityksikkö. Tulosityksikössä tehdään rakennesuunnittelua toimisto- ja liikerakentamishankkeissa. Sweco Rakennetekniikka Oy:n toimialana on rakennusalan tutkimus-, suunnittelu- ja konsultointitoiminnan harjoittaminen. Sweco Rakennetekniikka Oy on osa Sweco AB -konsernia. [1.]

Jatkuvan sortuman riskiarviota tehdään vain vaativissa kohteissa, joten riskianalyyysien tekemisestä ei muodostu helposti rutiinia, ja asiassa on paljon opettelua ja paljon unohdettavaa.

Tavoitteena on tutustua jatkuvaan sortumaan ja laatia asiakirjapohja, joka sisältäisi toimintaohjeita ja loisi yhtenevän, yrityksen brändin mukaisen ulkoasun toimitettaville jatkuvan sortuman riskiarvioille.

Myös kirjallinen aineisto, kuten käyntikortit (kuva 1), sähköpostit ja asiakirjat, luo yritysmielikuvaa. Yhtenäisyys viestinnän ulkoasussa luo mielikuvaa laadukkaasta ja luotettavasta yrityksestä.



Kuva 1. Jokainen kohtaaminen, myös kirjallinen, luo yritysmielikuvaa eli brändiä.

Valmiin malliasiakirjan ja sen täyttämisohteen avulla riskianalyysin suorittamiseen tarvittava aika vähenee. Yrityksen toiminta näyttää myös ammattimaisemmalta ulkopuolille asiakkaille, kuten tilaajille ja viranomaisille, joille riskianalyysi tulee toimittaa, kun kaikki käyttävät samaa malliasiakirjaa, joka on yrityksen brändin mukainen.

Opinnäytetyö toteutetaan asiantuntijahaastatteluina ja kirjallisuustutkimuksena tutustuen alan julkiseen sekä yrityksen sisäiseen aihetta koskevaan aineistoon. Opinnäytetyön aikana tutustutaan yrityksessä jo tehtyihin riskianalyysiasiakirjoihin ja tarvittavassa laajuudessa haastatellaan asiakirjat laatineita tahoja.

Pohjatutkimuksen jälkeen laaditaan malliasiakirja ja luodaan toimintaohjeita vaativan kohteen riskianalyysiasiakirjan laadintaan. Kaikki tuotettu materiaali viimeistellään vastaamaan yhtiön nykyistä ilmettä.

Malliasiakirjan käyttäjätestaus ja käyttöönotto on rajattu projektin ulkopuolelle.

Työtä varten haastatellaan tarpeen mukaan yrityksen henkilöstöä sekä tutkitaan aiheeseen liittyvää julkista ja yrityksen sisäistä kirjallisuutta. Projektissa kerätään, muokataan ja ryhmitellään jo olemassa olevia yhtiön tietoja, sekä lisätään tietoihin kirjallisuuslähteiden perusteella viranomaisvaatimuksia ja muita huomioita.

Lopputuloksena työstä syntyy sähköinen asiakirjapohja, jota yritys voi hyödyntää tulevaisuudessa vaativissa hankkeissa ja joka liittyy yrityksen muihin lomakkeisiin yhtenäisellä ulkoasullaan.

2 Jatkuva sortuma

Jatkuva sortuma on rakenneosan toiminnan pettämisestä seuraava ilmiö, jossa rakenneosa menettää kantavuutensa ja se aiheuttaa kuormien jakautumisen uudelleen koko rakenteessa. Kuormien jakautumisen seurauksena yksi tai useampia ympäröiviä rakenneosia menettää kantavuutensa.

Jatkuva sortuma on ketjureaktio, joka jatkaa etenemistään, kunnes koko rakennus on romahtanut tai rakenteet pystyvät kantamaan niille tulevat kuormat tai kuormia ei enää siirry, koska ne poistuvat rakenneosan mukana. [5. s.3.]

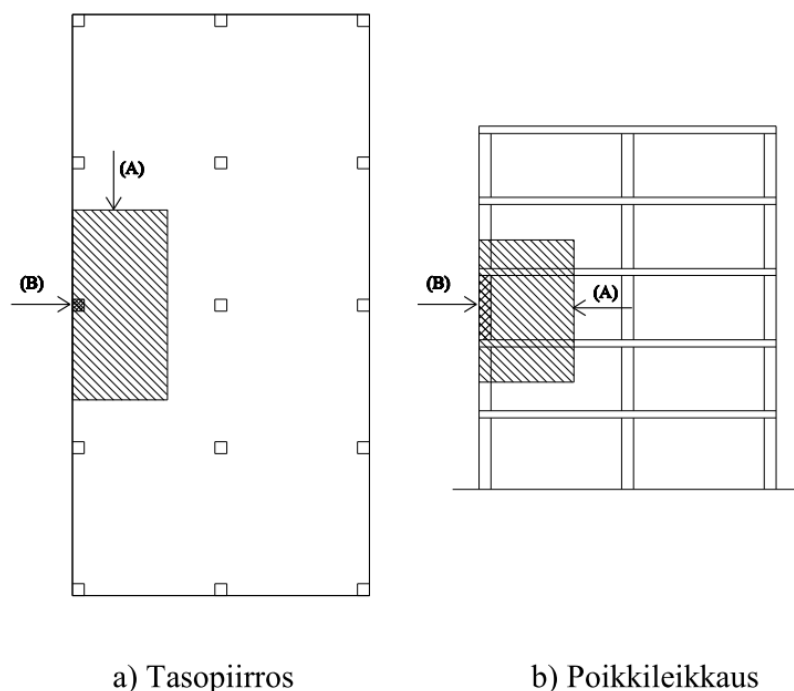
Jatkuvan sortuman estämisen suunnittelussa pyritään siihen, että ennakoimaton tilanne, eli tilanne, joka ei ole rakennuksen normaalin käyttöön liittyvä, ei aiheuta kohtuuttoman suuria vaurioita. Jatkuvan sortuman suunnittelun tarkoituksena on rajata vauriota luotettavasti. [5. s. 3.]

Vaurion syntymistä ei voi täysin välttää, täydellisen jäykkiä rakenteita ei ole olemassa ja kustannukset ja dimensiot tämän tavoittelemisesta olisivat kohtuuttoman suuria. Toisaalta myöskään koko rakennuksen sortuminen yhden rakenneosan pettäessä ei ole kohtuullista. [10. s. 9.]

Tyypilliset onnettomuustilanteet, joita varten jatkuvan sortuman tarkastelua tehdään ovat:

- törmäys (auto, juna, lentokone, trukki tai muu vastaava)
- räjähdys (kaasuräjähdys, pölyräjähdys)
- inhimillinen erehdys (joku poistaa rakenneosan)
- elementin putoaminen lämpö- ja kosteusliikkeiden vuoksi
- poikkeuksellisen ankara tulipalo. [5. s.2.]

Monikerroksisen rakennuksen kohtuulliseksi katsottava sortuma on käytännössä kaikkien vaurioituneen rakenneosan välittömässä läheisyydessä olevien rakenneosien vaurioituminen. Vaurion laajuus on havainnollisesti esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Monikerroksisen rakennuksen hyväksyttävän vaurion laajuus merkitty vinoviivalla, vaurioitunut rakenne rasterilla. [3. s.36.]

Suomen Rakentamismääräyskokoelma määrittää hyväksyttävän vaurion laajuuden seuraavasti:

Monikerroksisissa rakennuksissa paikallisen vaurion laajuus yhdessä kerroksessa voi olla enintään 15% kyseisen kerroksen lattiapinta-alasta ja enintään 100 neliometriä. Vaurio voi tapahtua kahdessa päällekkäisessä kerroksessa. [3.]

