

Marko Puhakka

# Korkeiden asuinrakennusten suunnittelun perusteita

Opinnäytetyö  
Rakennustekniikka

2017



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Marko Puhakka	Insinööri AMK	Toukokuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Korkeiden asuinrakennusten suunnittelun perusteita		48 sivua 0 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Wise Group Finland OY		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Juha Karvonen, Lehtori Jani Pitkänen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehdyttää tekijänsä ja lukijansa korkean rakennuksen perusteisiin. Tutkimus on ajankohtainen, koska korkea rakentaminen on lisääntymässä Suomessa, ja osaavia korkean rakentamisen suunnittelijoita on suhteellisen vähän saatavilla. Korkean rakentamisen toimintamalleja ja sääntöjä kehitetään sitä mukaa, kun korkeaa rakentamista suoritetaan. Korkeaan rakentamiseen liittyvät mitoitustavat ovat joiltakin osin vielä keskeneräisiä, mutta yhtenäistä normitasosuunnittelua kehitetään kokoajan.</p> <p>Tämä opinnäytetyö on tutkimustyö korkeiden rakennusten suunnitteluun liittyvistä perusasioista ja erityispiirteistä. Tutkimuksessa käsitellään ensin rakennuskohteiden vaativuusluokkia ja suunnittelijoiden pätevyysvaatimuksia ja tehtäviä korkeissa rakennuskohteissa. Sitten tutkimuksessa perehdytään perustermistön avulla korkean rakentamisen erityispiirteisiin ja vaatimuksiin mm. laadunvarmistuksen, työturvallisuuden ja itse suunnitteluun ja mitoitukseen. Viimeisimpänä tutkimuksessa on esitelty korkean rakennuksen turvallisuuden, stabiliteetin ja kestävyuden todentamiseen liittyviä tällä hetkellä käytössä olevia mitoitustekniikoita ja -periaatteita. Tutkimus esittelee aiheen pintapuolisesti, mutta kertoo myös, mistä löytyy aiheeseen liittyvää lisätietoa. Tutkimuksen aikana esiin tulleita lisäselvitystä vaativia kohtia on pohdittu pintapuolisesti tekstissä ja pohdintaosiossa.</p> <p>Kirjallisuustutkimukseen on käytetty Suomenvaltion ja Helsingin rakennusvalvonnan tekemiä ohjeita ja säännöksiä, joita sovelletaan kohdekohtaisesti tämän päivän korkeassa rakentamisessa. Tutkimusta on täydennetty kokeneilta rakennesuunnittelijoilta saaduilla ohjeilla ja mielipiteillä. Mitoitusperiaatteet ovat kokemuksen mukana tulleita toimintamalleja, joiden tueksi tietoa on etsitty lähinnä Eurokoodi-standardista ja hieman myös kansainvälisestä ISO-standardista.</p> <p>Tutkimus sopii hyvin luettavaksi ennen osallistumista ensimmäiseen korkean rakennuskohteen suunnitteluun ja se toimii myös muistilistana asioista, joita on huomioitava suunniteltaessa korkeaa rakennusta.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
rakennesuunnittelu, korkeat asuinkerrostalot, etabs, perusteet		

Author (authors)	Degree	Time
Marko Puhakka	Bachelor of Engineering	May 2017
<b>Thesis Title</b> Basics of High building design		48 pages 0 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>  Wise Group Finland OY		
<b>Supervisor</b>  Juha Karvonen, Senior Lecturer; Jani Pitkänen, Senior Lecturer		
<p data-bbox="148 790 284 819"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="148 826 1390 1077">This thesis is meant to orientate its readers to the basics of the high building. This thesis is timely because high building construction industry is increasing in Finland, and in Finland there are only few people who are competent to design high buildings. The procedures and practices in high building construction are developed all the time when high buildings become more common. Calculations of load-bearing structures are open to interpretation nowadays, but uniform designing systems are developing all the time towards the standardization level.</p> <p data-bbox="148 1122 1382 1408">This thesis is a research about the basics and the specialties of the high building construction. First, this research considers requirement categories of a building, the designer's qualifications, and tasks in the high building construction. Then this research considers high building specialties with the basic terms. Last, currently used principles and designing techniques for the verifying the permanence and the safety are presented. This thesis is a scratch to the surface of the high building design, but it also tells where to find more detailed information. Observations which have been made during this thesis have been discussed in this research.</p> <p data-bbox="148 1453 1386 1740">Research methods in this thesis are instructions of experienced structural designer's, Illustrative learning, and literature research. The literature is used in this research is available for the commissioner company. The literature research has also used guidelines and rules made by the Finnish government and municipalities. Guides and rules are suited to the construction projects nowadays. Principles and designing techniques which is shown in this thesis is mostly found with experience. To support the experience in this thesis, information found in the European and international standardization systems (SFS-EN) (ISO, International Standardization Organization) has been used.</p> <p data-bbox="148 1785 1382 1888">The thesis provides guidelines before the first high building construction design, and it also works as a checklist that everything has been taken into account in the high building construction design.</p>		
<p data-bbox="148 1964 304 1993"><b>Keywords</b></p> <p data-bbox="148 2000 810 2029">Structural design, High Building, Etabs, Basics</p>		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	LAINSÄÄDÄNTÖ, VAATIMUKSET JA VALVONTA.....	7
2.1	Rakennushankkeen tehtävien vaativuusluokat korkeassa rakennuksessa.....	8
2.2	Rakennushankkeen osapuolten kelpoisuus.....	8
2.3	Osapuolten tehtävät rakennushankkeessa .....	9
2.4	Erytymenettely .....	10
3	KORKEAN RAKENNUKSEN ERITYISPIIRTEITÄ .....	12
3.1	Hoikkuus .....	12
3.2	Suuret kuormat .....	12
3.3	Jäykistysmenetelmä .....	13
3.4	Seuraamukset.....	13
3.5	Laadunvarmistus .....	14
3.6	Työturvallisuus.....	15
3.7	Huolto .....	16
3.8	Paloturvallisuus.....	16
3.9	Detaljisuunnittelussa huomioitavia asioita.....	20
3.10	Elementointi .....	23
3.11	Värähtely.....	23
3.12	Tuulitunnelikokeet.....	25
4	RAKENTEIDEN MITOITUS KORKEASSA TERÄSBETONISESSA ASUINKERROSTALOSSA .....	27
4.1	Alustava luonnossuunnittelu .....	27
4.1.1	Rakennejärjestelmän ja jäykistysmenetelmän valinta .....	29
4.1.2	Pohjaratkaisut ja alustava suunnittelu .....	30
4.2	Perustusten suunnittelu .....	31
4.3	Kantavien ja jäykistävien pystyrakenteiden mitoitus .....	32
4.4	Onnettomuustarkastelut.....	39

4.5	Käyttörajatila .....	41
4.6	Halkeilun, viruman ja kutistuman merkitys .....	41
4.7	Palomitoitus .....	42
4.7.1	Pilarit .....	43
4.7.2	Seinät .....	44
4.7.3	Laatat .....	45
4.8	Käyttöikä .....	45
5	POHDINTA .....	47
	LÄHTEET .....	48

## 1 JOHDANTO

Korkeita rakennuksia on rakennettu Suomessa vielä suhteellisen vähän. Tällä hetkellä Suomen korkein yöpymiskäytössä oleva rakennus on Hotelli Torni Tampereella. Hotelli Torni on 88 m korkea ja siinä on 25 kerrosta. Suomen korkein asuinrakennus on Cirrus Helsingin Vuosaarella, se on 87.5 m korkea ja siinä on 26 kerrosta. Suomessa on vain 22 yli 50 m korkeata asuinkerrostoaloo, mutta suunnitteilla on kymmeniä lisää ja rakennusten korkeuskin on kasvussa. Esimerkiksi Helsingin kalasatamaan on suunnitteilla 130-metrinen tornitalo.



Kuva 1. Cirrus-torni on Suomen korkein asuinkerrostalo. (Kuva: Mika Ranta, Helsingin sanomat)

Maailman mittakaavassa suomalaiset tornitalot ovat vielä todella vaatimattomia. Maailman korkein asuin- ja toimistorakennus on Dubaissa sijaitseva Burj Khalifa, sen katto on 636 m:n korkeudella ja kokonaisuudessaan se ulottuu 828 m korkeuteen.

Korkea rakentaminen yleistyy Suomessa koko ajan. Uusia korkean rakentamisen toimijoita tulee lähitulevaisuudessa paljon lisää. Myös suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden osaaminen kasvaa. Korkean rakentamisen toimintamallit ja mitoitusperiaatteet ovat kehittymässä ja siksi on syytä tehdä selvitystä tämän hetken käytännöistä.

Tässä opinnäytetyössä perehdytetään korkean rakentamisen lainsäädännöllisiin ja periaatteellisiin perusteisiin. Tämä tutkimus selvittää myös korkean asuinkerrostalon mitoitusta koskevia perusasioita. Tutkimusta voi käyttää kokemattoman korkean rakentamisen toimijan perehdyttämiseen korkean rakennuksen alkeisiin ja periaatteisiin. Tutkimuksessa tartutaan myös jossain määrin mitoituksellisiin ongelma-kohtiin.

Tutkimus perustuu pääosin kirjalliseen tietoon määräyksistä ja periaatteista. Muita tutkimukseen käytettäviä malleja on insinööri ja konsulttitoimisto Wise Group Finland OY:stä saatava kokeneiden rakennesuunnittelijoiden antama asiantuntijaneuvonta sekä tekijän omakohtaisten havaintojen ja opittujen asioiden käyttö kokonaisuuden luomiseen.

## 2 LAINSÄÄDÄNTÖ, VAATIMUKSET JA VALVONTA

Suomen rakennushankkeissa toteutetaan Suomen ympäristöministeriön määrittelemiä Maankäyttö- ja rakennuslakeja, sekä lakien tueksi määriteltäviä Ympäristöministeriön asetuksia. Ympäristöministeriö on laatinut ohjeita, jotta lakeja ja asetuksia sovellettaisiin yhtenäisesti.

Rakennushankkeen lakien ja ohjeiden toteuttamisesta on vastuussa rakennushankkeen alullepanija. Rakennushankkeen laillisuutta valvoo kunnan rakennusvalvontaviranomainen.

## 2.1 Rakennushankkeen tehtävien vaativuusluokat korkeassa rakennuksessa

Rakennushankkeen tehtävien vaativuusluokat eri tehtävien osalta on esitetty julkaisussa: YM1/601/2015. Laissa määritetyt rakennushankkeen tehtävien vaativuusluokat ovat vähäinen, tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa

Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaan rakennuksen korkeus ja kerroslu-ku vaikuttaa suoranaisesti vain arkkitehdin (pääsuunnittelijan), rakennesuunnittelijan (kantavien rakenteiden suunnittelijan) ja vastaavan työnjohtajan rakennushankkeeseen kuuluvien tehtävien vaativuusluokituksiin. Epäsuorasti sillä voi olla merkitystä esimerkiksi pohjarakennesuunnittelijan tehtävien vaativuusluokituksiin (korkea talo → poikkeuksellisen suuret kuormat → poikkeuksellisen vaativa pohjarakennesuunnittelu tehtävä).

Ympäristöministeriön ohjeen mukaan vastaavan rakennesuunnittelijan tehtävä rakennushankkeessa on poikkeuksellisen vaativa jos rakennuksessa on vähintään 12 betoni, teräs tai liittorakenteista kerrosta tai vähintään 8 puurakenteista kerrosta. Arkkitehdin ja vastaavan työnjohtajan tehtävät rakennushankkeessa ovat poikkeuksellisen vaativia, jos rakennuksessa on vähintään 16 kerrosta.

## 2.2 Rakennushankkeen osapuolten kelpoisuus

Rakennushankkeen suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimukset on esitetty julkaisussa YM2/601/2015. Rakennussuunnittelijoiden ja erityissuunnittelijoiden, joihin rakennesuunnittelijan tehtävät kuuluvat, oletetaan olevan kykeneviä hoitamaan poikkeuksellisen vaativan tehtävän, kun he ovat suorittaneet kyseessä olevaan suunnittelutehtävään soveltuvan ylemmän korkeakoulututkinnon (ylempi AMK tai yliopisto), hankkineet kuuden vuoden kokemuksen vähintään vaativista suunnittelutehtävistä valmistumisen jälkeen, sekä suorittaneet rakennusmateriaalikohtaisesti vaaditut opinnot.

Samaan rakennushankkeeseen voi kuulua eri vaativuusluokkiin kuuluvia suunnittelutehtäviä. Pääsuunnittelijan (yleensä arkkitehti) on täytettävä kelpoisuusvaatimukset rakennuksen vaativimman suunnittelutehtävän mukaan. Kuitenkin esimerkiksi pääkaupunkiseudun rakennusvalvonnan tulkinnan mukaan



erityissuunnittelijan tehtävän vaativuusluokka ei välttämättä vaikuta pääsuunnittelijan pätevyysvaatimuksiin, jos kyseessä oleva erityissuunnittelijan tehtävä ei vaikuta pääsuunnittelijan tehtävien ja huolehtimisvelvollisuuden suorittamiseen.

Pääsuunnittelijan ja vastaavan rakennesuunnittelijan pätevyudet todennetaan erityisen tarkasti ja erityismenettelyn mukaisesti, kun kyseessä on korkea rakennus eli poikkeuksellisen vaativa kohde. Vastuullisen rakennesuunnittelijan lisäksi määritellään kustakin rakennusmateriaalista vastuussa oleva rakennesuunnittelija, jolla on kyseisestä materiaalista AA-luokan suunnittelijan pätevyudet. (Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa ohjekortti A2-3.)

### 2.3 Osapuolten tehtävät rakennushankkeessa

Rakennushankkeen osapuolilla on omat tehtävänsä ja vastualueensa, jotka on määritelty ohjeistuksissa ja asetuksissa. Rakennushankkeen alullepanija vastaa, että koko hankkeen ja jokaisen sen osan suunnittelu ja toteutus on säännösten, määräysten ja rakennusluvan mukainen.

Rakennushankkeeseen ryhtyvä on vastuussa mm. siitä, että urakoitsijoilla ja suunnittelijoilla on riittävät resurssit ja pätevyudet, sekä että heidän hankekohdaiset pätevyytensä ovat kunnossa. Rakennushankkeeseen ryhtyvä hoitaa tarpeellisen määrän valvojia ja tarkastajia ja huolehtii laadunvarmistuksesta, sekä mahdollisista erityismenettelyn toimenpiteiden toteuttamisesta. Rakennushankkeeseen ryhtyvä vastaa virheistä ja lain laiminlyönneistä viranomaiselle ja koko Suomen kansalle.

Kunnan rakennusvalvontaviranomainen valvoo rakennushanketta luvanvaraisen rakennustyön aloituksesta loppukatselmukseen. Viranomaisvalvonta koskee vain työtä, joka tarvitsee viranomaisen luvan tai hyväksynnän. Viranomaisen määrittää valvonnan laajuuden.

Pääsuunnittelijan tehtävänä on organisoida suunnitelmia. Hän varmistaa että suunnitelmien tekoon on varattu riittävä määrä aikaa ja riittävät, ristiriidattomat lähtötiedot. Pääsuunnittelija sovittaa yhteen erikoissuunnitelmat ja tiedottaa suunnittelijoita suunnitelmarajoista.

Vastaava rakennesuunnittelija on vastuussa rakennesuunnitelmien kokonaisuudesta sekä kaikkien rakennesuunnitelman osien lähtötietojen toimittamisesta suunnittelijoille. Hän vastaa myös suunnitelmien toteuttamisesta ja yhteensovittamisesta. Vastaavan rakennesuunnittelijan on hyväksyttävä kaikki rakennesuunnitelmien osat ja osallistuttava toteutuksen tarkastuksiin ja valvontaan ennalta sovitussa laajuudessa. Hän on vastuussa rakenteellisen turvallisuuden varmistustoimenpiteiden toteuttamisesta. (Helsingin kaupungin Rakennusvalvontaviraston ohje erityismenettelystä.)