Riittävä vaurionsietokyky on varmistettava joko sidejärjestelmien avulla tai suunnittelemalla vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit [2. s.38]. Näitä kutsutaan myös korvaaviksi rakennejärjestelmiksi.

Korvaavissa rakennejärjestelmissä voidaan hyödyntää rakenneosia, jotka normaalitilanteessa eivät olisi kantaneet kuormia. Nämä rakenneosat on mitoitettava niin että varmistutaan niiden kyvystä toimia korvaavan rakennejärjestelmän osana. Eli jos kevyen väliseinän halutaan kantavan kuormia onnettomuustilanteessa, niin se on mitoitettava kestäämään kyseiset kuormat.

Sidejärjestelmä on toinen tapa toteuttaa korvaava rakennejärjestelmä. Sidejärjestelmään laskettavilla osilla voi olla muitakin käyttötarkoituksia rakenteissa. [2. s.42.]

Jatkuvan sortuman rajoittamiseen on muutamia erilaisia menetelmiä:

- Ehkäistään vaaratilanne ennalta, esimerkiksi estämällä ajoneuvon törmäys rakenteeseen ajoesteillä. [5. s.4.]
- Valitsemalla jatkuvan sortuman kannalta edullisia rakennetyyppejä ja materiaaleja käyttökohde huomioiden. [2. s.53]
- Mitoittamalla rakenne jo alun perin riittävän jäykäksi, että se kestää toisen rakenneosan poistumisen, eli suunnitellaan rakenneosat tavallista alhaisemmalla käyttöasteella. [2. s. 19.]
- Suunnittelemalla rakenteet sitkeiksi niin että ne antavat ennakkovaroituksen. Eli esimerkiksi taipuvat tai halkeavat käyttäjät näkökulmasta pelottavasti ennen lopullista sortumista. [2. s. 53.]
- Suunnittelemalla rakenteisiin sidejärjestelmiä, joilla rakenneosat kiinnittyvät toisiinsa eivätkä pääse putoamaan sortumassa. [2. s.43.]
- Suunnitellaan rakennus osastoiduksi, eli rakennuksessa on toisistaan riippumattomia osastoja, jolloin sortuma pysähtyy osastojen välille. [2. s. 19.]
- Rakennetaan kriittisiin paikkoihin kaksi kantavaa rakenneosaa. [2. s.53.]

Erityisen vaativan kohteen hankkeessa voidaan soveltaa kaikkia näitä menetelmiä. Pääpaino suunnittelussa on käyttöasteella sekä vaihtoehtoisella kuormansiirtoreiteillä.

2.1 Jatkuvan sortuman historiaa

Jatkuva sortuma pääsi otsikoihin ja suureen tietoisuuteen vasta suhteellisen myöhään. Ison-Britannian kaasuräjähdykset ovat edelleenkin eurooppalaisen jatkuvan sortuman mitoituksen lähtökohta.

Jatkovaa sortumaa on kuitenkin tapahtunut kautta aikojen. Rakennuslehti uutisoi vuonna 2016 pitkän artikkelin aiheesta ja kertoi syyksi rakennesuunnittelijoiden innon pienentää dimensioita ja materiaalinkäyttöä. [13.]

Vuonna 2017 Rakennuslehti esitti 400 hallin listan, joissa on käytetty väärin suunniteltua kolminivelkehää ja jotka tulisi tarkistaa ja todennäköisesti korjata välittömästi. [13.]

2.2 Esimerkkitapauksia

Jatkuvaa sortumaa tapahtuu nykypäivänä pääosin vain tapauksissa, joissa suunnittelumääräykset ovat vaillinaisia tai joissa suunnittelumääräyksiä on jätetty huomioimatta tai rikottu. Maailmalla suunnittelumääräyksissä on usein suurempia puutteita kuin meillä ja myös korruptio ja suoranainen piittaamattomuus määräyksistä on yleisempää maailmalla kuin Suomessa.

Tämän vuoden alussa, helmikuussa 2020, Venäjällä romahti remontissa ollut urheiluareena. Romahdus on alkanut hitsaustyöstä katolla ja johtanut koko katon romahtamisen kautta myös lähes kaikkien seinien romahtamiseen. [16.]

Ennen Yhdysvaltojen WTC-tornien romahdusta kuolettavin rakennusonnettomuus on ollut vuonna 1995 Etelä-Koreassa tapahtunut ostoskeskuksen romahdus. Alla olevassa kuvassa 3 näkyy, kuinka koko rakennus aivan päätyseiniä lukuun ottamatta on täysin romahtanut.



Kuva 3. Etelä-Koreassa vuonna 1995 sortunut kauppakeskus. [17.]

Etelä-Koreassa romahtanut kauppakeskus oli rakennettu rakennuttajan vaatimuksesta mahdollisimman halvalla ja osin epäsovivista materiaaleista. Siellä oli lisätty kuormia rakentamalla IV-konehuoneita ja ylimääräisiä kerroksia. Lisäksi kantavia rakenteita oli paikoin kavennettu liukuportaiden tieltä. Rakenteet antoivat ennakkovaroituksia, mutta evakuointi käskyä ei annettu. Turmassa kuoli 502 ihmistä ja loukkaantui 937. [18.]

Jatkuvasta sortumasta johtuvia onnettomuuksia tapahtuu myös Suomessa. Erityisesti hallit ovat olleet otsikoissa. Teräshalleissa on ollut systemaattisia suunnitteluvirheitä, jotka ovat johtaneet kattoromahduksiin. Puuhalleissa taas ylimääräiset ripustukset tai virheellisesti suunnitellut liitokset ovat aiheuttaneet sortumia. [2. s.10.]

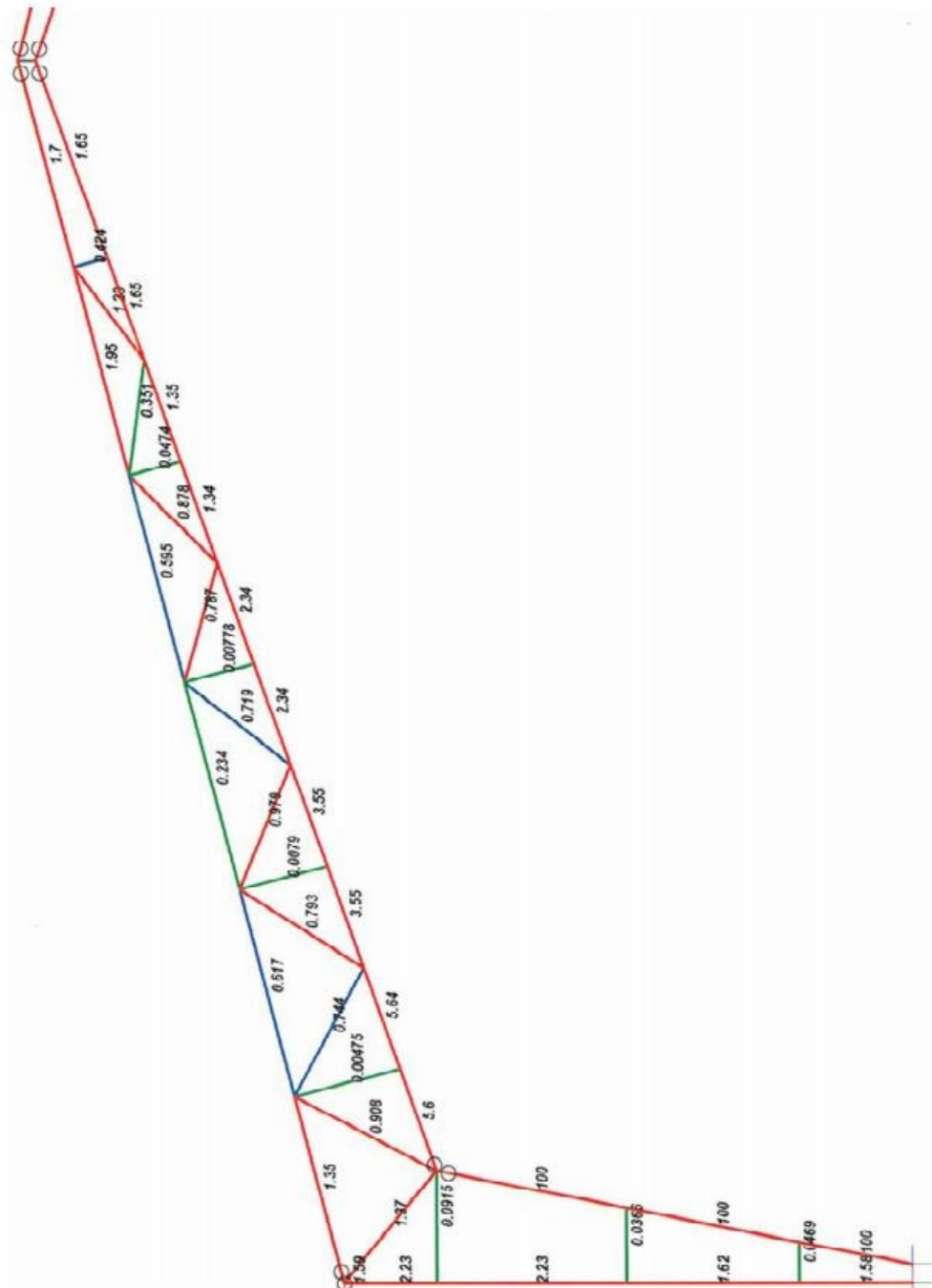
Vuonna 2003 sortui kaksi hallin kattoa, yksi Jyväskylässä ja toinen Mustasaarella. Molemmissa ongelma johtui sekavasta vastuunjaosta sekä Euronormeissa olleesta virheestä, joka johti alimitoitettuun tappivaarna liitokseen. [15.]