Korkean rakentamisen kohteessa vastaava rakennesuunnittelija kytketään kohteeseen jo luonnossuunnitteluvaiheessa, koska hänen pitää todeta rakenteiden toteutuskelpoisuus ja osoittaa se jo ennakkoneuvotteluissa rakennelaskelmien ja suunnitelmien avulla. Myös rakenteita koskevat luonnossuunnitelmat hyväksytetään ulkopuolisella tarkastajalla. Rakennesuunnittelijan pitää esittää valvontaviranomaiselle stabiliteettia sekä runkoa ja perustuksia koskevat lujuuslaskelmat ennakkoneuvotteluiden aikana. Korkeissa kohteissa rakennesuunnittelijan on esitettävä tarkastelut jatkuvan sortuman estämisestä, työnaikaisten tilanteiden laskelmista sekä rungon ja vaipparakenteen dynaamiset tarkastelut. Työpiirustukset täytyy hyväksyttää ulkopuolisella tarkastajalla rakennesuunnitelmien osalta ennen viranomaiskäsittelyä. (Helsingin kaupungin Rakennusvalvontaviraston ohje erityismenettelystä.)

Ulkopuoliselta tarkastajalta vaaditaan joko AA-tarkastajapätevyys tai suunniteltavan kohteen AA-suunnittelijapätevyys. Ulkopuolinen tarkastaja laatii tarkastusraportit suunnitellussa laajuudessaan ja mahdolliset vertailulaskelmat ja toimittaa ne rakennusvalvontaan ennen lupavaihetta. (Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa, ohjekortti A2-7.)

## 2.4 Erityismenettely

Kaikissa yli 16-kerroksisissa kohteissa ja tapauskohtaisesti myös matalammassa kohteissa Helsingissä, Espoossa, Vantaalla ja Kauniaisissa toteutetaan erityismenettelyä. Erityismenettely alkaa kun rakennushankkeeseen ryhtyvä valitsee pääsuunnittelijan ja he yhdessä määrittelevät luonnosvaiheessa hankkeen vaativuustason suunnittelualoittain. Sitten nimetään vaativuustason mukaiset erityissuunnittelijat ja vastaava rakennesuunnittelija tekee alustavan

riskiarvion kohteen rakenteellisesta turvallisuudesta yhdessä pääsuunnittelijan kanssa. Alustavan riskiarvion allekirjoittavat vastaava rakennesuunnittelija, pääsuunnittelija ja rakennushankkeen alullepanija. Vastaava rakennesuunnittelija esittelee rakenteellisen turvallisuuden alustavan riskiarvion luonnossuunnitteluvaiheessa rakennusvalvontaviranomaiselle ja he yhdessä laativat kohteen riskianalyysin. (Helsingin kaupungin Rakennusvalvontaviraston ohje erityismenettelystä.)

Tässä vaiheessa rakennushankkeeseen ryhtyvä määrittää alustavan rakenteellisen riskiarvion ja riskianalyysin pohjalta erityismenettelytoimenpiteet ja niiden laajuuden. Erityismenettely toimenpiteitä ovat mm.:

- Suunnittelijoiden ja työnjohtajien pätevyyksien ja resurssien erityinen varmistaminen
- Laadunvarmistus selvityksen (suunnittelu ja/tai toteutus) laatiminen
- Erityissuunnitelmien ulkopuolinen tarkastus
- Valmisosien valmistuksen ja/tai asennuksen ulkopuolinen tarkastus
- Työmaatoteutuksen ulkopuolinen tarkastus
- Suunnittelijoiden tehostettu työmaatoteutuksen tarkastaminen
- Tehostettu käytönaikainen seuranta ja huolto.

(Helsingin kaupungin Rakennusvalvontaviraston ohje erityismenettelystä 2014.)

Kaikki edellä mainitut kohdat sisällytetään rakennuslupahakemukseen. Valvontaviranomainen voi määrätä erityismenettelytoimenpiteitä kohteisiin tai sen osiin, joihin hankkeeseen ryhtyvä ja suunnittelijat eivät ole sitä esittäneet lupahakemuksessaan. (Helsingin kaupungin Rakennusvalvontaviraston ohje erityismenettelystä.)

Hankkeen edetessä riskianalyysia tarkennetaan ja erityismenettelytoimenpiteitä voidaan tarkentaa. Erityismenettelyn toteuttamista valvotaan koko toteuttamisen ajan. Erityismenettely toimenpiteiden toteutuminen kuitataan kaikkiin tarvittaviin ennalta määriteltyihin virallisiin asiakirjoihin erityismenettelyn toteutumisesta vastuussa olevien henkilöiden toimesta. Lopuksi erityismenettelyssä erikseen määritellyt tarkastuspöytäkirjat ja lausunnot toimitetaan rakennusvalvontaan. (Helsingin kaupungin Rakennusvalvontaviraston ohje erityismenettelystä.)

### 3 KORKEAN RAKENNUKSEN ERITYISPIIRTEITÄ

#### 3.1 Hoikkuus

Kuten pilarin hoikkuus, myös rakennuksen hoikkuus on sidoksissa sen korkeuteen ja poikkileikkaussuureisiin. Korkeilla rakennuksilla on siis suurempi hoikkuus. Suurempi hoikkuus aiheuttaa rakennukseen monia ongelmia etenkin jäykistyksen osalta. Rakennuksen kantavat ja jäykistävät rakenneosat määrittävät rakennuksen poikkileikkaussuureet. Rakennuksen poikkileikkaussuureisiin vaikuttaa valittu jäykistysmenetelmä.

Sydänjäykistetyissä (mastojäykistetyissä) rakennuksissa on suhteellisen suuri hoikkuus ja jäykistäviin seiniin aiheutuu helposti haitallisia pystysuuntaisia vetorasituksia.

Ristikkojäykistetyissä rakennuksissa voidaan päästä pienempiin hoikkuuksiin jos kantavien rakenteiden massaa viedään kauas toisistaan, mutta tämä johtaa siihen että jäykisteristikoille tulee suurempia kuormia.

Kantavat ja jäykistävät ulko- ja väliseinät järjestelmässä voidaan päästä jopa 40 kerrokseen asti ilman haitallisia vetorasituksia. Mitä korkeampi rakennus on, mitä lähempänä toisiaan sen kantavat ja jäykistävät seinät ovat ja mitä vähemmän kantavia ja jäykistäviä seiniä on, niin sitä suurempi on rakennuksen hoikkuus. Tämä on yleensä hoikkuuden kannalta helpoin ja edullisin menetelmä etenkin betonirakenteisiin asuinkerrostaloihin.

#### 3.2 Suuret kuormat

Korkeilla rakennuksilla on luonnollisesti suuret pystykuormat etenkin alemmissä kerroksissa, koska kantavat rakenteet keräävät pystykuormia kaikilta yläpuolisilta rakenteilta koko rakennuksen korkeudelta. Korkeilla rakennuksilla on myös suuremmat vaakavoimat, kuin matalammilla. Jäykistyksen ja stabiliteetin mitoittamiseen käytettävä kokonaistuulikuorman arvo on riippuvainen rakennuksen korkeudesta. Kantavien rakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös epäkeskisyyksistä johtuvat lisävaakavoimat, jotka ovat verrannollisia pystykuormiin. Suuret pysty- ja vaakavoimat aiheuttavat rakennuksen kanta-

viin ja jäykistäviin rakenteisiin suuria normaali- ja leikkausvoimia, sekä suuria siirtymiä ja värähtelyjä, jotka saattavat muodostua ongelmallisiksi.

### 3.3 Jäykistysmenetelmä

Korkeiden rakennusten jäykistystavan valintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota. Korkean asuinkerrostalon luonnollisin jäykistystapa on valinta kantavat ja jäykistävät ulko- ja väliseinät, sekä paikalla valetut välipohjat. Tässä jäykistystavassa kaikki seinät toimivat jäykistävinä levyrakenteina. Asuinkerrostalossa on joka tapauksessa väliseiniä ja yhtenäinen kuorirakenne, jolloin on luontevaa käyttää väliseiniä ja ulkoseiniä kantavina ja jäykistävinä rakenteina. Paikalla valettu ristiin kantava välipohja on parempi vaihtoehto jäykistykseen kannalta kuin elementtirakenteinen jäykkyytensä ansiosta. Se siirtää ja jakaa paremmin ongelmallisia vaakakuormia. Ristiin kantava laatta mahdollistaa myös kaikkien seinien hyväksikäytön jäykistyksessä ilman jäykistysuunnittelun kannalta haitallisia pystysuuntaisia vetorasituksia.

Muita jäykistysvaihtoehtoja on mm. sydänjäykistys ja ristikkojäykistys. Sydänjäykistys tarkoittaa yleensä jäykistävästä hissikuilua. Tätä jäykistystapaa käytettäessä välipohjalta vaaditaan erityistä jäykkyyttä, koska se saattaa joutua siirtämään vaakakuormia pitkiäkin matkoja jäykistävälle sydämelle. Ristikkojäykistystä käytetään yleensä pilari-, palkkirungon kanssa ja se soveltuu paremmin teräsrakenteiseen kantavaan runkoon, koska se vaatii rakenteilta suurta vastustuskykyä muodonmuutoksille. Sydänjäykistystä ja ristikkojäykistystä voi käyttää luontevasti yhdessä ja ne soveltuvat hyvin rakennuksiin, joissa on suuria jännevälejä kuten esim. toimistorakennuksiin.

### 3.4 Seuraamukset

Rakenteet ja rakennukset luokitellaan mahdollisen vaurion seuraamusten perusteella kolmeen luokkaan. Suuren riskin tapauksissa edellytetään rakenteilta myös suurempaa luotettavuutta. Tämä otetaan huomioon korottamalla epäedullisten kuormien osavarmuuskertoimia kuormakertoimen  $K_{FI}$  avulla. Rakennukset jaetaan seuraamusluokkiin CC1, CC2 ja CC3. Näistä rankin on CC3. Kaikki yli 8-kerroksiset asuin-, konttori- ja liikerakennukset kuuluvat seu-

raamusluokkaan CC3. Luokassa CC3 käytetään epäedullisia mitoituskuormia lisäävää kuormakerrointa  $K_{FI}=1,1$ . Kaikki CC3-luokan rakenteet kuuluvat toteutusluokkaan 3. Toteutusluokka vaikuttaa työmaalla tehtävään työhön. Suuri toteutusluokka lisää vaatimuksia työn osalta (Wise Group Finland OY 2012.)

Taulukko 1. Seuraamusluokat (EN 1990 + A1 + AC, Taulukko B1)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset hengenmenetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset hengenmenetysten tai <b>merkittävien</b> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset hengenmenetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

### 3.5 Laadunvarmistus

Korkeat rakennukset ovat riskirakenteita kuormien ja staattisten ominaisuuksiensa takia. Korkeissa rakennuksissa on useita laadunvarmistustoimenpiteitä, joita ei matalammassa ole. Laadunvarmistus konkretisoituu mm. tarkempana viranomaisvalvontana ja erityismenettelytoimenpiteinä, joita on esim. riskianalyysin pohjalta sovittu tai määrätty, kohdistettu ulkopuolinen tarkastus. Rakennuksen korkeus lisää myös suunnittelukokouksien, työmaakokouksien ja työmaatarkastuksien määrää.

Rakennuksen korkeuden lisääntyessä, lisääntyy myös kaikki vaatimukset. Osapuolten tekemät ja niiltä vaaditut tarkastuspöytäkirjat, lausunnot, analyysit ja arviot takaavat kohteen riskipaikkojen moniulotteisen tarkastelun ja laadunvarmistuksen, sekä virheiden minimoimisen. Korkean rakentamisen rakennusluvan myöntämisen minimivaatimuksena on suunnitelmien ulkopuolinen tarkastus ja riskianalyysin laadinta. Muita vaatimuksia asetetaan erityismenettelyn johdosta. Korkealle rakennukselle saatetaan asettaa myös rakenteisiin vaikuttavia laadunvarmistustoimenpiteitä, kuten esim. erikoisluokan valmistus ja asennus toleranssit. (Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa ohjekortti A1-3.)

### 3.6 Työturvallisuus

Työturvallisuuteen liittyvien tehtävien ja toimenpiteiden ohjeistuksena pidetään rakennuslupa-asiakirjoja vaadittuine liitteineen. Esimerkiksi alustavan riskiarvion ja riskianalyysin perusteella määritellään toimenpiteitä työturvallisuuteen liittyen. Turvallisuuskoordinaattori on vastuussa siitä, että työt suoritetaan ilman työturvariskejä. Rakennushankkeeseen ryhtyvä toimittaa rakennusvalvontaan erillisen turvallisuusasiakirjan, jossa esitetään, että miten korkean rakentamisen erityispiirteet on otettu huomioon. Korkeassa rakentamisessa työturvallisuuden kannalta on otettava huomioon mm. elementtien asennustyöhön, julkisivun asennustöihin, nosturin pystyttämiseen ja telineisiin liittyvät seikat. Esimerkiksi elementtien asennustyölle voidaan asettaa tuulirajoja.

Rakennesuunnittelijan on työturvallisuuden varmistamiseksi tehtävä kesken-eräisten ja väliaikaisten rakenteiden kestävyystarkastelut. Myös nämä tarkastelut täytyy tarkastuttaa kolmannella osapuolella. Työturvallisuuden varmistamiseksi on laadittava myös muita suunnitelmia ja raportteja, kuten ympäristösuunnitelma, jätehuoltosuunnitelma ja logistiikkasuunnitelma. Sovitut suunnitelmat hyväksytetään rakennusvalvontaviranomaisella ja niiden toteutumista valvotaan kokouksissa ja katselmuksissa. (Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa ohjekortti A1-9.)

Myös rakennuksen ja rakenneosien työnaikainen stabiliteetti ja kyky toimia turvallisuutta edistäen jo rakentamisen aikana, on keskeisessä osassa laadunvarmistuksen suunnittelussa. Rakennuksen ja rakenneosien työnaikainen stabiliteetti ja kyky toimia turvallisuutta edistäen jo rakentamisen aikana pitää huomioida myös rakennuksen suunnittelun aikana mm. rakenneratkaisuissa.

Rakennuksen korkeus voi vaikuttaa työnaikaisen turvallisuuden kannalta työmaajärjestelyihin ja aiheuttaa erityistoimenpiteitä rakennustyönaikaisten toimien osalta. Työmaajärjestelyjen ja rakennustyön aikaisten toimien suunnitteluun ja tarkasteluun saattavat osallistua myös suunnittelijat, Liikenteenturvallisuusvirasto Trafi, Aluehallintavirasto (AVI), Ympäristökeskus ja pelastuslaitos. (Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa ohjekortti A1-7.)

### 3.7 Huolto

Vesikattoon ja julkisivuun liittyvät käyttö- ja huolto-ohjeet vaativat erityistä huomiota. Rakennuksen korkeuden kannalta esimerkiksi katolta putoava lumi ja jää, sekä mahdolliset putoavat esineet aiheuttavat kohtuutonta vaaraa. Huollettavuuden kannalta on otettava huomioon lumenpoistomahdollisuudet, rakennuksen osien selkeä huollettavuus, sekä luotava huoltomahdollisuudet. Esimerkiksi korkeisiin rakennuksiin on usein suunniteltava huoltokelkka, koska riittävän suuren nosturin vuokraaminen olisi kohtuuttoman kallista. Huoltotoimenpiteiden aikaiseen työturvallisuuteen pitää kiinnittää huomiota ja esim. suunnitella toimiva putoamisenestojärjestelmä. Huoltokirjassa on huomioitava myös korkean rakennuksen muut erikoisolosuhteet, kuten että katolla on kova tuuli ja rakennuksessa on tarvittavat ulkopuoliset merkkivalaistukset, sekä että hankkeen vaikutus lentokatvealueisiin on tarkasteltu. (Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa ohjekortti A4-1.)

### 3.8 Paloturvallisuus

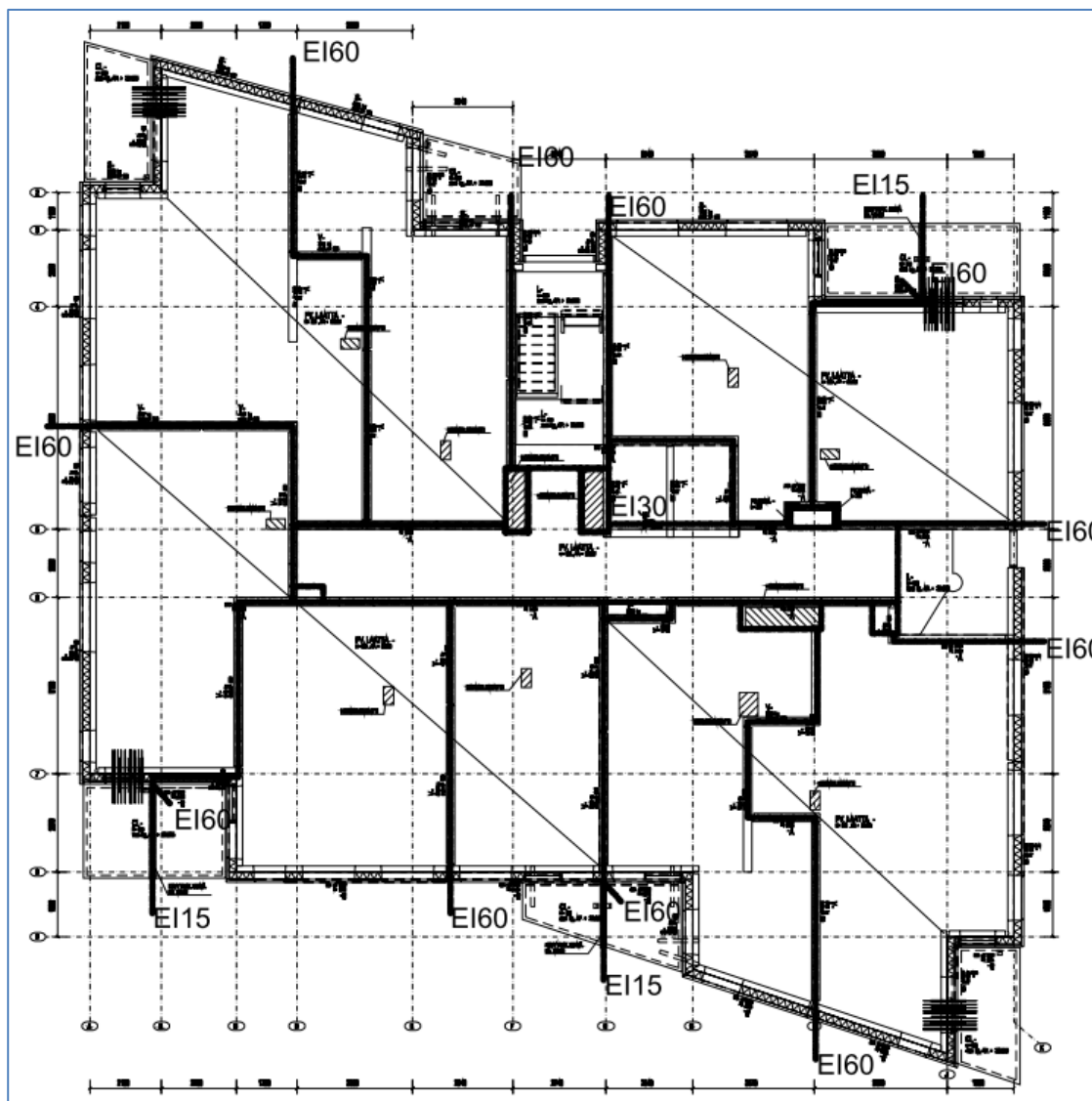
Rakentamismääräyskokoelman osa E1 esittää, että paloturvallisuus vaatimukset täyttyvät, jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen rakentamismääräyskokoelman osan E1 määräyksiä, ohjeita ja paloluokkia. Vaatimukset täyttyvät myös, jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan oletettuun palokehitykseen perustuen. Oletusten täytyy kattaa kaikki todennäköisesti esiintyvät tilanteet.

Palosuunnittelussa käytettävien menetelmien kelpoisuus pitää olla todennettu. Eurooppalaisten (EN) ja kansainvälisten (ISO) standardien mukaisten menetelmien voidaan olettaa täyttävän kelpoisuusvaatimukset, jos rakenne on kyseessä olevan menetelmän pätevyysalueella (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)

Rakennuksen paloluokat on jaettu kolmeen luokkaan P1, P2 ja P3. Kaikki yli 8-kerroksiset asuinrakennukset ja työpaikkarakennukset kuuluvat paloluokkaan P1, eli sen rakenteiden oletetaan kestävän palossa sortumatta. Rakenteet ja detaljit on mitoitettava ja suunniteltava paloluokka vaatimusten mukaisesti. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)



Asuinkerrostalossa huoneistot ja kerrokset eritellään omiksi palo-osastoiksi. P1-luokan kellarit ja ullakot jaetaan enintään 800 m<sup>2</sup> ja ullakot enintään 400 m<sup>2</sup> palo-osastoihin. Palo-osastoinnilla pyritään turvaamaan palotilanteessa ihmishenkiä ja välttämään kohtuuttomia omaisuusvahinkoja. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)



Kuva 2. Esimerkki palo-osastoidusta asuinkerrostalosta

Rakennuksen rakenteiden vaadittu palonkestävyysaika on esitetty R = kantavuuden, E = tiiveyden ja I = eristävyyskannalta aikaluokkiin 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240. R voi olla eri aikaluokkaa kuin E ja I, mutta R eli rakenteiden kantavuus on aina vähintään sama kuin EI-aikaluokka. Palonkestävyys kantavuuden kannalta tarkoittaa, että rakennus ja sen osat eivät saa aiheuttaa sortumalla vaaraa tietyssä ajassa palon alkuperästä. *Kantavan rakenteen mitoitust* voi perustua joko standardoituun lämpötila-aikakäyrään perustuvaan luoki-

tukseen tai oletetun palonkehityksen mukaisiin rasituksiin. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)

Yleensä rakenteiden palonkesto kantavuuden kannalta palotilanteessa tehdään taulukkomitoituksella. Taulukkomitoituksessa määritetään kantavuusvaatimusaika palotilanteessa (R), palokuorman (MJ/m<sup>2</sup>) avulla ks. Kuva 3. Palokuormat määritetään tilojen käyttötarkoituksen avulla. Palokuormaluokat ovat yli 1200 MJ/m<sup>2</sup>, 1200 - 600 MJ/m<sup>2</sup>, alle 600 MJ/m<sup>2</sup>. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)

Asuinkerrostalossa asunnot ja liiketilat kuuluvat luokkaan alle 600 MJ/m<sup>2</sup> ja kellariosastot, joissa on irtaimistovarastoja kuuluvat luokkaan 1200 – 600 MJ/m<sup>2</sup>. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)

Sarake	Rakennuksen paloluokka				
	P1			P2	P3
	Palokuorma MJ/m <sup>2</sup>				
	yli 1200	600–1200	alle 600		
	1	2	3	4	5
Enintään 2-kerroksinen rakennus yleensä	R 120*	R 90*	R 60*	R 30	—
- jos rakennuksen eristeet eivät ole vähintään luokkaa A2-s1, d0	R 120	R 90	R 60	R 30	—
- hoitolaitokset, majoitustilat, kellarit	R 120	R 90	R 60	R 30	—
3–8-kerroksinen rakennus yleensä	R 180	R 120	R 60	■	■
3–4-kerroksinen asuin- tai työpaikkarakennus					
- kerrokset	R 180	R 120	R 60	R 60*	■
- kellarikerrokset	R 180	R 120	R 60	R 120	■
Yli 8-kerroksinen rakennus	R 240	R 180	R 120	■	■
Ylimmän maanalaisen kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R 240	R 180	R 120	R 120	R 60

Kuva 3. Rakennukselta vaadittu rakenteellisenkestävyyden palonkesto-aika (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1, Rakennusten paloturvallisuus 2011)

*Ullakot ja ontelot on tehtävä siten, ettei palon syttymisen eikä palon ja savun leviämisen vaara rakennuksessa olennaisesti kasva niiden johdosta. Ulkoseinät ja parvekkeet on rakennettava niin, että palo ei leviä niiden kautta vaaraa aiheuttavalla tavalla.* (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)

Rakennuksessa on käytettävä rakennustarvikkeita, jotka eivät myötävaikuta palon kehittymiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla. Rakennustarvikkeet jaetaan eri paloluokkiin niiden palo-ominaisuuksiensa perusteella. Rakennustarvikkeiden paloluokkiin vaikuttaa niiden ominaisuuksien vaikutukset palon syttymi-

seen ja leviämiseen sekä savun tuottoon ja palavaan pisarointiin. Tarvikkeiden paloluokat ovat paloon osallistumisen kannalta F, E, D, C, B, A2 ja A1, savun tuoton kannalta s3, s2, s1 ja palavan pisaroinnin kannalta d2, d1, d0. Suojaverhouksen luokitukset esitetään yleensä yhdessä rakennustarvikkeen luokituksen kanssa. Suojaverhouksen luokitus on esimerkiksi K<sub>2</sub>30. Lattiapäällysteen paloluokka ilmoitetaan alaindeksillä <sub>FL</sub>. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)

P1-luokan asuinkerrostalon kaikkien sisäseinien pinnat ja kattojen pinnat ovat luokkaa D-s2,d2, pois lukien kellarikerrokset ja erikoistilat. Yli 8-kerroksisen P1-luokan rakennuksen parvekkeiden, ulkoseinien ja sen tuuletusraon kaikkien pintojen luokitus on aina B-s1,d0. P1-luokan asuinkerrostalon uloskäytävien osastoivissa seinissä sekä kellaritilojen osastoivissa rakenteissa tulee käyttää A2-s1,d0 luokan rakennustarvikkeita. Vesikaton luokka on yleensä B<sub>ROOF</sub>(t2). Kun tilassa on automaattinen sammutuslaitteisto, niin pinnoille voidaan sallia lievemmat vaatimukset. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011 taulukko 8.2.2. ja 8.3.4..)

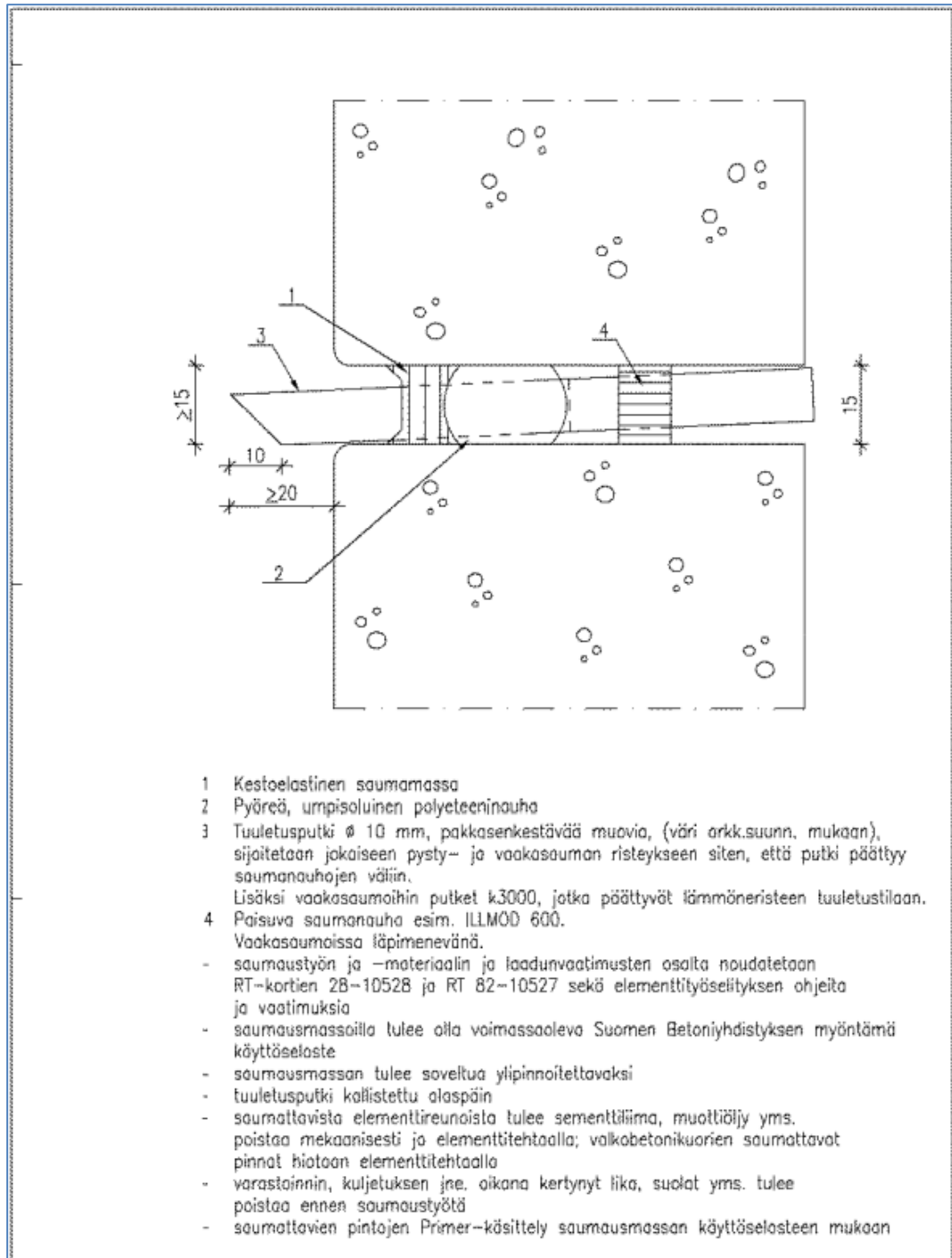
Rakennuksen suunnittelussa tulee huomioida naapuritalot ja estää palon leviäminen esim. palomuurilla. Pelastuslaitokselle täytyy suunnitella mahdollisuudet päästä jokaiseen palo-osastoon, sekä jokaiseen ullakon palo-osastoon on oltava pääsy talon ulkopuolelta. Savunpoistojärjestelmä täytyy suunnitella jokaiseen osastoituun tilaan soveltuvaksi. Yli 8-kerroksisiin rakennuksiin on asennettava kuivanousujohto sammutustyötä varten. Jos rakennukseen asennetaan automaattisia sammutuslaitteistoja tai automaattisia paloilmoittimia niin voidaan harkita tapauskohtaisesti lievennyksiä pintaluokkiin ja määräyksiin. Jos lupahakemus perustuu tietyin rajoituksin tehtyyn palosuunnitteluun, niin on tämän kohteen kyseiseen tilaan laitettava maininta kyseisestä rajoituksesta helposti havaittavaan paikkaan. Yli 16-kerroksisessa rakennuksessa hissien käyttö pitää olla mahdollista pelastus- ja sammutustyössä. Uloskäytävään liittyy vielä erityismääräyksiä savunpoiston, pintamateriaalien yms. osalta. (Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 2011.)