Laukaan maneesi on yksi viimeisimmistä Suomessa tapahtuneista jatkuvan sortuman onnettomuuksista. Ratsastushallin katto sortui lumikuorman alla ja yksi henkilö kuoli ja neljä loukkaantui. Lisäksi kuoli kaksi hevosta. [14. s. 41.]

Laukaan maneesissa oli suunnitteluvirheitä sekä vakavia toteutusvirheitä. Maneesi oli kolvinivelkehä, jonka yläkulmanurkan puutteellisesti hitsattu kainaloliitos oli pettänyt. Maneesi sortui äkillisesti eikä paikalla olleilla ollut mahdollisuutta paeta paikalta. [14. s.41-42.]

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 4 on ote sortuman jälkeen tehdyn tarkastuslaskelman tuloksista, joista nähdään, että rakenteeseen sisältyi huomattavaa riskiä. Useat sauvat olivat liian hoikkia ja monen sauvan käyttöaste ylittyi huomattavasti.

Laskelmaraportin tulosteessa lukuarvo tarkoittaa käyttöastetta. Numerot, jotka ovat yhtä (1) suurempia kertovat käyttöasteen olevan enemmän kuin kyseisen sauvan kuormituksen kesto. Jos luku on sata (100), ilmoittaa laskelma, että kyseisen sauvan nurjahduspituus on ylittynyt. Eli rakenneosaa on liian hoikka ja voi nykyisellään kiertyä tai vääntyä kuorman alta pois.



Kuva 16. Sauvojen rasitusasteet. (kuva: Aaro Kohonen Oy)

Kuva 4. Laukaan maneesin nivelkehän osa kuormitustarkastelussa. [14. s.33.]

Vastaavanlainen halli oli romahtanut Liedossa vuonna 2010 ja jo silloin havaittiin, että kyseisen tyyppisessä hallissa oli suunnittelupuutteita, mutta viranomaisilla ei ollut ajantasaista ja kattavaa rekisteriä rakennuksista, jonka kautta vastaavien rakennuksien omistajia olisi voinut tiedottaa riskeistä. [14. s.43.]

2.3 Suunnittelumääräykset Suomessa

Jatkuva sortuma on huomioitu suunnittelua koskevissa määräyksissä Suomessa. Suomessa noudatetaan Euronormeja suunnittelussa sekä niiden paikallisia liitteitä. Jatkovaa sortumaa koskevia määräyksiä on Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa Rakenteiden lujuus ja vakaus.

Suomessa Euronormien tulkintaan ohjeistaa Rakennusinsinööriliito RIL ry julkaisuisaan. Lisäksi myös muut yhdistykset, kuten Betoniyhdistys, ovat laatineet omia ohjeistuksiaan, joita yleisesti noudatetaan. Muun muassa Betoninormikortti 23 antaa ohjeita jatkuvan sortuman mitoittamiseen betonirakenteissa.

2.4 Euronormit ja kansalliset liitteet

Jatkuva sortuma kuuluu onnettomuusmitoitus tilanteisiin, joiden toimenpiteet riippuvat seuraamusluokista. Seuraamusluokka kertoo vahingon tapahtumisen vakavuudesta. Suurten seuraamuksien eli merkittävien henkilö-, omaisuus- tai ympäristövahinkojen tapauksessa on tehtävä jatkuvan sortuman ehkäisevää suunnittelua. Toinen rakennuksen seuraamusluokkaa nostava tekijä voi olla erityisen haastava toteutustapa tai poikkeuksellinen rakenne.

Onnettomuusrajatilan mitoitus poikkeaa murto- ja käyttörajatilan mitoituksesta kuormituksien osalta. Kuormituksista on säädetty Euronormin standardeissa SFS-EN-1991-1-7 ja SFS-EN 1992-1-1. Esimerkiksi kuormakerrointa K_{fi} ei käytetä onnettomuusrajatilan mitoituksessa. [8. s.39.]

2.5 Seuraamusluokat

Seuraamusluokkia on kolme CC1, CC2, ja CC3. CC2 ja CC3 on lisäksi jaettu kahteen alaluokkaan. Vähiten riskejä sisältävä rakentaminen kuuluu luokkaan CC1 ja haastavin tai eniten riskejä sisältävä rakentaminen kuuluu luokkaan CC3b.

CC1-luokkaan kuuluvat 1-2-kerroksiset rakennukset, joiden sortumisesta seuraa vain vähäiset seuraamukset. Näissä rakennuksissa sallitaan vain tilapäistä oleskelua tiloissa. Luokkaan kuuluvat esimerkiksi varastot, kasvihuoneet ja maa- ja metsätalousrakennukset. Kuvassa 5 on esimerkki suuresta kasvihuoneesta, joka luettaisiin luokkaa CC1.

Rakennukset suunnitellaan standardien SFS-EN 1990...SFS-EN 1999 mukaisesti, jatkuvaa sortumaa ei huomioida erikseen. Tavanomaisessakin suunnittelussa on hieman ylimääräistä varmuutta ja sen katsotaan riittävän näissä matalamman riskin rakennuksissa. Eli jos tulee vaurio ja rakennus uhkaa romahtaa, niin sitten se romahtaa. [3. s.38, 39.]



Kuva 5. Kasvihuoneet kuuluvat vähäisen riskin luokkaan CC1, jossa ei tarvitse huomioida jatkuvaa sortumaa.

Seuraamusluokka **CC2** on jaettu kahteen osaan:

CC2a- luokkaan kuuluvat korkeintaan 4-kerroksiset rakennukset, tai korkeintaan 16 metriä korkeat rakennukset. Maanalaisia kerroksia ei huomioida. Rakennuksissa oleskelee ihmisiä. Käytännössä tähän luokkaan kuuluvat matalat kerrostalot ja omakotitalot.

CC2a-luokan rakennuksien sortumaan katsotaan sisältyvän melko pieni riski. Alempa-
na olevassa kuvassa 6 on esimerkki tähän luokkaan todennäköisesti luettavasta ra-
kennuksesta. Asuinrakennukset, joissa ei ole poikkeuksellisen erikoisia ratkaisuja kuu-
luvat pääosin tähän luokkaan.



Kuva 6. CC2a luokan korkeintaan 4-kerroksen kerrostalo, jossa jatkuva sortuma voidaan huo-
mioida kaavoista mitoitettulla vaakasidejärjestelmällä.

Suunnittelu toteutetaan samalla tavalla kuin CC1-luokan mukainen suunnittelu, minkä
lisäksi jatkuvaa sortumaa huomioidaan lisäämällä vaakasuuntaisia siteitä rakenneosien
välille tai ankkuroimalla vaakarakenteet seiniin. Eli jos tulee vaurio ja rakennus uhkaa
romahtaa, niin jotain romahtaa ja muut osat kantavat jäljelle jäävät kuormat, mahdolli-
sesti muuttuen köysirakenteiksi (eli jäävät roikkumaan toisistaan). Rakennukset, joissa
on korkeintaan kaksi kerrosta maan päällä, suunnitellaan kuitenkin kuin CC1. [3. s.38,
39.]

CC2b-luokkaan kuuluvat melko suuren riskin rakennukset. Kaikki rakennukset, jotka
eivät kuulu johonkin muuhun luokkaan, ovat CC2b luokkaa. Suunnittelu on vastaava
kuin CC1-luokan mukainen suunnittelu, jonka lisäksi jatkuvaa sortumaa huomioidaan
lisäämällä vaaka- ja pystysiteitä rakenneosien välille ja pystyrakenteet sidotaan vaaka-
rakenteisiin. Eli jos tulee vaurio, rakennus ei romahda kokonaan vaan pyritään siihen,

että vaurioitunut rakenneosaj jää roikkumaan muuhun rakenteeseen eikä jatka sortumaa. [3. s.38, 39.]

Seuraamusluokka **CC3** on jaettu kahteen osaan:

CC3a-luokkaan kuuluvat 9-15-kerroksiset, yksinkertaisen muotoiset rakennukset, kellarikerrokset mukaan luettuina. Eli korkeat kerrostalot, toimistot ja muut samantyylliset rakennukset, joissa oleskelee paljon ihmisiä yhtä aikaa. Sama kuin CC1 mukainen suunnittelu, jonka lisäksi jatkuvaa sortumaa huomioidaan lisäämällä vaaka- ja pystysiteitä rakenneosien välille ja pystyrakenteet sidotaan vaakarakenteisiin. Lisäksi tarkistetaan, ettei minnekään muodostuisi yksittäisen vaurion takia uloketta, joka romahtaisi liikaa. [3. s.38, 39.]

CC3b-luokkaan kuuluvat muut yli 8-kerroksiset rakennukset, kellarikerros mukaan luettuna. Rakennukset, joissa oleskelee paljon ihmisiä yhtä aikaa tai joiden sortumisesta olisi erityisen paljon vahinkoa (ympäristötuhot, ihmishenkien menetys, taloudelliset mittavat vahingot, kulttuurihistoriallinen arvo). Alla olevassa kuvassa 7 ovat Kalasataman Redin-tornitalot, jotka on suunniteltu seuraamusluokka CC3b:n mukaisesti.



Kuva 7. Korkeat tornitalot kuuluvat vaativimpaan CC3b seuraamusluokkaan, jossa vaaditaan erillinen riskiarvio. [7.]

Näistä rakennuksista on laadittava yksilöllinen järjestelmällinen riskiarvio, jonka perusteella määritellään toimenpiteet uhkien vakavuuden vähentämiseksi. Esimerkiksi toi-

menpiteitä ovat mitoitusennakotavissa oleville onnettomuuskorjauksille, sekä erityisen tärkeiden rakennosien tunnistaminen ja niiden vahvistaminen (avainasemassa oleva rakennosa). Riskiarvion laatimisesta huolimatta rakennuksen suunnittelun on edelleen täytettävä myös CC1-luokan mukaisen suunnittelun määräykset ja jatkuvaa sortumaa huomioidaan lisäämällä vaak- ja pystysiteitä rakennosien välille ja pystyrakenteet sidotaan vaakarakenteisiin. Lisäksi tarkistetaan, ettei minnekään muodostuisi yksittäisen vaurion takia uloketta, joka romahtaisi liikaa. [3. s.38, 39.]

Tyypillisiä kohteita, joissa jatkuvaa sortumaa tulee tarkastella ovat koulut, urheiluhallit, uimahallit, kauppakeskukset, toimistot, julkiset rakennukset ja kirkot [3. s.38]. Näistä urheiluhallit, kauppakeskukset, julkiset rakennukset kuuluvat yleensä luokkaan CC3b, jossa edellytetään erillisen jatkuvan sortuman riskiarvion tekemistä.

2.5.1 Jatkuvan sortuman huomioimisen dokumentointivelvoite

Jatkuva sortuman varalta tehty suunnittelu pitää nykyään vaativissa hankkeissa todentaa kirjallisesti rakennusvalvonnalle. Tämä vaatimus on tullut vuonna 2012 osana Helsingin rakennusvalvonnan Korkean rakentamisen rakentamistapa -ohjetta. Kyseisestä ohjeesta on julkaistu päivitetty versio vuonna 2018.

Jatkuvan sortuman riskiarviosta on tullut valtakunnallisia velvoittavia määräyksiä vuonna 2017, kun julkaistiin Rakentamismääräyskokoelman osa Lujuus ja vakaus sekä Rakennusinsinööriin julkaisu RIL 201-4-2017 Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteissa. [2. s. 3.]

Jatkuvasta sortumasta erikseen on olemassa vaatimus erityismenettelyyn, joka tarkoittaa erityisen huolellista ja järjestelmällistä riskien läpikäyntiä. Sitä käytetään hankkeissa, jotka poikkeavat tavanomaisuudesta, tai joissa on muuten erityisen suuret riskit. Erityismenettelyllä on tarkoitus parantaa rakennuksen turvallisuutta sen rakentamisen ja käytön aikana. Sen osana laaditaan rakentamisen riskiarvio ja riskianalyysi. Nämä koskevat koko rakennusta ja sen osia rakentamisen ja käytön aikana. [9. s.15-16.]

Seuraamusluokan CC3b eli korkean suuronnettomuuden riskin rakennuksissa vaaditaan rakennuksen vaurionsietokyvyn, eli jatkuvan sortuman, järjestelmällinen riskinarvio. [3. s.38.]

Jatkuvan sortuman riskianalyysi tehdään poikkeuksellisen vaativille kohteille, joissa sortumasta voisi olla poikkeuksellisen laajat vahingot, yleensä ihmishenkien menetyksen muodossa. Jatkuvan sortuman riskianalyysin tarkoituksena on varmistaa, että jos jokin rakenne osa menee rikki, vaurio rajautuu siedettävälle alueelle. [11. s. 7.]

3 Tutkimuksen kulku

Tarkoituksena oli tutkia jatkuvan sortuman suunnittelua vaativissa CC3b luokan kohteissa, joissa edellytetään jatkuvan sortuman riskiarvion tekemistä. Tuloksena oli tarkoitus tuottaa lomakepohja ja vinkkilista vaativan jatkuvan sortuman riskien kartoittamiseen.

Tutkimus suunniteltiin toteutettavaksi yleisen kirjallisen materiaalin tutkimuksen kautta, tutustumalla yrityksen jo toteutettujen kohteiden asiakirjoihin sekä haastattelemalla jatkuvan sortuman suunnittelua tehneitä henkilöitä.

Työn aikana löytyi useita hyvin kattavasti tehtyjä riskiarvioita erilaisilla toteutuksilla tehtynä, joten työn painopiste siirtyi enemmän hyvien käytäntöjen kokoamiseen haastattelujen kautta sekä asiakirjapohjan laadullisiin ominaisuuksiin.