Työnaikaiseen paloturvallisuuteen liittyen ennen rakennustöiden aloittamista, rakennushankkeeseen ryhtyvältä vaaditaan erillinen pelastuslaitoksen hyväksymä pelastus-, palontorjunta- ja evakuointisuunnitelma. Työmaalle on nimettävä työnaikaisesta paloturvallisuudesta vastaava henkilö ja ilmoitettava pe-

lastusviranomaiselle. Rakennuksen palontorjuntamahdollisuudet on ylläpidettävä rakentamisen aikana, esim. sammutusveden saanti rakenteilla olevaan ylimpään kerrokseen on mahdollistettava. Rakennesuunnittelija saattaa osallistua työnaikaisen paloturvallisuuden suunnitteluun, koska työnaikaisen paloturvallisuuden varmistaminen saattaa aiheuttaa muutoksia tai huomioitavia kohtia rakennesuunnitelmiin. (Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa ohjekortti A1-8.)

### 3.9 Detaljisuunnittelussa huomioitavia asioita

Detaljisuunnittelussa tulee huomioida korkean rakennuksen erityispiirteitä mm. vesikaton ja julkisivujen osalta. Suuremmat paloluokkavaatimukset voivat aiheuttaa tarkennuksia esim. osastoivien väliseinien kiinnitysdetaljeihin. Korkeasta rakennuksesta ei saa pudota mitään, joten on tarvittaessa suunniteltava putoamisen ja tippumisen estoon liittyviä rakenteita, sekä otettava huomioon esim. jään kertyminen ja putoaminen julkisivuilla ja räystäillä. Ikkunat ja mahdolliset kaiteet tulee olla asennettavissa elementteihin ennen elementin asennusta. Korkeiden rakennusten julkisivujärjestelmät pitää olla asennettavissa sisältäpäin ja julkisivun tulee olla asennuksen jälkeen saumausta vaille valmis. Julkisivujen osien kiinnitysdetaljeissa on huomioitava tuulen paineet ja tuulen aiheuttama melu. Vesikaton kiinnitysdetaljeissa on tarkistettava, että kaikki materiaali tulee olla kiinnitettävissä välittömästi paikalleen. Myös ulkokuorirakenteen tiiveys ja asennusmahdollisuudet pitää ottaa huomioon detaljisuunnittelussa. (Wise Group Finland OY 2012.)



Kuva 4. Ulkokuori rakenteen tiiveyden varmistamiseksi saumaan laitetaan kaksinkertainen saumanauha erikseen määritetyillä alueilla.



### 3.10 Elementointi

Korkean rakennuksen kantavien seinien elementointi voi olla haastavaa suurten kuormien aiheuttamien leikkaus- ja normaalivoimien takia. Suuret normaalivoimat kasvattavat seinäpaksuuksia ja elementtien pituutta pitää pienentää, jotta niiden painot eivät kasva liikaa. Suuret leikkausvoimat aiheuttavat ongelmia elementtisaumojen leikkauskestävyyteen. Yleisesti käytettyjen vaijerilenkkien leikkauskapasiteetti ei riitä yli 16-kerroksisessa asuinkerrostalossa. Jos rakennuksen seinille syntyy pystysuuntaisia vetorasituksia, niin elementtien vaakasaumojen kiinnityksen ja leikkauskestävyyden tarkastelut on tehtävä huolella. Elementtirakenteisen rakennuksen alimmat kerrokset voidaan joutua tekemään paikallavaluna tai laittamaan elementtien saumoihin harjateräslenkkiliitokset. Harjateräslenkkiliitos vaikeuttaa ja hidastaa asennustyötä ja suunnittelu täytyy tehdä tarkemmin.

Korkean rakennuksen julkisivurakenteiden ja ikkunoiden tulee olla valmiina elementissä, koska kaikki asennustyö on tehtävä sisältäpäin. Ikkunoiden- ja ovienpieliin on jätettävä riittävästi kantavaa materiaalia suurten kuormien takia. Elementoinnin kannalta ongelmallista on ulkoseinien saumaus ja koko ulkokuorirakenteen tiiveys. Kun tehdään elementtirakenteinen rakennus, niin kerroskorkeudet ovat rajoitettu maksimissaan 4 - 4,5 metriin

### 3.11 Värähtely

Korkea rakennus luonnollisesti heiluu ja värähtelee enemmän kuin matala. Rakennuksen värähtelyn ennakoiminen on haasteellista, koska siihen vaikuttaa niin moni asia. Korkeissa rakennuksissa tuulen aiheuttama värähtely muodostuu usein tärkeäksi tarkastelukohdaksi. Eurokoodissa on määritetty, että rakennuksen värähtelyä tutkittaessa on otettava huomioon käyttäjän mukavuus ja rakenteen toimivuus esim. väliseinien halkeamat, verhousten vauriot ja varastoitavien aineiden herkkyys värähtelylle.

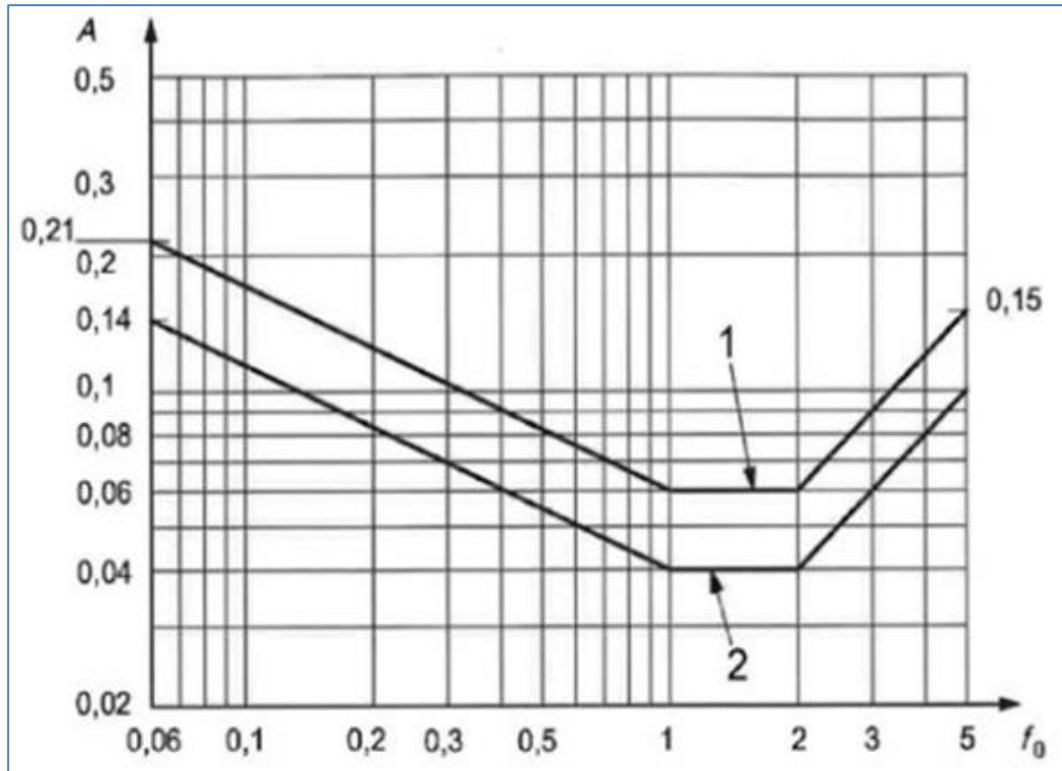
Värähtelystä saattaa aiheutua rakennukselle ja sen rakenteille dynaamisia kuormia. Rakenteet täytyy mitoittaa näille kuormille. Värähtely aiheuttaa rakennukseen hetkellisiä kiihtyvyyksiä, jotka ihminen kokee epämiellyttävänä.

LEVEL	ACCELERATION (m / sec <sup>2</sup> )	EFFECT
1	< 0.05	Humans cannot perceive motion
2	0.05 - 0.1	a) Sensitive people can perceive motion;
3	0.1 - 0.25	b) hanging objects may move slightly a) Majority of people will perceive motion; b) level of motion may affect desk work; c) long - term exposure may produce motion sickness
4	0.25 - 0.4	a) Desk work becomes difficult or almost impossible; b) ambulation still possible
5	0.4 - 0.5	a) People strongly perceive motion; b) difficult to walk naturally; c) standing people may lose balance.
6	0.5 - 0.6	Most people cannot tolerate motion and are unable to walk naturally
7	0.6 - 0.7	People cannot walk or tolerate motion.
8	> 0.85	Objects begin to fall and people may be injured

Kuva 6. Kiihtyvyyksien havaintoarvoja, (ISO 10137:2007(E))

Jotta värähtelyn osalta käyttörajatilaa ei ylitettäisi, on värähtelyn aiheuttama kiihtyvyys pidettävä tietyn rajan alapuolella suhteessa rakennuksen alimpaan ominaistaajuuteen. Värähtelyn aiheuttaman kiihtyvyyden käyttörajatilaan vaikuttaa rakennuksen toiminta, värähtelylähde sekä asiat, joista sovitaan erikseen. Värähtelyjä ja kiihtyvyyksiä tutkitaan teoreettisella tasolla ja yritetään todistaa, että värähtelyn aiheuttama kiihtyvyys ei ole haitallista. Yksi tapa todistaa värähtelyjen haitattomuus löytyy ISO-standardista. Siinä on annettu raja-arvot toimisto- ja asuntorakennuksille alimman ominaistaajuuden ja kiihtyvyyden huippuarvon suhteen. Teoreettiset ominaistaajuudet saadaan 3D-laskentamallista ja kiihtyvyydet voidaan laskea esimerkiksi asianmukaisella Eurokoodiin perustuvalla Excel-pohjalla, jollainen on myös Wise Group Finland OY:n käytössä.





Kuva 7. Kiihtyvyyden raja-arvot mukavuustekijöiden kannalta (ISO 10137:2007(E)),  
 A = kiihtyvyyden huippuarvo (m/s<sup>2</sup>)  
 f<sub>0</sub> = alin ominaistajuus sivusuuntaisessa ja vääntövärtelyssä (Hz),  
 1 = toimistorakennus, 2 = asuinrakennus

Haitallista värähtelyä vastaan voidaan suunnitella jäykisteristikoita ja vaimentimia. Värähtelyihin voidaan vaikuttaa rakennuksen geometrian avulla. Tuulivärähtelyjen monimutkaisuudesta johtuen ei ole olemassa kotimaista yksiselitteistä tapaa mitoitaa rakennusta värähtelyille.

### 3.12 Tuulitunnelikokeet

Korkeissa rakennuksissa saatetaan joutua teettämään tuulitunnelikokeita jos rakennuksen muoto tai ympäristö on epämääräinen tai jos rakennukselle 3D-laskentamallin avulla laskettu alin ominaistajuus ( $n_1$ ) on alle 1 Hz. Yli 50m korkean suorakaiteen muotoisen monikerroksisen rakennuksen taivutusvärähtelyn alimman ominaistajuuden voi laskea likimäärin ilman rakennuksen jäykkyyden huomiointia (+/- 50 %) kaavasta 3.1 (EN 1991-1-4 kaava F2).

$$n_1 = 46/h \text{ (Hz)} \quad (3.1)$$

Tuulitunnelikokeissa rakennesuunnittelija tekee tuulitunnelikokeiden työselostuksen ja auttaa tilaajaa kokeiden tarjouskyselyissä. Rakennesuunnittelija antaa ominaisuuksia, muodot, massat ja massahitausmomentit tuulitekniikkakonsultille, joka tekee kokeet ja laatii raportit ja kommentit. Tuulitekniikkakonsultin raportin pohjalta rakennesuunnittelija tekee tarvittavat rakenteelliset muutokset.

Hyviä tuulitunnelipalveluita saa Euroopasta ja Pohjois-Amerikasta. Yleisimmät koetyypit ovat HFFB (High Frequency Force Balance) ja HFPI (High Frequency Pressure Integration). HFPI soveltuu säännöllisiin muotoihin ja sillä saadaan analysoitua julkisivun painekuormat sekä mitoituskuormat. (Wise Group Finland OY 2012.)



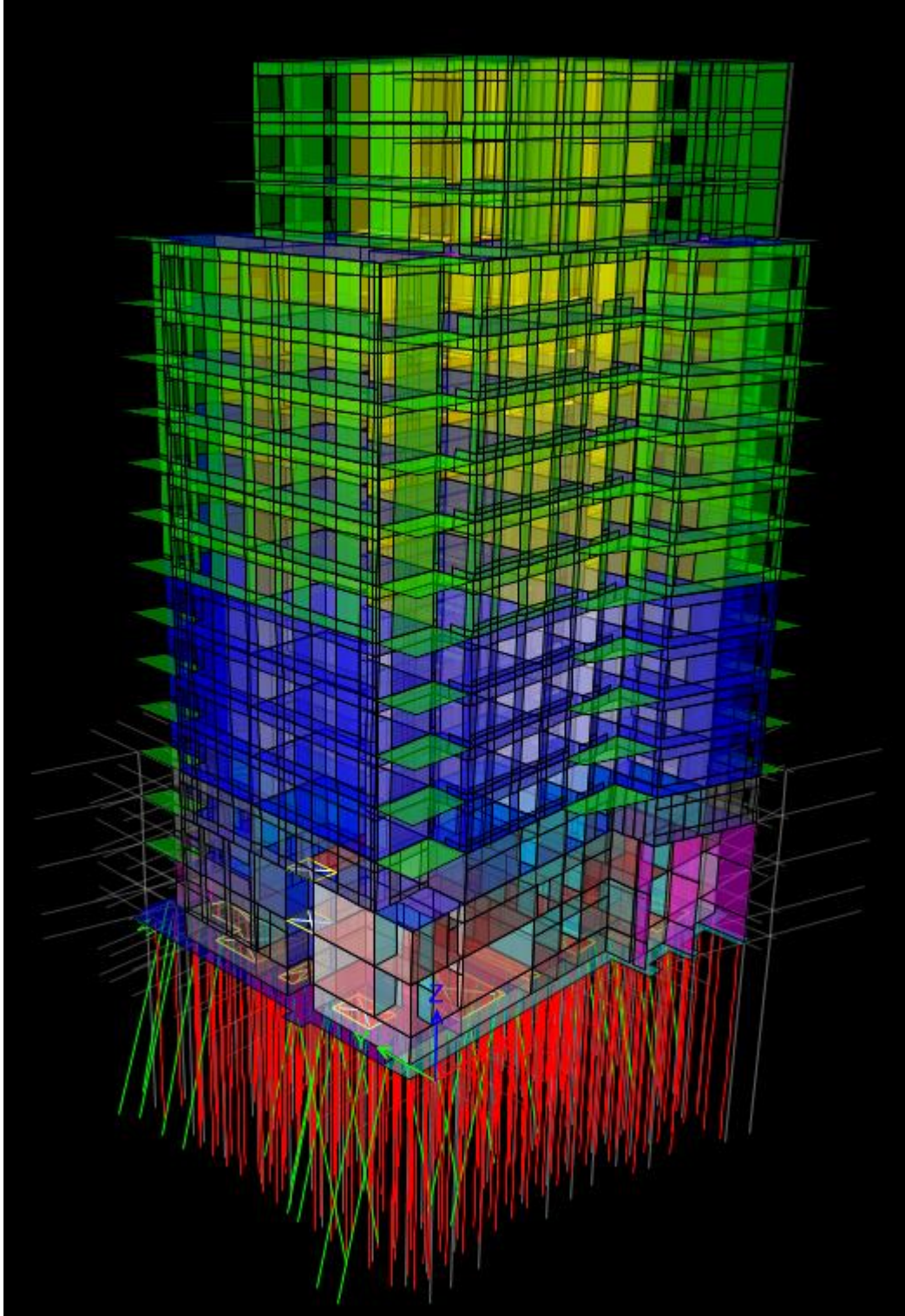
Kuva 8. Tuulitunnelikoe (Gradient Wind Engineering Inc)

## 4 RAKENTEIDEN MITOITUS KORKEASSA TERÄSBETONISESSA ASUINKERROSTALOSSA

Korkean rakennuksen suunnittelu ja mitoitus on paljon matalampaa tarkempaa ja monimuotoisempaa, koska suuri hoikkuus ja suuret kuormat aiheuttavat rakennukseen riskejä. Näiden riskien tunnistaminen on tärkeää ja niistä aiheutuvat rakenteiden suunnitteluun vaikuttavat seikat pitää tietää, jotta korkea asuinkerrostalo voidaan suunnitella. Suomessa käytettävät suunnittelumenetelmät ovat kehitysvaiheessa, mutta korkean rakentamisen lisääntyessä myös suunnittelumenetelmät tarkentuvat. Laissa on määritelty minimivaatimuksia rakennuksen suunnittelulle ja ne katsotaan täytyneeksi, kun rakennus suunnitellaan jonkun hyväksytyt standardin mukaisesti. Suomessa lähes kaikki rakentaminen on standardisoitua ja yleisin Suomessa käytettävä standardi on Eurokoodi. Joihinkin korkea rakentamista koskeviin tunnistettuihin riskeihin ei ole Eurokoodissa määritelty ratkaisua. Näiden osalta tehdään muita toimenpiteitä riittävän varmuuden saavuttamiseksi, kuten esim. sovelletaan muita standardeja. Tällaisia riskejä ovat esim. kiihtyvyyden ja alimman ominaistajuuden raja-arvo käyttörajatilan mukavuustarkastelun kannalta. Myöhemmin tässä työssä on esitelty korkean rakennuksen mitoituksessa koettuja kulminaatiopisteitä. Rakenteiden mitoituksessa käytetään SFS - EN 1990 - 1999 asiakirjoissa määriteltyjä kuormia ja materiaaleja koskevia säädöksiä. Rakenteiden mitoituksessa tulee myös noudattaa erikseen määriteltyjä kansallisia liitteitä.

### 4.1 Alustava luonnossuunnittelu

Vastaava rakennesuunnittelija kiinnitetään kaikissa yli 16-kerroksisissa kohteissa erityismenettelyn johdosta kohteeseen jo alustavassa luonnossuunnitteluvaiheessa. Jo tässä vaiheessa rakennuksesta tehdään 3D-laskentamalli jollakin käyttötarkoitukseen sopivalla ohjelmalla, kuten esim. computers & structures.incin fem-ohjelmalla Etabs. Rakennesuunnittelija tarkastaa rakennuksen toteuttamiskelpoisuuden, valitsee rakennejärjestelmän ja jäykistysmenetelmän, sekä antaa raja-arvoja pohjaratkaisuihin. Tässä vaiheessa luodaan kohteen geometria ja kantavien rakenteiden rakennepaksuudet. Myös kantavien rakenteiden liitosdetaljit määritellään tässä vaiheessa.



Kuva 9. Etabs ohjelmalla tehty laskentamalli, suunnittelussa oleva, Espooseen tuleva, 16-kerroksinen asuinkerrostalo, jossa on elementtirakenteiset kantavat seinät ja paikalla valetut väli- ja yläpohjat sekä paaluperustukset. Väliseinäpaksuudet ovat 280 mm, 250 mm ja 200 mm. Ulkoseinien kantavien sisäkuorien paksuudet ovat 200 mm, 180 mm ja 150 mm. Seinien paksuus pienenee ylöspäin, koska alimmissa kerroksissa on suuremmat normaali- ja leikkauvoimat.

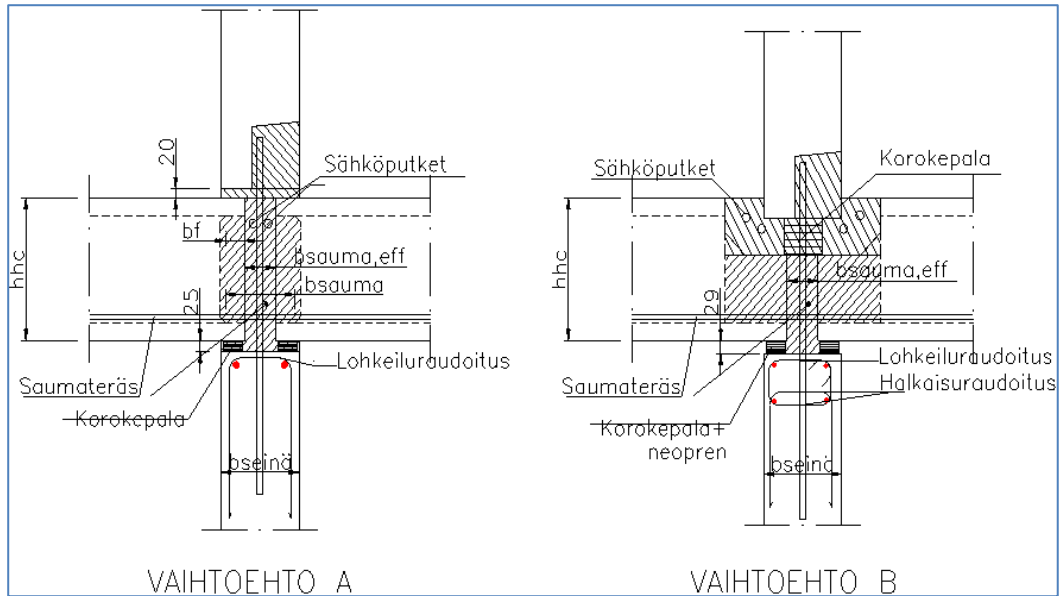
#### 4.1.1 Rakennejärjestelmän ja jäykistysmenetelmän valinta

Rakennejärjestelmään ja jäykistysmenetelmään vaikuttaa kohteen käyttötarkoitus, korkeus ja geometria. Rakennuksen jäykistysmenetelmän valinnassa tulee välttää suunnittelun ja toteutuksen kannalta haitallisia pystysuuntaisia vetorasituksia.

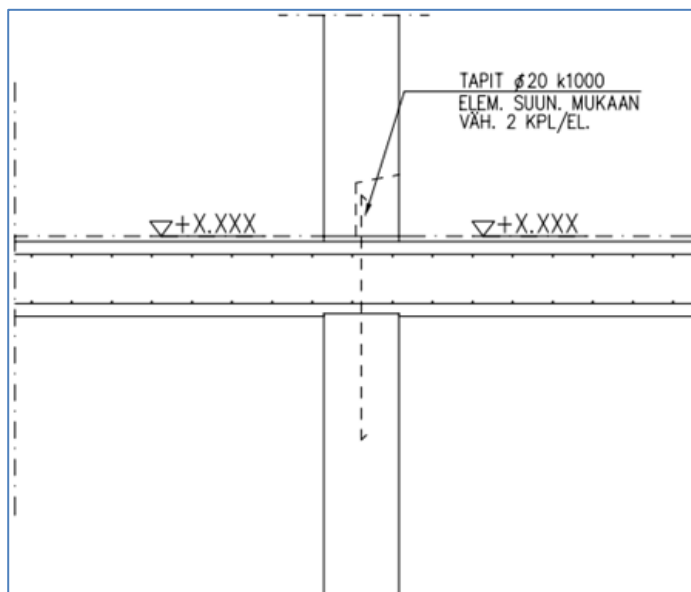
Korkean teräsbetonisen asuinkerrostalon luonnollisin ja edullisin valinta on kantavat ja jäykistävät väli- ja ulkoseinät sekä paikalla valetut välipohjat (levyjäykistetty rakennus), koska asuinkerrostalossa on aina väliseiniä ja yhtenäinen kuorirakenne. Tällä jäykistysmenetelmällä päästään jopa 40-kerrokseen ilman vetorasituksia.

Korkeankin rakennuksen pystyrakenteet voidaan suunnitella pääosin elementtirakenteiseksi. Suurien normaalivoima- ja leikkausvoimarasituksien vuoksi vain 20 – 30 ylintä kerrosta voivat olla elementtirakenteisia. Sen sijaan alemmat kerrokset on tehtävä paikallavaluna leikkausrasituksien ja seinämä paksuuksien takia. Paikallavaluvälipohjat ovat elementtirakenteista parempi vaihtoehto korkeisiin rakennuksiin, sillä ne ovat jäykempiä ja näin siirtävät vaakakuormia paremmin. Elementtirakenteisten ontelolaattavälipohjien käytön rajoittava tekijä on myös ontelolaatan pystysuuntainen puristuskestävyys, eli jos seinillä on suuret pystykuormat niin ontelolaattoja ei voi viedä seinien väliin vaakasaumassa, vaan pitäisi tehdä konsolit jokaiseen kerrokseen. Konsolien teko on huono vaihtoehto esteettisesti ja taloudellisesti. Ontelolaatan puristuskestävyyttä voidaan parantaa noin 30 % loveamalla ja umpeen valamalla laattojen päät. Teknisesti lovettuja ontelolaattoja voitaisiin käyttää n. 16-kerrokseen asti. Lisätietoa löytyy Betoniyhdistyksen julkaisusta Betoninormikortti 27.

Paikallavaluholvi sopii myös onnettomuusmitoitukseen paremmin kuin ontelolaattaholvi. Onnettomuustarkasteluissa poistetaan seiniä holvin alta, jolloin risettiin kantava paikallavalulaatta muodostaa helpommin vaihtoehtoisia rakenne-malleja.



Kuva 10. Leikkaus kantavan seinän ja välipohjan risteyksestä, kokonaisilla ontelolaatoilla vaihtoehto A ja lovetuilla ontelolaatoilla vaihtoehto B, (Betoninormikortti 27)



Kuva 11. Leikkaus kantavien seinien ja paikallavaluvälipohjan liitoksesta.

#### 4.1.2 Pohjaratkaisut ja alustava suunnittelu

Alustavassa suunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelijan pitää laskentamallin perusteella määrittellä pohjaratkaisujen ja esim. ikkuna-aukkojen kannalta tiettyjä reunaehtoja. Tarkasteltavia asioita on kantavien seinälinjojen paksuus ja sijainti sekä kuormien alastuonti.

Murtorajatilan kuormitusyhdistelmistä muodostuvien maksiminormaalivoimien perusteella määritetään kantavien seinälinjojen minimipaksuudet. Eri kerroksiin muodostuu luonnollisesti erilaisia kuormituksia ja seinäpaksuudet voivat

taloudellisesti suunniteltuna vaihdella kerroksien välillä. Saman kerroksen seinät on järkevää tehdä samoilla paksuuksilla. Seinämä paksuuksiin vaikuttaa myös aukkojen koko ja etäisyys toisistaan.

Kantavien seinälinjojen paksuudet ja raudoitukset määritellään kerroksittain laskentamallista saatujen normaalivoimien perusteella esimerkiksi Excellas-kentaohjelman avulla.

Alustavassa suunnitteluvaiheessa on syytä tarkistaa ja kommentoida laskentamallin stabiliteettitarkastelujen avulla kantavien seinälinjojen sijaintia. Kantavia rakenteita pitäisi saada mahdollisimman kauas toisistaan hoikkuuden vähentämiseksi. Rakennuksen kiertymätarkastelujen perusteella seinät pitäisi jakaa tasaisesti kaikille sivuille niin, että rakennuksen kiertokeskiö on mahdollisimman lähellä tuulikuorman resultanttia kaikista suunnista tarkasteltaessa. Tuulikuorman resultantin sijainti määräytyy rakennuksen tuulta vastaan kohtisuorassa olevan projektiopinta-alan perusteella.

Aukkojen koon ja sijainnin kannalta tulisi tarkastella myös kantavien rakenteiden leikkausvoimia kaikilla kuormitusyhdistelmillä. Aukkojen ylä- ja alapuolelle muodostuu yleensä suuria leikkausvoimia suurten pysty- ja vaakavoimien takia, niinpä aukkojen ylä- ja alapuolelle pitää jäädä riittävän korkeat palkit. Pystykuormat aiheuttavat leikkausvoimia betonin kokoonpuristumiserojen takia. Kun suuri pystykuorma aiheuttaa kokoonpuristumista rakenteessa, niin palkit alkavat siirtämään kuormia leikkauskapasiteetin avulla paikkoihin, joissa ei pystykuormaa ja muodonmuutosta ole niin paljon.

## 4.2 Perustusten suunnittelu

Korkean rakennuksen perustusten painuma erot pitäisi pitää mahdollisimman pieninä. Pieni painumaero perustuksissa aiheuttaa korkealla rakennuksen katon korkeudella suuren siirtymän. Kuten edellä todettiin, muodonmuutokset ja painumaerot aiheuttavat rakennuksen kantaville rakenteille jo ennestään haasteellisia leikkausvoimia.

Maanvaraisissa perustuksissa pohjapaineet määrittävät painuman ja ne pitäisi pitää tasaisina koko rakennuksen alueella. Maanvaraisten perustusten yliimitusta pohjapaineiden perusteella tulee siis välttää.

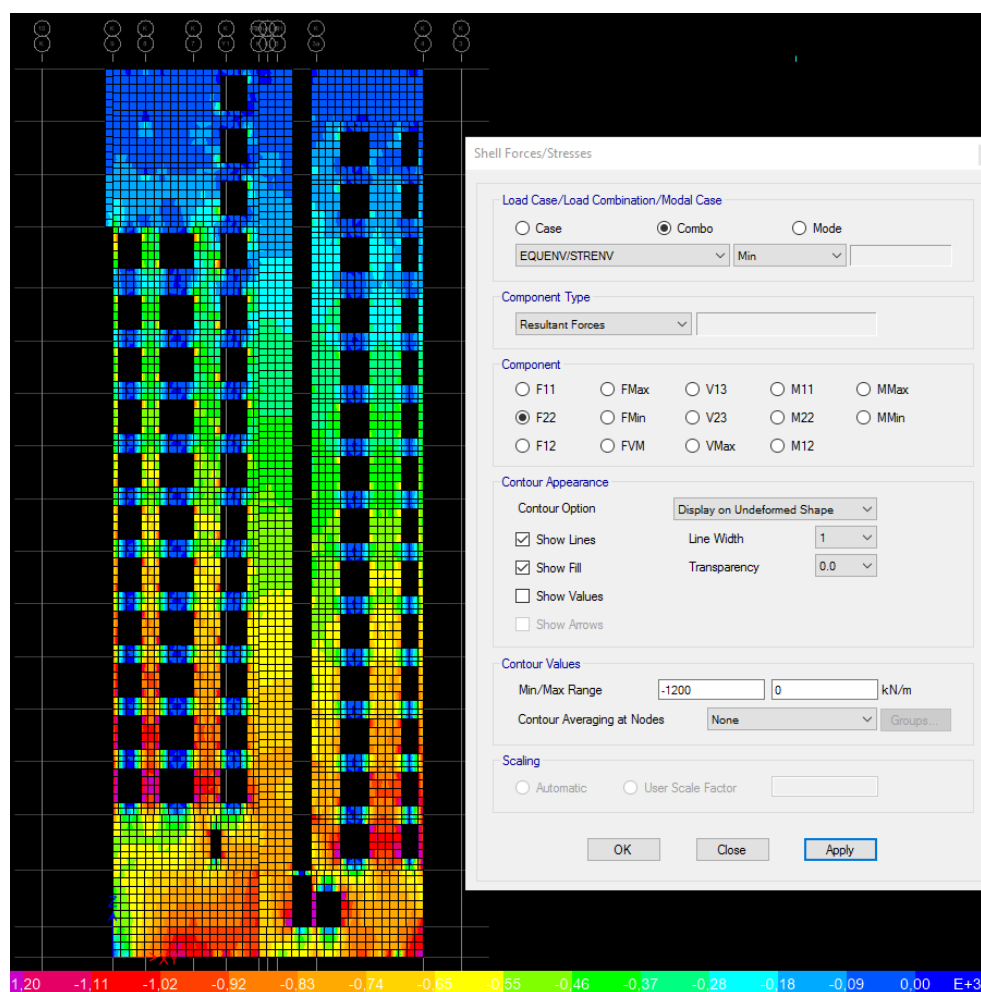


Paalutetun kohteen perustusten painumiin pitää kiinnittää erityistä huomiota, koska paalujen kokoonpuristumat aiheuttavat suurempia perustusten painumia. Paaluperustus tapauksissa paalujännityksien tulisi olla tasaiset koko rakennuksen alueella.