Tutkittavaksi sopivia kohteita tunnistettiin alussa 13 kappaletta, joista 11 rajautui mukaan tutkimukseen.

Haastatteluja sovittiin seitsemän ja toteutui seitsemän. Haastattelut kattoivat useita kohteita kerralla. Haastattelut toteutettiin Skype for business -sovelluksella ja tallennettiin tutkimuksen teon ajaksi.

3.1 Aineiston taustatutkimus

Opinnäytetöitä jatkuvasta sortumasta on tehty useita viime vuosina, mutta riskiarviota ei ole niissä käsitelty käytännössä lainkaan. Aihe vaativa ja harvinainen ja vaatii käytännössä syvempää rakennesuunnittelu osaamista ja yleistä on hyvin vaikea tehdä.

Kirjallisuustutkimus aloitettiin tutustumalla lainsäädäntöön ja muuhun viranomaiskirjallisuuteen. Viranomaiskirjallisuuden jälkeen tutustuttiin muuhun aiheesta kirjoitettuun julkiseen aineistoon, kuten Rakennusinsinööriin RIL ry:n julkaisuihin sekä lehtikirjoihin ja opinnäytetöihin. Kuvassa 8 RIL-julkaisu, joihin erityisesti tutustuttiin tutkimusprojektin aikana.



Kuva 8. Rakennusinsinööriliiton RIL ry jatkuvaan sortumaan liittyviä ohjeita.

Julkisen materiaalin tutkimuksen kanssa yhtäaikaaisesti etsittiin aineistoa yrityksen omista materiaaleista. Yrityksen aineistosta löytyi aikaisempiin opinnäytetöihin liittyvää materiaalia sekä koulutusmateriaalia, jota pystyttiin jossain määrin hyödyntämään työn tekemisessä.

3.2 Haastattelut

Yrityksen ohjaajan kanssa käytiin läpi mahdollisia kohteita, joista haastatteluja tulisi tehdä sekä haastattelujen rajausta. Työntekijä sopi haastattelut ja kysyi jokaisessa haastattelussa vinkkejä muista vaativista kohteista ja niiden jatkuvan sortuman suunnittelusta vastanneista henkilöistä.

Osassa haastatteluista käytiin yhden henkilön kanssa läpi useita kohteita ja tämä tehosti ajankäyttöä, koska molemmilla osapuolilla oli jo ennakkokäsitys minkälaisia tietoja ja millä tavalla, haastattelussa käsitellään.

Haastattelut suoritettiin Skype for Business videoneuvotteluohjelmalla ja taltioitiin muistiinpanojen laatimisen ajaksi. Videoneuvottelu valikoitui toteutustavaksi vallitsevan pandemiatilanteen sekä yksinkertaisen tallennusmahdollisuuden vuoksi.

Haastatteluista kerätty materiaali koottiin yhteen ja käsiteltiin siistiksi listaksi vinkkejä ja hyviksi havaittuja toimintatapoja. Valmiiksi työstetty lista lisättiin päivitetyt jatkuvan sortuman riskiarvio-lomakepohjan sisäiseksi liitteeksi.

3.3 Malliasiakirjan koostaminen

Malliasiakirjapohja koottiin hankkeissa jo tuotetun materiaalin pohjalta ja sitä verrattiin nykyiseen lainsäädäntöön, jotta varmistuttiin tietojen ajantasaisuudesta. Lomake koostettiin yhdistämällä eri hankkeista tehtyjen asiakirjojen parhaita ominaisuuksia sekä viemällä asiakohdat nykyaikaiseen sähköiseen tiedostotyyppiin sekä päivittämällä aineisto yrityksen nykyisen ilmeen mukaiseen ulkoasuun.

Lisäksi lomakkeelle kerättiin huomioita ja toteutusesimerkkejä eri kohteista, joita käyttäjän on tarkoitus poistaa lomakkeelta sen laatimisen yhteydessä. Toteutusesimerkit ja huomiot on tarkoitettu selventämään ja ohjaaman asiakirjapohjan täyttöä, jotta lopputulos pysyisi yhdenmukaisena.

3.4 Lopputulokset

Asiakirjapohja saatiin laadittua ja sen lisäksi vinkkejä kertyi erillisen asiakirjan verran. Asiakirjapohja on moderni, siisti ja yrityksen nykyisen ilmeen mukainen. Se sisältää käyttöohjeet ja toteutusesimerkkejä, joten sen käyttö on vaivatonta ja toteutuu ennakoitavasti, mikä vahvistaa yrityksen yhtenäistä ilmettä asiakkaisiin päin. Lisäksi valmiin asiakirjapohjan olemassaolo helpottaa suunnittelijoiden työtä nyt ja tulevaisuudessa.

Työhön on käytetty todellisia rakennusvalvonnan hyväksymiä rakennushankkeissa käytettyjä lähteitä, joten suurella todennäköisyydellä myös nyt tuotettu asiakirjapohja on rakennusvalvonnan ja käytön kannalta hyväksyttävä. Asiakirjapohjaa ei ole vielä testattu rakennusvalvonnassa, joten täyttä varmuutta asiasta ei voi vielä olla.

Haastattelujen avulla taattiin se, että asiakirjaan sisälletyt asiat ovat oikeita ja tarpeellisia. Lisäksi haastattelujen avulla vähennettiin työn tekijän omaa tulkintaa asiakirjan sisällön tärkeyden määrittelyssä, tämä taas merkittävästi parantaa tuloksen luotettavuutta.

4 Asiakirjan rakenne

Jatkuvan sortuman riskiarvion laatimista on vaadittu vuodesta 2012 alkaen, ohjeet jatkuvan sortuman suunnittelulle sekä lainsäädäntö, jossa aiheesta kattavasti säädetään, tulivat vuonna 2017. Viranomaisilla ei ole esimerkki asiakirjaa tai sellaisen rakennetta jatkuvan sortuman riskiarvion laatimiseksi, joten tarve yrityksen sisäiselle ohjeistukselle on ilmeinen. [2. s.3] ja [12. s.73.]

Asiakirja on jaettu kappaleisiin ja se sisältää useita liitteitä. Varsinaisessa asiakirjassa kerrotaan yleisesti kohteen vaativuudesta sekä asiaa koskevista määräyksistä ja sääöksistä. Varsinaisessa osiossa selostetaan, miten jatkuvan sortuman estäminen on toteutettu kyseisessä kohteessa ja minkälaisia kuormia rakenteisiin kohdistuu.

Liitteissä on kohteen kattava riskianalyysi, kuvaus vaihtoehtoisista kuormansiirtoreiteistä, esitys sidevoimien toteutumisesta, selostus avainasemassa olevista rakenteista sekä dynaamisen kuorman määrittely.

4.1 Kohteen vaurionsietokyvyn varmistaminen

Ensimmäisen asiakirjan osuuden tavoitteena on kertoa yleisesti mitä määräyksiä ja säännöksiä jatkuvan sortuman hallinnassa tulee huomioida ja kuinka ne on huomioitu.

Kohteen vaurionsietokyvyn varmistamiseen käytettävissä olevat ja kyseiseen kohteeseen valitut ratkaisut esitellään yleisesti tässä osassa asiakirjaa.

Asiakirjan alussa esitellään jatkuvan sortuman kannalta huomion arvoisia rakenneratkaisuja. Osa parantaa ja osa heikentää rakenteen vakavuutta.

Sallitut vaurioitumisalueet sekä laskennassa käytettävät kuormat esitetään. Kuormien esittäminen ja niiden laskentaperusteiden kertominen on hyödyllistä sillä jatkuvan sortuman kuormat voivat ja usein poikkeavatkin, muista mitoitustilanteista.