### 4.3 Kantavien ja jäykistävien pystyrakenteiden mitoitus

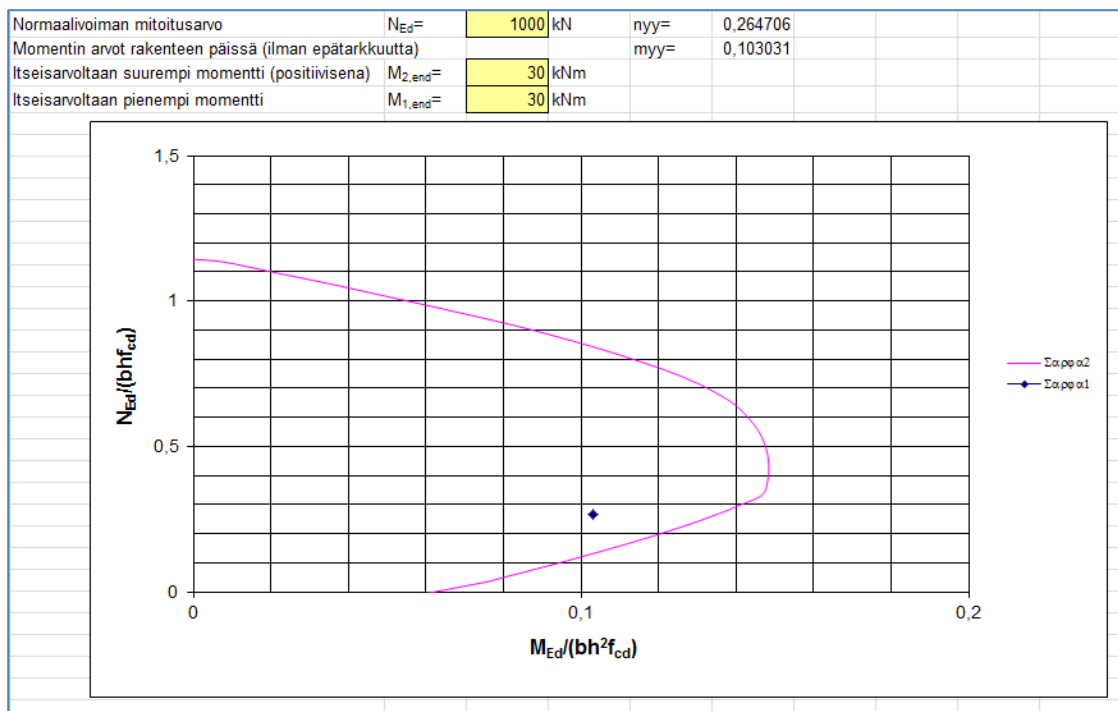
Kantavien- ja jäykistävien seinien mitoituksessa mitoitetaan seinien normaalivoimakapasiteetti ja leikkauskestävyys.

Normaalivoimakapasiteettiin vaikuttaa seinän paksuus ja rauditus. Kapeat aukkojen pielet pitää mitoittaa pilarin tavoin. Seinän normaalivoimakapasiteetin mitoituksessa käytetään laskentamallin antamia maksiminormaalivoimia (kuva 12) ja valmiita Eurokoodin mukaisia Excellaskentapohjia (kuva 13).



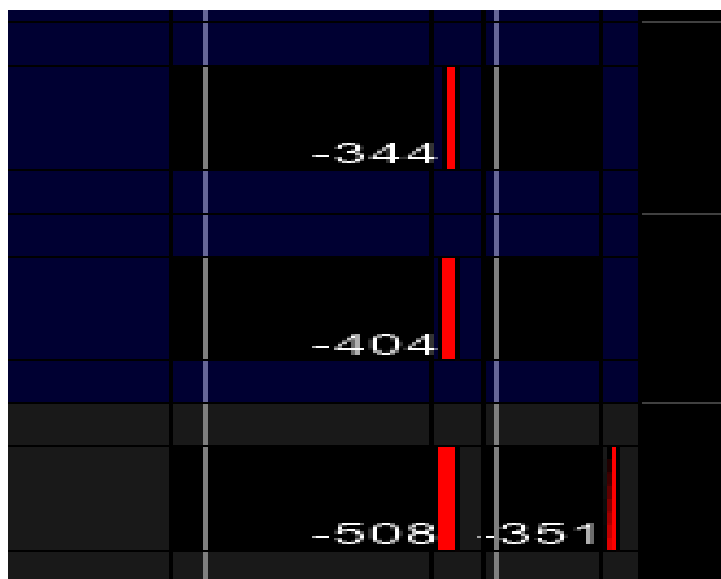
Kuva 12. Etabs mallin antamat seinälinjan normaalivoima rasitukset.





Kuva 13 Esimerkki Excellaskentapohja raudoitettulle seinälle. Laskentapohjalla on laskettu 1-metrin pituisen, 3 metriä korkean ja 200 mm paksun seinän kestävyys T12 k150 verkoilla molemmin puolin ja 1 MN:n pystykuormalla. Epäkeskisyyksien ja toisen kertaluvun aiheuttama momentti on otettu huomioon.

Aukkojen pielen mitoituksessa Etabsissa voidaan määrittää pielet (pier) pilariiksi, jolloin saadaan pielelle tuleva kokonaispystykuorman maksimiarvo (ks. kuva 14.). Etabs antaa myös suoraan kokonaisraudoitusmäärän (ks. kuva 15). Näitä rauditusmääriä voidaan verrata Skol laskentapohjan antamiin arvoihin. Seuraavana on esitetty esimerkkilaskelma aukkojen välisen pielen kestävydestä.



Kuva 14. Etabsin määrittelemät aukkojen pielen normaalivoimat (kN).

ETABS 2016 Shear Wall Design								
Eurocode 2-2004 Pier Design								
Pier Details								
Story ID	Pier ID	Centroid X mm	Centroid Y mm	Length mm	Thickness mm	Height <sub>major</sub> mm	Height <sub>minor</sub> mm	LLRF
5 (+16.7)	testi pilari	0	20229,9	400	180	3100	3100	1
Material Properties								
E <sub>c</sub> (MPa)	f <sub>ck</sub> (MPa)	Lt.Wt Factor (Unitless)		f <sub>yk</sub> (MPa)	f <sub>ywk</sub> (MPa)			
33000	C3037 (30)	C3037 (1)		A500HW (500)	A500HW (500)			
Design Code Parameters								
γ <sub>c</sub>	γ <sub>s</sub>	α <sub>cc</sub>	α <sub>LCC</sub>	IP <sub>MAX</sub>	IP <sub>MIN</sub>	P <sub>MAX</sub>		
1,5	1,15	0,85	0,85	0,04	0,0025	0,8		
Pier Leg Location, Length and Thickness								
Station Location	ID	Left X <sub>1</sub> mm	Left Y <sub>1</sub> mm	Right X <sub>2</sub> mm	Right Y <sub>2</sub> mm	Length mm	Thickness mm	
Top	Leg 1	0	20029,9	0	20429,9	400	180	
Bottom	Leg 1	0	20029,9	0	20429,9	400	180	
Flexural Design for N <sub>Ed</sub> , M <sub>Ed2</sub> and M <sub>Ed3</sub>								
Station Location	Required Rebar Area (mm <sup>2</sup> )	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	N <sub>Ed</sub> kN	M <sub>Ed2</sub> kN-m	M <sub>Ed3</sub> kN-m	Pier A <sub>s</sub> mm <sup>2</sup>
Top	180	0,0025	0,0042	EQUENV/STRENV	398	-21	-15	72000
Bottom	180	0,0025	0,0042	EQUENV/STRENV	404	-21	-15	72000
Shear Design								
Station Location	ID	Rebar mm <sup>2</sup> /m	Shear Combo	N <sub>Ed</sub> kN	V <sub>Ed</sub> kN	V <sub>Rc</sub> kN	V <sub>Rd</sub> kN	
Top	Leg 1	180	EQUENV/STRENV	162	9	46	25	
Bottom	Leg 1	180	EQUENV/STRENV	166	9	46	25	

Kuva 15. Esimerkki Etabsin määrittelemät laskenta-arvot kuvan 14. pielen normaalivoimalle 404 kN. Vaadittu kokonaispystyraudoitus on 180 mm<sup>2</sup>

Verrataan kuvan 15 arvoja, kuvan 15 arvojen ja Skol laskentapohjan avulla saatuihin tuloksiin ks. kuva 16. Vertailun tuloksena voidaan päätellä että Etabs on määrittänyt teräsmäärät Eurokoodin minimiteräsmäärän mukaan. Etabsin pilarimitoitus on todettu toimivaksi kapeiden aukkojen pielen laskennassa, mutta on silti syytä ajoittain vertailla tuloksia laadunvarmistustoimenpiteenä. Aukkojen pielet tulee tarkastella yksitellen tai pahimman tilanteen mukaan.

A <sub>s</sub> =	201,1	mm <sup>2</sup>							
A <sub>s,min</sub> =	136,8	mm <sup>2</sup>							
A <sub>s,max</sub> =	4104,0	mm <sup>2</sup>							
c <sub>nom</sub> =	20	mm							
a <sub>min</sub> =	20	mm							
∅ <sub>haka,min</sub> =	6	mm							
s <sub>cl,max</sub> =	120	mm							
			Y-Y-akselin ympäri[kNm]		Z-Z-akselin ympäri[kNm]		Vinotaisuus (Eq 5.39)		
			M <sub>Ed,yy</sub>	M <sub>Rd,yy</sub>	M <sub>Ed,zz</sub>	M <sub>Rd,zz</sub>			
			Tapaus 1	15,6	27,2	21,0	62,4	0,79	OK
			Tapaus 2	8,1	27,2	8,1	62,4	0,33	OK
			Tapaus 3	0,0	7,2	0,0	14,3	0,00	OK
			Tapaus 4	0,0	7,2	0,0	14,3	0,00	OK
ψ(t,t <sub>0</sub> ) =	2,79		i <sub>yy</sub> =	52,0	λ <sub>yy</sub> =	29,8	L <sub>0,yy</sub> =	1550,0	mm
			i <sub>zz</sub> =	109,7	λ <sub>zz</sub> =	14,1	L <sub>0,zz</sub> =	1550,0	mm

Kuva 16. Esimerkki. Pilarin mitoitus Skol laskentapohjalla, Etabs-ohjelman antamilla arvoilla ja 4 T8 raudoilla A<sub>s</sub> = 201,1 mm<sup>2</sup>

Seinän leikkausvoimakapasiteetin kannalta elementtirakenteisen rakennuksen laskentamallitarkastelu on tällä hetkellä vajavaista, puutteellisen elementti-saumojen tarkastelun takia. Periaatteessa laskentamalliin (esim. Etabs) joudutaan toistaiseksi mallintamaan seinät niin, että ne ovat monoliittisesti kiinni toisissaan. Tämä aiheuttaa seiiniin suuria leikkausvoimia.

Käytännössä laskentaohjelmaan pitäisi saada luotua sellainen komponentti elementtien saumaan, joka rajoittaa sauman leikkauskapasiteetin. Sauman leikkauskapasiteetti rajoitettaisiin kulloisenkin kiinnitystavan mukaan, esim. vaijerilenkkien kapasiteetin mukaan. Tässä tapauksessa ongelmaksi muodostuisi sauman eri seinien painuma-erot ja sauman halkeilu. Tässä tilanteessa pitäisi tarkastella myös, että mitä tapahtuu, kun sauman kapasiteetti ylitetään. Vaakavoimien ja stabiliteetin kannalta tämä pienentäisi rakennuksen jäykkyyttä, koska eri seinät toimisivat jäykkyyden kannalta osittain erikseen. Jäykkyyden pieneneminen aiheuttaisi laskentamalliperiaatteiden uudelleentarkastelun.

Koska rakennuksen stabiliteettia joudutaan tarkastelemaan monoliittisena rakenteena, niin seinäelementtien saumat on mitoitettava laskentamallin antamalle leikkausvoimalle. Näin ollen on tarkasteltava, että onko seinä tehtävissä elementtirakenteisena ja onko se järkevää tehdä elementtirakenteisena. Elementtien pystysauman leikkauskestävyyden tulee olla suurempi kuin kuormitusyhdistelyjen maksimileikkausvoima. Normaalisti pystysaumojen liitokset pyritään tekemään vaijerilenkkiliitoksen avulla.

Taulukko 2. RVL-60, -80, -100 ja -120 vaijerilenkkien sauman suuntainen murtorajatilan leikkauskapasiteetti  $V_{Rd}$ , (R-steel RVL-vaijerilenkit suunnitteluohje taulukko 2)

Jako [mm]	$V_{Rd}$ [kN/m]			
	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
250	125.4	137.4	148.4	158.6
300	117.2	128.3	138.6	148.2
350	100.9	110.6	119.4	127.7
400	88.8	97.2	105.0	112.3
450	79.3	86.8	93.8	100.3
500	71.7	78.5	84.8	90.7
550	65.5	71.7	77.5	82.8
600	60.3	66.1	71.4	76.3
650	55.9	61.3	66.2	70.8
700	52.2	57.2	61.8	66.0
750	48.9	53.6	57.9	61.9

Taulukko 3. RVL-140 vaijerilenkin sauman suuntainen murtorajatilan leikkauskapasiteetti VRd, (R-steel RVL-vaijerilenkit suunnitteluohje taulukko 3)

Jako [mm]	V <sub>Rd</sub> [kN/m]			
	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
350	181.8	199.2	215.1	230.0
400	163.3	178.9	193.2	206.5
450	145.6	159.5	172.2	184.1
500	131.4	143.9	155.4	166.2
550	119.8	131.2	141.7	151.5
600	110.1	120.6	130.3	139.3
650	101.9	111.6	120.6	128.9
700	94.9	104.0	112.3	120.0

Seinäelementtien saumat on mahdollista tehdä 2-leikkeisen harjateräslenkki kiinnityksen avulla, jolloin päästään sauman osalta suurempaan leikkauskapasiteettiin. Harjateräksen murtorajatilan leikkauskapasiteetti lasketaan kaavan 4.1 mukaan. Elementtisauman murtorajatilan leikkauskestävyys metriä kohden lasketaan kaavan 4.2 mukaan.

$$VRd,S = d^2 \times \sqrt{Fck \times Fyk} \quad (4.1)$$

jossa

VRd,S = Harjateräksen murtorajatilan leikkauskapasiteetti (MN)

d = harjateräksen halkaisija (m)

Fck = betonin ominaislujuus (MN/m<sup>2</sup>) (elementin tai sauma valun, pienempi valitaan)

Fyk = harjateräksen ominaislujuus (MN/m<sup>2</sup>)

$$Vrd = VRd,S \times 2 \times \frac{1000}{k} \quad (4.2)$$

Jossa

Vrd = Elementtisauman murtorajatilan leikkauskestävyys (MN/m)

VRd,S = Harjateräksen murtorajatilan leikkauskapasiteetti (MN)

k = Harjateräslenkkien k-jako (mm)

Aukkojen ylä- ja alapuolille kertyy suuria leikkausvoimia. Aukkojen ylä- ja alapalkit pitää mitoittaa näille leikkausvoimille. Aukkopalkkien mitoituksessa on

syytä ottaa huomioon myös mahdolliset talotekniikan reikävaraukset. Aukko-  
palkkien leikkauskestävyys tulee mitoittaa laskentamallin antamille leikkaus-  
voimille. Etabs-ohjelmassa aukkopalkit pitää määrittää spandrelleiksi ja ottaa  
palkkimitoituksen avulla leikkausvoimasuureet ks. kuvat 17 ja 18.

	314,42	175,27	
	0,00	0,00	

Kuva 17. Erään aukkopalkin Etabs ohjelman antama rauditusmäärät kummassakin päässä. Eurokoodin mukaan mitoitus ei tunne vaakaterästen rauditusmäärää joten se on 0.

ETABS 2016 Shear Wall Design						
Eurocode 2-2004 Spandrel Design						
Spandrel Details						
Story ID	Spandrel ID	Centroid X (mm)	Centroid Y (mm)	Depth (mm)	Width (mm)	LLRF
4(+13.5)	S3 <sub>A</sub>	0	7899,9	700	200	1
Material Properties						
E <sub>c</sub> (MPa)	f' <sub>c</sub> (MPa)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f <sub>y</sub> (MPa)	f <sub>ys</sub> (MPa)		
33000	C3037 (30)	C3037 (1)	A500HW (500)	A500HW (500)		
Design Code Parameters						
		Φ <sub>c</sub>	Φ <sub>s</sub>			
		1,5	1,15			
Spandrel Flexural Design—Top Reinforcement						
Station Location	Reinf Area mm <sup>2</sup>	Top Reinf Percentage	Top Reinf Combo	Moment, M <sub>13</sub> kN-m		
Left	248	0,18 %	EQUENV/STRENV	-63		
Right	190	0,14 %	EQUENV/STRENV	-6		
Spandrel Flexural Design—Bottom Reinforcement						
Station Location	Reinf Area mm <sup>2</sup>	Bot Reinf Percentage	Bot Reinf Combo	Moment, M <sub>13</sub> kN-m		
Left	190	0,14 %	EQUENV/STRENV	0		
Right	190	0,14 %	EQUENV/STRENV	12		
Shear Design						
Station Location	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup> /m	Shear kN	V <sub>Ed</sub> kN	V <sub>Rc</sub> kN	V <sub>s</sub> kN	V <sub>Rd</sub> kN
Left	314,42	EQUENV/STRENV	194	54	194	194
Right	175,27	EQUENV/STRENV	47	38	120	120

Kuva 18. Etabs ohjelman raportti kuvan 17. aukkopalkin mitoituksesta.

<b>Leikkauskestävyys</b>	$V_{Ed}/N_{Rd} =$	<input type="text" value="1,00"/>	OK
<b>Minimiraudoitus</b>	$A_{sw,tot} > A_{sw,min}$		OK
<b>Hakojen maksimiväli</b>	$S_h < S_{h,max}$		OK

Kuva 19. Skol laskentapohjan mukaan aukkopalkin leikkauskestävyyden käyttöaste Etabsin antamilla arvoilla.

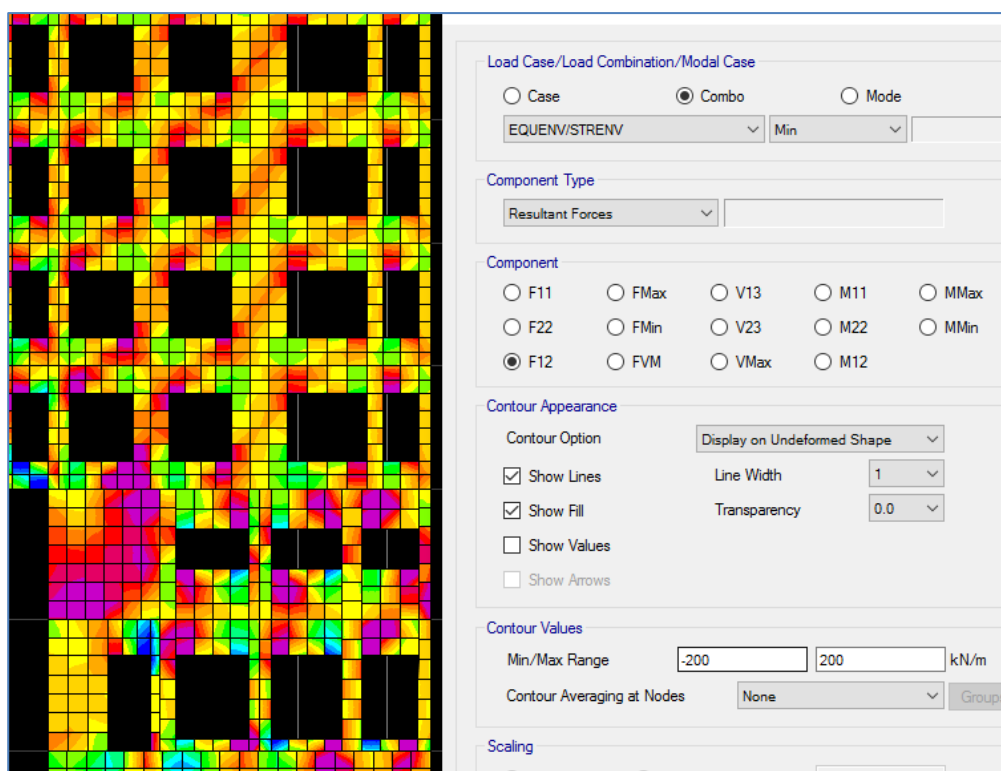
Kuvan 19 tulokset on saatu käyttäen kuvassa 18 määriteltyä leikkausvoimaa, palkin dimensioita ja raudoituksia. Tässä laskutapauksessa saadaan käyttöaste tasan 1,00 kun käytetään  $\cot \theta$ :n arvoa 2,31.  $\cot \theta$ :n arvo pitää huomioida palkin pääteräsmäärässä ja ankkuroinnissa betonirakenteiden perusteiden mukaan. ks. kaava 4.3 (EN 1992-1-1+A1+AC kaava 6.18) (Leikkausvoimasta  $V_{Ed}$  pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima  $\Delta F_{td}$ )

$$\Delta F_{td} = 0,5 V_{Ed} (\cot \theta - \cot \alpha) \quad (4.3)$$

Jossa

$\cot \theta = (1 - 2,5)$  Leikkauksessa toimivan puristussauvan kulma

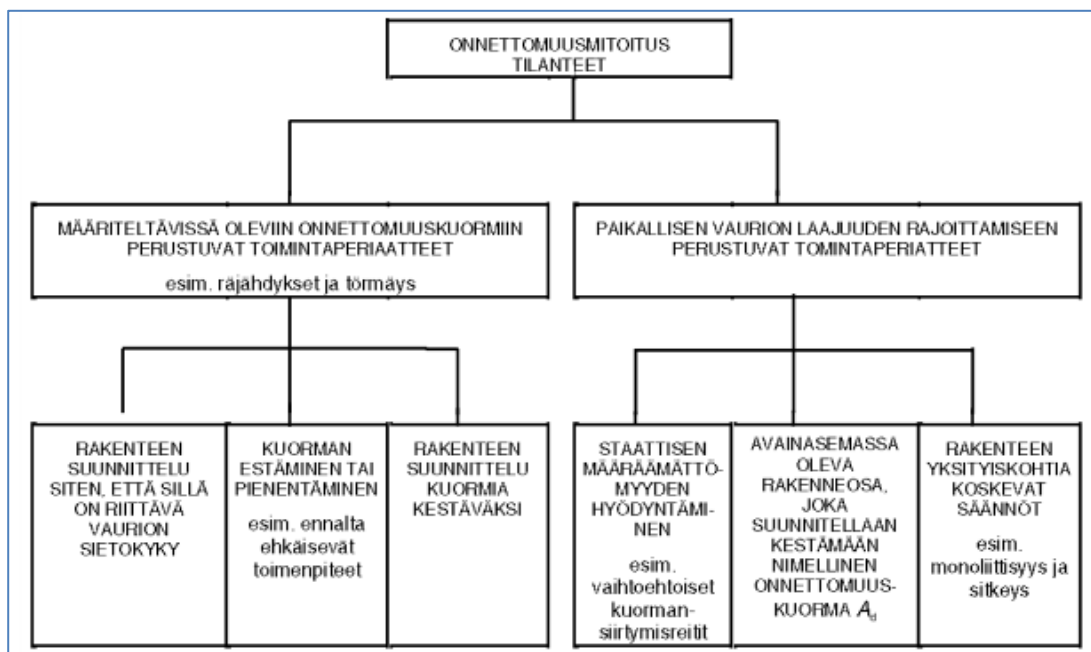
$\alpha =$  Leikkaushakojen kulma



Kuva 20. Ikkunoiden ylä- ja alapuolelle muodostuu leikkausvoimia.

#### 4.4 Onnettomuustarkastelut

Onnettomuustarkastelun perusteina ovat jatkuvan sortuman estäminen, ennakoita mahdollisia ja mahdottomia onnettomuustapauksia, sekä estää paikalliset vauriot. Onnettomuustapauksia ovat mm. räjähdykset, törmäykset, tulipalot ja elementin putoaminen.



Kuva 21. Onnettomuustilanteiden toimintaperiaatteet (EN 1991-1-7 kuva 3.1)

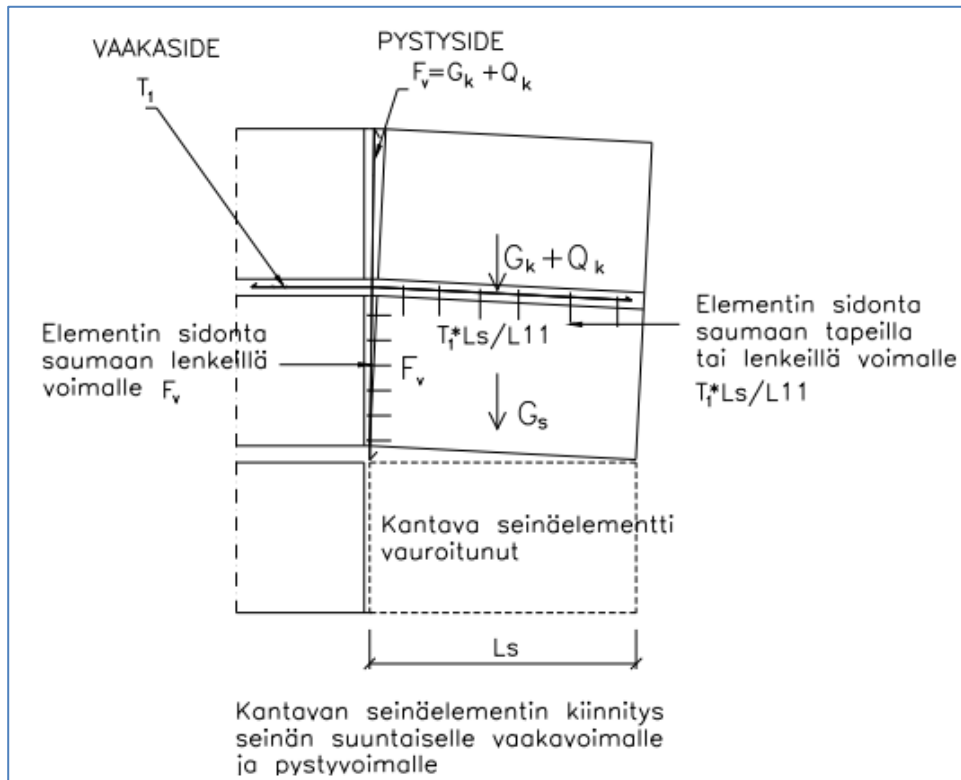
Yli 15-kerroksiset rakennukset kuuluvat onnettomuusseuraamusluokkaan 3b. 3b-luokan rakennuksiin tulee tehdä järjestelmällinen riskiarviointi, jossa otetaan huomioon ennakoitavat, sekä ennakoimattomat vaaratilanteet. 3b-luokan rakennuksissa jatkuvan sortuman estäminen voidaan tehdä mitoittamalla rakenteet avainasemassa olevina, jolloin käytetään nimellistä onnettomuuskuormaa. Esimerkiksi ajoväylän törmäyskuorma (ks. taulukko 4.). Onnettomuusrajatilalla on omat kuormitusyhdistelynsä (ks. EN 1990 +A1 + AC, luku 6.4.3.3). Onnettomuusrajatilanteiden laskennassa voidaan käyttää materiaalien murtolujuutena niiden ominaislujuutta. Onnettomuustilanteiden liitosten tarkasteluja on esitetty Betoniyhdistyksen Betoninormikortissa 23

Taulukko 4. Esimerkki taulukko onnettomuustilanteen törmäyskuormista. (EN 1991-1-7, taulukko 4.1)

Liikenteen luokka	Kuorma $F_{dx}$ <sup>a</sup> [kN]	Kuorma $F_{dy}$ <sup>a</sup> [kN]
Moottoritiet sekä valta- ja kantatiet	1 000	500
Maantiet	750	375
Taajamien tiet ja kadut	500	250
Pihat ja autotallit, joihin:		
— henkilö- ja pakettiautot pääsevät kulkemaan	50	25
— kuorma-autot pääsevät kulkemaan <sup>b</sup>	150	75

<sup>a</sup>  $x$  = normaali liikenteen suunta,  $y$  = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan.  
<sup>b</sup> Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.

Väli- ja yläpohjanlaatat sekä seinälinjat pitää mitoittaa jatkuvan sortuman estämiseksi niin että alapuolelta poistetaan seiiniä 1 kerrallaan ja käytetään onnettomuuskuormitusyhdistelmiä, sekä materiaalin ominaislujuutta murtorajati-  
lan mitoituslujuutena.



Kuva 22. kantavan seinäelementin kiinnitys jatkuvan sortuman estämiseksi. (Betoniyhdistyksen Betoninormikortti 23)



#### 4.5 Käyttörajatila

Korkean rakennuksen käyttörajatila tarkasteluissa tutkitaan rakennuksen heilumista. Eurokoodissa ei ole annettu korkean rakennuksen vaaka siirtymän maksimiarvoa. Yleisesti käytetty raja-arvo on välillä  $h/400 - h/700$ , jossa  $h$  on korkeus perustamistasosta kattoon. Yleisesti käytetty raja-arvo kerroskohtaiselle taipumalle on  $h_{\text{kerros}}/400$ .

Rakennuksen käyttörajatilatarkasteluihin kuuluu myös värähtelyn aiheuttama kiihtyvyys. Aikaisemmin luvussa 3.11 värähtely, on kerrottu värähtelyn perusteita.

#### 4.6 Halkeilun, viruman ja kutistuman merkitys

Halkeilun merkitystä rakennuksen staattisiin ja dynaamisiin ominaisuuksiin on syytä tarkastella. Yksi tapa tarkastella halkeilun vaikutusta on käyttää laskentamallissa rakenneosan muunnettua jäykkyyttä. Esimerkkinä sydänjäykisteinen 24-kerroksinen toimistorakennus, jonka viiden alimman kerroksen jäykkyyssarvot ovat 70 %, niin sen kokonaistaipuma kasvaa yli 30%. Täydellä jäykkyydellä kokonaistaipuma on 130 mm, mutta kun 5 alimmaista kerrosta on mallinnettu 70 %:n jäykkyydellä, niin kokonaistaipuma on 170 mm. Jäykkyyksien muuntelun vaikutus ominaistajuuksiin on n. 15 %. Jos rakenneosan jännitykset jäävät pienemmäksi kuin betonin vetolujuus ( $f_{ctd}$ ), niin rakenne katsotaan halkeilemattomaksi. (Wise Group Finland OY 2012.)