CC3b-luokassa vaaditaan kaikkien alempien luokkien mukaiset suunnittelutoimet, yksityiskohtaisen tarkastelun lisäksi, joten niiden toteutuksesta kerrotaan tässä osassa.

Esimerkiksi rengassiteet ja sisäpuoliset, jatkuvat siteet laskenta-arvoineen esitellään tässä osassa asiakirjaa.

Jatkuvan sortuman tarkastelut tehdään yleensä vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien kautta, eli poistetaan rakenneosia kerrallaan mallinnuksen avulla ja tutkitaan, miten rakenne käyttäytyy. Tämän tarkastelun huomioista kerrotaan yleisesti tässä ja liitteissä kerrotaan tarkemmin erityisistä huomioista.

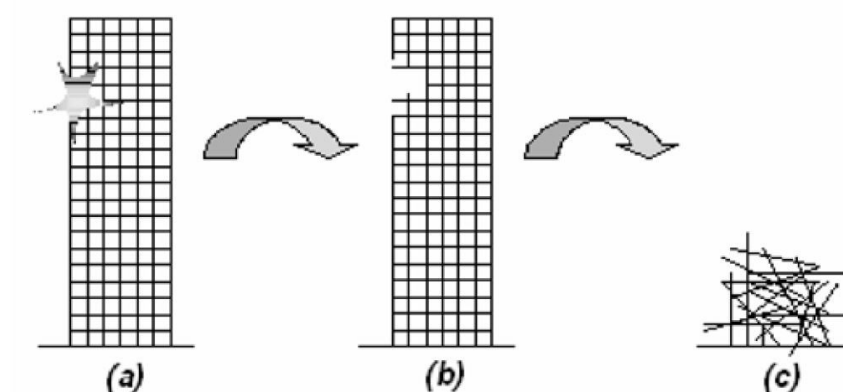
4.2 Riskianalyysi

Riskianalyysi on riskienkartoituksen prosessi, jossa käydään systemaattisesti läpi koko rakennejärjestelmä ja sen kaikki osat. Analyysissa arvioidaan mitä riskejä rakenteille kohdistuu ja kirjataan ylös toimenpiteitä, joilla riskiä pyritään pienentämään. [6. s.68.]

Riskianalyysissä tyypillinen toimintatapa on kirjata ylös riskit, arvioida riskin todennäköisyys ja riskin aiheuttama haitta. Riskin todennäköisyys ja riskin haitta yhteensä muodostavat riskin vakavuuden ja sen perusteella voidaan siirtyä pohtimaan toimenpiteitä, jotka ovat oikeassa suhteessa riskin vakavuuteen. [6. s.70.]

Riskianalyysien suorittamiseen on useita erilaisia menetelmiä ja tekniikoita, yleisin toteutustapa jatkuvan sortuman riskianalyysiin lienee kokemustiedon katselmukset ja tarkastuslistat, toisin sanoen työryhmätyöskentely ja riskien taulukointi. [2. s.51.]

Jatkuvan sortuman tapauksessa tunnistetaan riski, arvioidaan riskin tuloksena syntymä vaurio ja sen seuraukset, seurauksista voidaan arvioida rakenteen toimivuus vaurion jälkeen eli jatkuvan sortuman mahdollisuus ja laajuus. Kuvassa 9 Euronormien havainnollistava esitys riskianalyysin etenemisestä.



Kuva 9. Riskianalyysin vaiheet; a) riskin tunnistaminen, b) riskin aiheuttaman vaurion arviointi, c) vaurioituneen rakenteen toimivuuden arviointi. [6. s.80.]

Jatkuvan sortuman riskianalyysin suoritus voi poiketa perinteisestä riskianalyysistä; se on kohdistettu hyvin rajattuun aiheeseen, jatkuvaan sortumaan, jonka jokainen vaikutus on aina vakavuudeltaan merkittävä. Tällöin riskin tunnistamisen jälkeen ei tarvitse arvioida pitääkö riskiin reagoida, vaan jokaiseen tunnistettuun riskiin on reagoitava. Sen takia jatkuvan sortuman riskianalyysissä voi olla järkevää käydä välittömästi koko riskiarvio läpi, eli listataan riski ja esitetään suoraan ehkäiseviä toimenpiteitä.

Riskianalyysissä käydään läpi erilaisia kokonaisuuksia, joihin voi kohdistua yksilöllisiä riskejä:

- rakennuksen eri osastot,
- rakenneosatyyppien riskit,
- materiaalien riskit,
- ympäristön olosuhteiden riskit,
- sijainnin tuottamat riskit,
- sää olosuhteiden aiheuttamat riskit,
- työvaiheiden aiheuttamat riskit,
- Erilaisten vauriotyyppien aiheuttamat riskit ja
- inhimillisen erehdyksen aiheuttamat riskit.

Kaikille riskeille esitetään konkreettinen toimintasuunnitelma riskin pienentämiseksi. Riskianalyysin listaa ylläpidetään ja päivitetään koko rakennusprojektin ajan aivan kuten muitakin riskiarvio asiakirjoja rakentamishankkeissa.

4.3 Avainasemassa olevat rakenteet

Seuraavaksi asiakirjassa käydään läpi missä rakennuksessa on avainasemassa olevia rakenteita. Avainasemassa olevia rakenteita ovat ne, joita ei ole kohtuullisilla toimenpiteillä saatu korvattua köysirakenteella, ja joiden poistumisen yhteydessä vauriot ylittävät sallitut rajat. Avainasemassa olevat rakenteet suunnitellaan niin vahvoiksi, että ne kestävät onnettomuustilanteenkuormat murtumatta.

Korkeiden tai muuten massiivisten rakennuksien tapauksissa voi olla niin että avainasemassa olevat rakenteet ovat jo lähtökohtaisesti murto – tai käyttörajatilan asettamien vaatimuksen vuoksi niin jäykkiä, että voidaan vain laskennalla todeta, että niin vakavaan onnettomuuteen, että kyseinen rakenne ei kestäisi, ei tarvitse edes varautua.

4.4 Sidevoimat

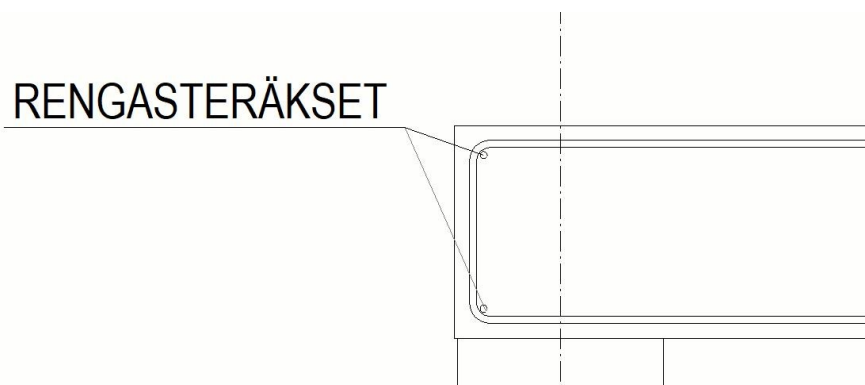
Sidevoimamenetelmää käytetään kaikissa jatkuvan sortuman mitoitustehtävissä. CC3b luokassa kaikki sidevoima vaatimukset ovat voimassa, joten asiakirjassa esitetään rengasiteiden, vaakasiteiden, pystysiteiden periaatteet sekä ulokkeiden tarkastelut.

Välipohjat ja yläpohjat sidotaan ristikkäisiin suuntiin menevillä siteillä sekä reunasiteillä. [3. s.38.]

Elementtien saumoihin tulee laittaa sideteräksiä, joilla ne voidaan sitoa jatkuvasti toisiinsa. [5. s. 3.]