Viruma tarkoittaa pitkäaikaisen puristuksen vaikutusta betonin kokoonpuristuvuuteen. Viruma otetaan yleensä huomioon muuntamalla betonin kimmokerrointa virumaluvun avulla. Viruma siis lisää haitallisia muodon muutoksia. Ohjeita virumaluvun laskemiseen löytyy Eurokoodin EN 1992-1-1 liitteestä B.

$$E_{c,ef} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} \quad (4.4)$$

Jossa

$E_{c,ef}$  = Betonin tehollinen kimmokerroin

$E_{cm}$  = Betonin kimmokerroin

$\varphi$  = Virumaluku

Kutistuma tulee myös ottaa huomioon suunnitellessa korkeita rakennuksia. Kutistumat aiheuttavat muodonmuutoksia. Muodonmuutokset tulee pitää mahdollisimman pieninä. Kokonaiskutistuma koostuu kuivumisen aiheuttamasta kutistumasta sekä sisäisestä kutistumasta. Lisätietoja löytyy Eurokoodista EN 1992-1-1 luvusta 3.1.4.

#### 4.7 Palomitoitus

Korkeissa rakennuksissa suuren rakenteellisen palokestävyysvaatimuksen takia rakenteiden palomitoitus saattaa aiheuttaa rakenteille erityisvaatimuksia, kuten vähimmäispaksuuksia tai terästen vähimmäis keskiöetäisyyksiä. Eurokoodin mukaan palomitoitus voidaan tehdä kolmella menetelmällä, taulukkomitoitus, yksinkertaistetut laskentamenetelmät ja kehittyneet laskentamenetelmät.

Taulukko 5. Eurokoodin palokestävyys mitoituksen vaihtoehtoisista menetelmistä (EN 1992-1-2+AC, Taulukko 0.1)

	Taulukkomitoitus	Yksinkertaistetut laskentamenetelmät	Kehittyneet laskentamenetelmät
<b>Rakenneosatarkastelu</b> Rakenneosaa tarkastellaan erillisenä. Palon aiheuttamia välillisiä kuormia ei oteta huomioon lämpötilaeroista aiheutuvia kuormia lukuun ottamatta	<b>KYLLÄ</b> – Taulukkoarvoja on vain standardipalolle, kohta 5.1 (1) – Periaatteessa arvoja voidaan laskea muille palokäyrille	<b>KYLLÄ</b> – standardipalo ja parametrinen palo, kohta 4.2.1 (1) – lämpötilaprofiileja on vain standardipalolle, kohta 4.2.2 (1) – materiaalmallit soveltuvat vain kuumenemisnopeuden ollessa standardipalon luokkaa, kohta 4.2.4.1 (2)	<b>KYLLÄ</b> Kohta 4.3.1 (1)P Vain periaatteet esitetään
<b>Rakenteen osan tarkastelu.</b> Rakenteen osaan palosta aiheutuvat sisäiset välilliset kuormat otetaan huomioon, mutta ei ajasta riippuvaa vuorovaikutusta rakenteen muiden osien kanssa.	<b>EI</b>	<b>KYLLÄ</b> – standardipalo ja parametrinen palo, kohta 4.2.1 (1) – lämpötilaprofiileja on vain standardipalolle, kohta 4.2.2 (1) – materiaalmallit soveltuvat vain kuumenemisnopeuden ollessa standardipalon luokkaa, kohta 4.2.4.1 (2)	<b>KYLLÄ</b> 4.3.1(1)P Vain periaatteet esitetään
<b>Rakenteen kokonaistarkastelu</b> Koko rakenteen tarkastelu. Palon aiheuttamat välilliset kuormat otetaan huomioon koko rakenteessa	<b>EI</b>	<b>EI</b>	<b>KYLLÄ</b> Kohta 4.3.1 (1)P Vain periaatteet esitetään

Tässä luvussa esitellään yleisesti hyväksytyjä taulukkomitoitusratkaisuja standardipalolle 240-minuuttiin asti, yleisesti asuinkerrostalossa käytettävien rakenneosien osalta. Taulukot on laadittu kokemuksen vahvistamalla kokeellisella menetelmällä.

Taulukoiden arvot soveltuvat betonille, jossa on käytetty silikaattipitoisia kiviaineita. Jos betonissa käytetään kalkkipitoisia kiviaineita, niin poikkileikkauksen vähimmäispaksuutta voidaan pienentää 10 %. Kun käytetään taulukkomitoitusta,

toitusta, niin leikkaus-, vääntö- ja ankkurointikestävyys ei vaadi lisätarkistuksia. Kehittyneempiä laskelmamenetelmiä löytyy Eurokoodista EN 1992-1-2+AC (EN 1992-1-2+AC)

#### 4.7.1 Pilarit

Pääasiassa puristetun ja jäykistetyin pilarin palokestävyys voidaan osoittaa riittäväksi mitoittamalla se EN 1992-1-2+AC taulukon 5.2a tai 5.2b mukaan.

Tässä esitellään pilarin taulukkomitoitus 5.2a mukaan ks. taulukko 6. Taulukossa oleva hyväksikäyttöaste  $\mu_{fi}$  lasketaan kaavasta 4.5 (EN 1992-1-2+AC, kaava 5.6). Tässä taulukko mitoituksessa täytyy käyttää tiettyjä ehtoja pilarin nurjahdus pituuden ja raudoitusmäärän osalta. Pilarin nurjahduspituus palotilanteessa saa olla maksimissaan 3m ja raudoituksen pinta-ala pitää olla pienempi kuin 0,04 kertaa betonin pinta-ala.

Taulukko 6. (EN 1992-1-2+AC Taulukko 5.2a)

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Pilarin leveys $b_{net}$ / päätankojen keskiöetäisyys $a$			
	Pilarin altistus useammalta kuin yhdeltä sivulta			Altistus yhdeltä sivulta
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	–	295/70

\*\*  
Vähintään 8 tankoa  
Jännitetyillä pilareilla keskiöetäisyyttä suurennetaan kohdan 5.2(5) mukaisesti.

$$\mu_{fi} = N_{ed, fi} / N_{Rd} \quad (4.5)$$

jossa

$N_{ed, fi}$  = normaalivoiman mitoitusarvo palotilanteessa (kN)

$N_{Rd}$  = pilarin kestävyuden mitoitusarvo normaalilämpötilassa (kN)

## 4.7.2 Seinät

Ei-kantavien, osastoivien seinien vähimmäispaksuudet saadaan määritellyn palokestävyysajan EI mukaan taulukosta 7. Kantavien seinien vähimmäispaksuudet ja raudoituksen vähimmäiskeskiöetäisyydet saadaan taulukosta 8. Hyväksikäyttöaste seinien mitoituksessa ( $\mu_{fi}$ ) saadaan aiemmin pilarin mitoituksen yhteydessä mainitusta kaavasta 4.5

Taulukko 7. Ei kantavien seinien vähimmäismitat (EN 1992-1-2+AC, taulukko 5.3)

Standardipalonestävyys	Seinän vähimmäispaksuus (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Taulukko 8. Kantavien seinien vähimmäismitat ja keskiöetäisyydet (EN 1992-1-2+AC, taulukko 5.4)

Standardipalonestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Seinän paksuus / keskiöetäisyys			
	$\mu_i = 0,35$		$\mu_i = 0,7$	
	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolin
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

\* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.  
Ks. kohdasta 5.3.2 (3) hyväksikäyttöasteen  $\mu_i$  määritelmää.

### 4.7.3 Laatat

Vapaastituetun laatan alapinnan alemman raudituskerroksen vähimmäiskeskiöetäisyydet on esitetty taulukossa 9. Taulukon 9 sarakkeiden 2 ja 4 arvoja sovelletaan myös jatkuviin laattoihin, jos momentin uudelleenjakautuminen normaalimitoituksessa on enintään 15 %. Toinen tapa on mitoittaa kaikki jatkuvan laatan jänteet vapaasti tuettuina ja 1-aukkoisina laattoina käyttäen taulukon 9 arvoja (EN 1992-1-2+AC.)

Taulukko 9. Laattojen palomitoitus (EN 1992-1-2+AC, taulukko 5.8)

Standardipalonestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	laatan paksuus $h_x$ (mm)	keskiöetäisyys $a$		
		yhteen suuntaan kantava	ristiin kantava	
			$l_x/l_y \leq 1,5$	$1,5 < l_x/l_y \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

$l_x$  ja  $l_y$  ovat ristiin kantavan laatan jännemitat (kaksi toisiaan vastaan kohtisuoraa suuntaa) missä  $l_y$  on pitempi jännemitta.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiöetäisyyden suurentaminen kohdan 5.2. (5) mukaisesti.

Sarakkeiden 4 ja 5 mukainen keskiöetäisyys  $a$  ristiin kantavissa laatoissa koskee kaikilta neljältä reunalta tuettuja laattoja. Muita laattoja käsitellään yhteen suuntaan kantavina laattoina.

\* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä raudituksen betonipeite on määräävä.

### 4.8 Käyttöikä

Rakennukselle valitaan hankesuunnittelun aikana tavoitekäyttöikä. Tavoitekäyttöiän perusteella rakennukselle valitaan suunniteltu käyttöikä. Rakennuksen suunnittelunkäyttöiän perusteella valitaan eri rakenneosille oma suunnittelukäyttöikä. Periaatteena on, että mitä vaikeampaa ja kalliimpaa rakennusosan korjaaminen on, sitä pidemmäksi käyttöikävaatimus on asetettava. Esimerkiksi perustusten ja rakennuksen rungon suunnittelukäyttöiksi on valittava vähintään rakennuksen suunnittelukäyttöikä. Korkeiden rakennusten erityisvaatimuksena on mitoittaa kaikki rakenneosat 100-vuoden käyttöiällä, sillä esim. 20-kerroksen elementin ulkokuoren korjaaminen on kohtuuttoman vai-

keaa ja kallista. Käyttöikämitoitus tehdään kuten matalammissakin taloissa, yleensä taulukkomitoituksella.

Ensin määritetään rasitusluokka kyseiselle rakenteelle taulukon 10 mukaan. Sitten määritellään betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus taulukon 11 avulla. Lopuksi määritetään valmistus kuviin annettava nimellisarvo, vähimmäisarvon perusteella. Nimellisarvo = Vähimmäisarvo + Sallittu mittapoikkeama. Sallittu mittapoikkeama on yleensä 10 mm, mutta joissain erikseen määritellyissä kohteissa käytetään tarkempaa mittapoikkeamaa, joka on kuitenkin vähintään 5 mm.

Taulukko 10. (Betoniteollisuus, betonirakenteiden suunnittelu Eurokoodien mukaan, OSA2: Betonirakenteiden suunnitteluperusteet taulukko 6 rasitusluokat.)

Luokka	Kuvaus
Ei korroosiovaaraa tai rasituksia	
X0	Raudoittamaton betoni, kun ei ole merkittävää jäädytys-sulatusrasitusta, kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu betoni hyvin kuivissa olosuhteissa
Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio	
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä
XC2	Märkä, harvoin kuiva
XC3	Kohtalaisen kostea
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XD1	Kohtalaisen kostea
XD2	Märkä, harvoin kuiva
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XS1	Kosketuksessa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen
XS2	Pysyvästi veden alla
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä
Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä	
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi
Kemiallinen rasitus (XA-luokat)	

Taulukko 11. Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset eri rasitusluokille (EN 1992-1-1)

Kriteeri	Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (mm)							
	Rasitusluokka taulukon 4.1 mukaan							
	X0	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3 XS2,3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä <sup>1)</sup>	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Lujuusluokka $\geq$	C20/25 -5	C30/37 -5	C35/45 -5	C35/45 -5	C35/45 -5	C40/50 -5	C35/45 -5	C45/55 -5
RakMK B4 1-rakenneluokka	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

<sup>1)</sup> Jos rakenteen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta, on myös muut säilyvyysvaatimukset tarkistettava RakMK B4 (SFS-EN 206-1 kansallinen liite) mukaisesti.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyössä on tutkittu korkean asuinrakennuksen laadunvarmistukseen ja rakenteiden mitoitukseen liittyviä seikkoja. Tutkimus perehdyttää tekijänsä ja lukijansa korkean rakentamisen erikoispiirteisiin. Korkean rakentamisen koittimaiset laadunvarmistussäännöt ja mitoitusperiaatteet kaipaavat lisää tutkimuksia ja määritelmiä. Nykyisillä säädöksillä päästään kelvollisiin lopputuloksiin 16 - 25-kerroksisten talojen osalta, mutta ongelmana on, että korkeaa rakentamista joudutaan tutkimaan kohdekohtaisesti normitason määritelmien puuttumisen tai ylimalkaisuuden takia. Opinnäytetyössä on mitoituksen osalta viitattu kansainväliseen ISO-standardiin, koska mallia korkeaan rakentamiseen kannattaa ottaa kokeneemmilta. Etenkin laadunvarmistuksen osalta selkeämpiä ohjeita ja määritelmiä kaivataan.

Rakennusten korkeuden kasvaessa, olisi syytä tarkentaa rakenteiden mitoitusperiaatteiden vaatimuksia. Etenkin soveltaminen elementtirakenteiseen rakennukseen kaipaa lisämääritelmiä. Elementtirakenteisen betonisen kerrostalon mahdollisuudet ovat hyvin rajatut tällä hetkellä. Elementtiliitoksia olisi syytä yrittää kehittää siihen suuntaan, että niiden käyttömahdollisuudet laajenisivat korkeaa rakentamista ajatellen. Nykyisiin elementtiliitosperiaatteisiin liittyen fem-laskentamallien toimintoja voisi kehittää, kuten luvussa 4.4 on pohdittu. Siitä saisi esimerkiksi hyvän opinnäytetyön aiheen. Vastuu ohjelmien kehittämisestä on tietenkin ohjelmistojen kehittäjillä itsellään.

Mitoituksen osalta korkeat palovaatimukset ja Eurokoodin mukaiset kehittyneet palomitoitusmallit ovat vaikeaselkoiset. Niiden selvittämisestä ja mahdollisesti niiden pohjalta laadituista laskentaohjelmista voisi tehdä opinnäytetyön.

Suurin kehityskohde tulevaisuutta silmällä pitäen on rakennuksen staattisten ja dynaamisten ominaisuuksien määrittäminen. Laskentaohjelmiin pitäisi saada selkeämpi toiminta tulosten tulkinnan kannalta, sekä lisää mahdollisuuksia liitoksia silmälläpitäen.

Tulevaisuudessa tullaan määrittämään korkeaan rakentamiseen kokonaan oma ja yhtenäinen laatujärjestelmä ja toimintamalli. Korkeaa rakentamista koskevat säädökset ja normit tulevat jatkossa laajentumaan.

## LÄHTEET

Betoniyhdistyksen (BY) Betoninormikortti 27EC (raskaasti kuormitettujen kantavien seinien ja ontelolaattojen muodostama liitos)

Betoniyhdistyksen (BY) Betoninormikortti 23EC (Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille)

Gradient Wind Engineering inc Internet osoite: [www.gradientwind.com/resources/wind-tunnel-facility](http://www.gradientwind.com/resources/wind-tunnel-facility) (luettu 29.4.2017)

Helsingin kaupungin rakennusvalvonnan korkean rakentamisen rakentamistapa ohjekortit 36kpl

Helsingin kaupungin Rakennusvalvontaviraston ohje erityismenettelystä, laadittu syyskuussa 2014

ISO (International Standardization Organization) standardi (ISO 10137:2007(E))

R-steel, RVL-vaijerilenkit, suunnitteluohje

Suomen standardisoimisliitto SFS EN 1990 Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet.

Suomen standardisoimisliitto SFS-EN 1991-1-2 + AC. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset.

Suomen standardisoimisliitto SFS-EN 1991-1-4: Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat.

Suomen standardisoimisliitto SFS-EN 1991-1-7 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat.

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

Suomen standardisoimisliitto SFS-EN 1992-1-2 + AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus

Suomen rakentamismääräyskokoelma E1, Rakennusten paloturvallisuus 2011

Wise Group Finland OY, Luentodiasarja Ylikorkeat rakennukset Suomessa 1/2012

Ympäristöministeriön ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta (YM2/601/2015)

Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista (YM1/601/2015)