Esimerkiksi betoniset välipohjat ja yläpohjat raudoitetaan ristiin sekä niiden reunoille laitetaan rengasteräkkeä. Rengasteräkkeä auttavat laattaa pysymään koossa, jos se muuttuisi yllättäen ulokkeeksi tai jäisi roikkumaan muista rakenneosista.

Kuvassa 10 on esitetty rengasteräksien sijainti laatan reunan poikkileikkauksessa. Rengassiteet koskevat kaikkia muitakin materiaaleja. Siteet voivat olla, vaikka teräs- tai alumiiniprofiileja tai puuta. [3. s.38.]



Kuva 10. Rengasteräksset kiertävät jatkuvana koko laatan.

Nämä siteet sijoitetaan mahdollisimman lähelle reunoja, pilari- ja seinälinjoja. Siteet tehdään jatkuviksi niin, että ne voivat toimia onnettomuustilanteessa korvaavana kuormansiirtoreittinä tai osana sitä. [3. s.38.]

Sidevoimille on annettu Rakentamismääräyskokoelmassa valmiit kaavat, joilla ne lasketaan.

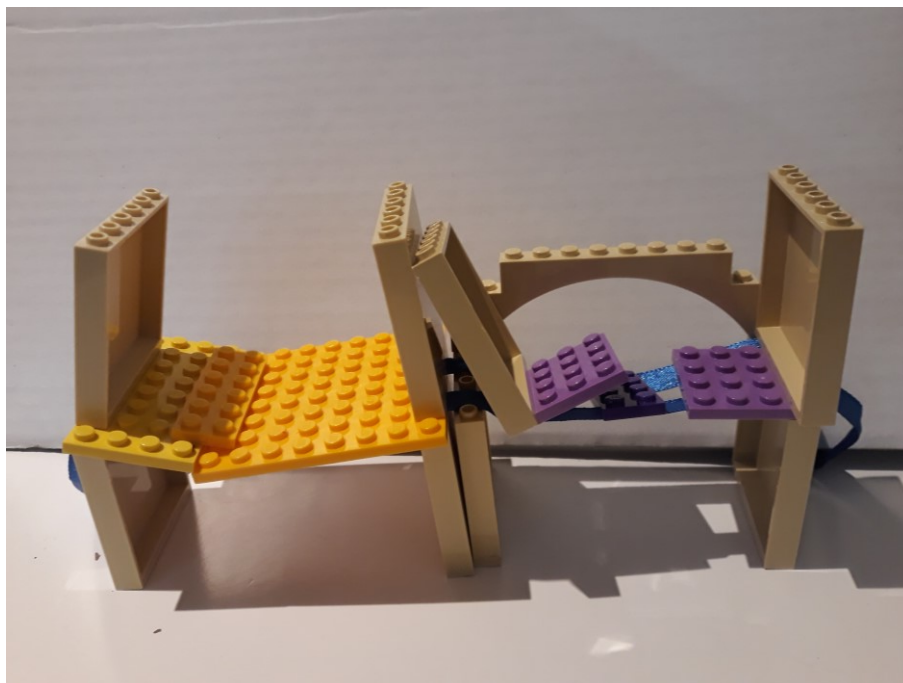
4.5 Köysivoimat

Tässä osassa asiakirjaa esitetään pääpiirteissään köysirakenteiden laskenta ja tulokset.

Vaihtoehtoisten kuormansiirtoreittien seurauksena osa rakenteista alkaa toimia köysirakenteena. Köysirakenne tarkoittaa, että rakenne siirtää kuormia eikä romahda, mutta sille on sallittu merkittäviä muodonmuutoksia eikä sen tarvitse enää olla käyttökelpoinen. Käytännössä riittää, että rakenneosa jää roikkumaan eikä kosketa alempana olevia rakenteita.

Kuvassa 11 on havainnollistettu köysirakennetta ja sidevoimia. Siniset osat ovat sidejärjestelmä, joka on ottanut vastaan välipohjan sortumasta syntyneet kuormat ja estänyt välipohjan osien romahtamisen. Välipohja on muuttunut köysirakenteeksi eli siihen on syntynyt merkittäviä muodonmuutoksia ja halkeamia, eikä se ole enää käyttökelpoi-

nen alkuperäiseen tarkoitukseensa. Tässä rakennelmassa ylemmän kerroksen seinäelementtien sidonta välipohjaan on ollut riittävä ja seinät ovat vain kallistuneet eivätkä kokonaan kaatuneet.



Kuva 11. Välipohja on vaurioitunut, mutta oikein mitoitettu sidejärjestelmä on estänyt jatkuvan sortuman muuttamalla välipohjat köysirakenteiksi.

Yleisesti voidaan todeta, että kaikki ontelolaatat ovat yhteen suuntaan kantavia, kun taas katot ja paikallavaletut betonilaatat ovat yleensä ristiin kantavia. Ristiin kantava rakenne siirtää kuormia ainakin kahdella akselilla.

4.6 Dynaaminen lisäkerroin

Dynaamisen lisäkertoimen laskenta ja käyttöperiaatteet esitellään tässä osassa. Dynaaminen lisäkerroin tai sysäyslisä on ylimääräinen kuorma, joka syntyy, kun rakenneosat liikkuvat.

5 Yhteenveto

Työssä kerättiin tietoa jatkuvan sortuman riskiarvion tekemisestä ja siihen liittyvistä hyvistä käytännöistä. Kirjallisuus- ja haastattelututkimuksena toteutetussa tutkimuksessa tuotettiin jatkuvan sortuman riskiarvion malliasiakirja sekä vinkkejä ja esimerkkejä sen täyttämiseen. Kirjallisuustutkimus osio tuotti materiaalia asiakirjan luomista varten ja haastattelut suuntasivat ja rajasivat aineiston käyttöä ja esittämistä.

Työn tarkoituksena oli luoda asiakirjapohja jatkuvan sortuman riskiarviolle, joka olisi helppo käyttöinen, sisältäisi viimeisimmän tiedon ja yrityksen sisällä opittuja parhaita käytäntöjä.

Asiakirja pohja nopeuttaa ja yhdenmukaistaa jatkuvan sortuman suunnittelua, säästäten näin resursseja ja vahvistaen suunnittelun laatua.

Työn lopputuloksena syntyi asiakirja, joka on selkeä ja helppokäyttöinen. Asiakirjassa on hyödyllisiä täyttöesimerkkejä, jotka tekevät sen käytöstä suoraviivaista.

Työn ansiosta yrityksellä on nyt yrityksen nykyisen ilmeen mukainen ajantasainen sähköinen asiakirjapohja. Lisäksi hiljaista tietoa on nyt koottu paperille, jolloin siitä pääsevät hyötymään useammat kuin ennen eikä sen katoaminen ole enää yhtä suuri riski.

Työn tavoitteiden ulkopuolelle rajattiin käyttäjätestaus sekä rakennusvalvontaviranomaisen arvio, eli asiakirjan laajamittainen käyttöönotto jäi vielä tulevaisuuteen.

Asiakirjan liitteeksi koottiin toinen dokumentti hyvistä suunnittelu käytännöistä jatkuvaan sortumaan liittyen, jolloin jatkuvan sortuman suunnittelutehtävien harvinaisuus ei enää aiheuta samanlaista riskiä käynnistymisen hitaudesta ja hiljaisen tiedon häviämisestä kuin ennen.

5.1 Pohdinta ja jatkokehitys

Jatkuvan sortuman peruseriaatteet ovat yllättävän yksinkertaisia; rakennuksien liikuminen ei ole toivottavaa, mutta niiden tulee olla joustavia, että ne eivät romahda yllättäen.

Käytännössä jatkuvan sortuman suunnittelu isoihin vaativiin kohteisiin on kuitenkin hyvin paljon ammattitaitoa ja aikaa vaativaa työtä. Esimerkiksi korkean tornitalon tapauksessa voi erilaisia kuormitusyhdistelmiä tulla useita satoja.

Työtä tehdessäni huomasin jälleen, että hyvien käytäntöjen jakaminen on yllättävän vaikeaa ja vaatii panostusta. Hiljainen tieto on yrityksen näkymätöntä valuttaa, jonka vaalimiseen tulisi käyttää nykyistä enemmän resursseja. Yhteisön ilmapiirillä on tähän varmasti ratkaiseva merkitys.

Seuraava aluevaltaus opinnäytetöiden saralla voisikin olla asiakirjojen jatkuvan päivittämisen käytäntöjen luominen ja jalkauttaminen.

5.2 Loppupäätelmät

Opinnäytetyö oli hieno ja opettavainen kokemus. Erityisesti näin monipuolisen ja haastavan aiheen parissa työskentely oli antoisaa. Pandemia aika toi omat haasteensa työn suorittamiseen, mutta toisaalta antoi myös sysäyksen haastattelujen tallentamiseen, mikä osoittautui työn tekemisen kannalta todella hyväksi ratkaisuksi.

Opin työtä tehdessäni jatkuvan sortuman lisäksi ohjeiden laatimisesta ja itsestäni. Lisäksi pääsin oppimaan uutta työn tilaajayrityksen sekä koulun kulttuurista ja toimintatavoista. Asiakirjapohjan tekeminen oli mielekästä ja selkeää ja sille oli selvästi tilausta. Uskon, että vastaavanlaisia hankkeita tehdään jatkossakin.

Yritys sai työn tuloksena hyvin käyttökelpoisen työkalun ja hyvien käytäntöjen kirjaaminen sujuvoittaa ja yhtenäistää suunnitteluprosessia. Tämän työn ansioista osa hiljaisesta tiedosta on tuotu näkyviin ja jokaisen on hieman helpompaa aloittaa vaativan kohteen jatkuvan sortuman riskiarvion laatiminen.

Lähteet

- 1 Sweco oy:n verkkosivut <<http://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>>. Viitattu 6.11.2020 16:43
- 2 RIL 201-4-2017 (2017) Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteissa. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 3 Suomen rakentamismääräyskokoelma (2016) Rakenteiden lujuus ja vakaus. Verkkojulkaisu. Ympäristöministeriö
- 4 Kuva CC0. <Pixabay.com>
- 5 Betoninormikortti 23. (2012) Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN 1991-1-7 Yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan. Verkkojulkaisu. Suomen Betoniyhdistys ry
- 6 SFS-EN 1191-1-7 (2014) Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. Verkkojulkaisu. Rakennustuoteteollisuus RTT ry
- 7 Markus Säynevirta CC BY 4.0 . <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>. Kuva. via Wikimedia Commons
- 8 RIL 201-1-2017 (2017) Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 9 RIL 241-2016 (2016) Erityismenettelyn soveltaminen – rakennuksen turvallisuus, terveellisyys ja kulttuurihistorialliset arvot. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 10 Dani Eranka. (2015) Jatkuva sortuma betonirakenteissa. Opinnäytetyö. Verkkojulkaisu. Helsinki. Metropolia Ammattikorkeakoulu Viitattu 6.11.2020 klo 14:55
- 11 Helena Säteri (2015) Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista. Helsinki. Ympäristöministeriö
- 12 Juha Valjus (2017) Rakenteiden vaurionsietokyvyn varmistaminen onnettomuustilanteissa. Betoni-lehti 3/2017 s.70-73 Betoni ry
- 13 Seppö Mölsä (2016) Näin luottamus rakennusinsinöörien osaamiseen romahti – onnettomuustutkinnan suosituksille viitattiin kintaalla. Rakennuslehti. Verkkojulkaisu. < <https://www.rakennuslehti.fi/2016/06/nain-luottamus-rakennusinsinöörien-osaamiseen-romahti-onnettomuustutkinnan-suosituksille-viitattiin-kintaalla/>> Viitattu 6.11.2020 klo 16:45
- 14 Lapsen kuolemaan johtanut ratsastusmaneesin sortuminen Laukaassa 13.2.2013 (2013) Verkkojulkaisu. Onnettomuustutkintakeskus Viitattu 6.11.2020 16:55
- 15 Monitoimihallin katon vaurioituminen Mustasaassa 17.1.2003 Messuhallin katon romahtaminen Jyväskylässä 1.2.2003 (2003) Verkkojulkaisu. Onnettomuustutkintakeskus

- 16 Täystuho Pietarissa: jääkiekon MM-kisoja varten remontissa olleen areenan katto romahti, yksi työntekijä kuoli – katso dramaattinen video (2020) Verkkajulkaisu. < <https://yle.fi/urheilu/3-11187907>> Yle Uutiset. Viitattu 6.11.2020 17:01
- 17 서울특별시 소방재난본부- CC BY-SA 4.0, Kuva. via wikimedia commons
- 18 Tae Won Park (2012) Inspection of collapse cause of Sampoong Department store. Forensic Science International-lehti nro. 217 s.119-126
- 19 Korkean rakentamisen rakentamistapaohje 2018 (2018) Ohjekortit. Helsingin rakennusvalvonta

Jatkuvan sortuman uhkia koskevien riskien analyysi - mallilomake

Riski	Toimenpide
Rakenne on toteutettu tekniikoilla, joilla ei voida toteuttaa vaihtoehtoista kuormasiirtoreittiä.	Valitaan tekniikat joilla vaihtoehtoiset kuorman siirtoreitit ovat mahdollisia
Rakenne sisältää kriittisiä osia, joiden vaurio johtaa merkittäviin seurauksiin.	Mitoitetaan kriittiset osat avainasemassa olevina rakenteina. Pyritään välttämään kriittisiä osia suunnittelussa.
Rakenteessa on liitos, johon vaikuttaa ylisuuri kuorma verrattuna mitoitukseen.	Tarkastetaan liitosten käyttöasteet.
Rakenne sisältää poikkeuksellisia hitsausliitoksia.	Terässuunnittelija tarkastaa hitsausliitokset, ainoastaan suunnitelman mukaiset liitokset ovat sallittuja.
Tasokehänä mitoitettu rakenne ei pysy tasossaan onnettomuustilanteessa.	
Rakenteessa on nivelliitoksia, joihin voi syntyä taivutusmomentti.	

Rakenteessa on standardiliitososia, jotka eivät toimi onnettomuustilanteessa kuormaa siirtävinä siteinä.	
Onnettomuuden sattuessa yksittäiset osat joutuvat merkittävälle kuormitukselle, jota ei ole huomioitu.	
Valituilla rakennusmateriaaleilla ei ole plastista muodonmuutoskykyä.	
Liitokset on mitoitettu vain kestävyydelle eikä sitkeyttä tai vaurionsietokykyä ole huomioitu.	
Liitoksissa on nurjahdus/lommahdus tai leikkauslävistys vaaraa.	
Rakenne sisältää palkkeja, jotka kantavat pilareita ja seinälohkoja.	
Tuulikuormissa ei ole huomioitu rakennuspaikan korkeusasemaa tai muuta ilman liikkumiseen vaikuttavia seikkoja.	

Tuulen paineesta aiheutuu rakeen merkittäviä paine-eroja rakennuksen muodon takia.	
Tuulikuorma standardin mukaisia tuulen dynaamisia tarkasteluja ei ole tehty.	
Rakennuksen hoikkuus on suuri, mutta rakennekuormia ei ole vaimennettu.	
Rakennuksen jäykkyys eri osissa on erilainen, alakerrassa parkkihalli ja ylhäällä asuintorni.	
Hankkeen mittakaavassa, osien korkeudessa ja laajuudessa ei ole huomioitu henkilöturvallisuutta.	
Rakenteen valmiin osan käyttöturvallisuutta ei ole huomioitu.	
Rakennuksen ympäristön turvallisuutta ei ole huomioitu.	