Eljas Nylander

# Korkeiden asuinrakennusten jäykistyksen ja rakennesuunnittelun perusteita

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

20.03.2019

Metropolia

| | |
|---|---|
| Tekijä<br>Otsikko<br><br>Sivumäärä<br>Aika | Eljas Nylander<br>Korkeiden asuinrakennusten jäykistyksen ja rakennesuunnittelun perusteita<br><br>52 sivua + 2 liitettä<br>20.03.2019 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Rakennustekniikka tutkinto-ohjelma |
| Ammatillinen pääaine | Rakennetekniikka |
| Ohjaajat | Harri Muikkula, Osastopäällikkö, Sitowise Oy<br>Jouni Kalliomäki, Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu |

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi yli 8-kerroksisten asuinrakennusten rakenneteknisiä perusasioita kuten kuormat, paloturvallisuus ja jatkuvan sortumisen estäminen.

Työssä tehtiin kohdeselvitys jo olemassa olevista yli 8-kerroksisten asuinrakennusten rakennetyypeistä, betoniluokista ja liitoksista. Opinnäytetyön tavoite oli suunnitella vaihtoehtoinen jäykistysjärjestelmä jo olemassa olevaan kohteeseen ja selvittää, olisiko ollut mahdollista toteuttaa kohde käyttämällä erilaista jäykistysjärjestelmää. Opinnäytetyö tehtiin Sitowise Oy:lle.

Työssä käytettiin apuna Suomen Rakentamismääräyskokoelmaa, Suomen Rakennusinsinööri Liiton julkaisuja ja eurokoodeja. Vaihtoehtoinen jäykistysjärjestelmä tehtiin Etabs-laskentaohjelmalla.

Korkeita asuinrakennuksia suunnitellaan samalla menetelmillä kuin tavallisiakin asuinrakennuksia, mutta kun rakennus on yli 8-kerroksinen, tulee huomioida euronormien ja viranomaisten asettamat lisävaatimukset. Yli 8-kerroksiset kuuluvat seuraamusluokkaan CC3. Onnettomuusrajatilassa 8-15-kerroksiset rakennukset kuuluvat seuraamusluokkaan 3a ja yli 16 kerroksiset kuuluvat seuraamusluokkaan 3b.

Kohdeselvityksessä voidaan todeta, että Suomessa yli 8-kerroksisia asuinrakennuksia toteutetaan samanlaisilla rakennetyypeillä ja jäykistysjärjestelmällä. Työn tarkoituksena on antaa opastusta yli 8-kerroksisten asuinrakennusten suunnitteluun. Rakennus oltaisiin voitu suunnitella ja toteuttaa käyttämällä vaihtoehtoista jäykistysjärjestelmää.

| | |
|---|---|
| Avainsanat | Korkeat asuinrakennukset, yli 8 kerroksiset rakennukset, rakennesuunnittelu, jäykistys |

| | |
|---|---|
| Author<br>Title<br><br>Number of Pages<br>Date | Eljas Nylander<br>Stiffening of High Residential Buildings and Basics of Structural Design<br><br>52 pages + 2 appendices<br>20 March 2019 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Professional Major | Structural Engineering |
| Instructors | Harri Muikkula, Departement Chief<br>Jouni Kalliomäki, Senioer Lecturer |

This thesis examines the structural issues such as loads, fire safety and the prevention of continuous collapse of residential buildings with over eight floors.

The study was carried out as a target survey of the existing building types, concrete classes and joints. The aim was to design an alternate stiffening system for an existing object and to find out whether it would have been possible to implement the object using a different stiffening system. The study was made for Sitowise Ltd.

The study was compiled with the help of the Finnish Building Regulations Collection, publications of the Finnish Construction Association, and Eurocodes. An alternative stiffening system was made using the Etabs calculation program.

High-rise residential buildings are designed in the same way as ordinary residential buildings, but when the building is over 8 stories, additional standards set by the Euro norms and authorities should be taken into account.

It can be stated in the target statement that more than 8-storey residential buildings in Finland are implemented with similar types of structures and stiffening systems. The purpose of this study is to provide guidance on the design of more than 8-storey residential buildings. The building could have been designed and implemented using an alternative stiffening system.

| | |
|---|---|
| Keywords | High Residental Buildings, Structural design, more than 8 storey buildings, stiffening |

## Sisällys


Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Korkea asuinrakentaminen 2

2.1 Historia 2
2.2 Tulevaisuus 4

3 Yli 8-kerroksisen asuinrakennuksen rakennesuunnittelu 7

3.1 Kuormat 7
3.1.1 Pysyvät ja hyötykuormat 8
3.1.2 Lumikuormat 10
3.1.3 Tuulikuormat 11
3.1.4 Muodonmuutoskuormat 16
3.1.5 Työnaikaiset kuormat 17
3.1.6 Onnettomuuskuormat 18
3.2 Jäykistämistavat 22
3.3 Paloturvallisuus 26
3.4 Ääneneristys 29
3.5 Värähtely 29
3.6 Työturvallisuus 30
3.7 Tuulitunnelikokeet 32
3.8 Jatkuvan sortumisen estäminen 33

4 Kohteet 35

4.1 As. Oy Espoon Koho 40
4.1.1 Jäykistys ja rakenneosat 42
4.1.2 Työ- ja paloturvallisuus 43
4.2 Kohteiden rakennejärjestelmäkuvaus 35
4.3 Vaihtoehtoinen jäykistysjärjestelmä 44
4.3.1 Pilarit 45
4.3.2 Seinät 46
4.3.3 Taipuma ja värähtely 47
4.3.4 Pohdinta 49

5 Yhteenveto 50

Lähteet: 51

Liitteet

Liite 1. 3D-kuva vaihtoehtoisesta jäykistysjärjestelmämallista

Liite 2. Vaihtoehtoisen jäykistysjärjestelmän tasokuva

# 1 Johdanto

Korkeita rakennuksia kutsutaan usein tornitaloiksi. Rakennusta kutsutaan tornitaloksi, jos sen korkeus on yli 35 metriä tai sen kerroskorkeus ylittää 12. Maanalaisia kerroksia ei oteta huomioon.

Opinnäytetyön aiheena on tarkoitus tarkastella korkeaa asuinrakentamista Suomessa ja käydä läpi tärkeitä asioita, jotka on hyvä ottaa huomioon suunnitteluvaiheissa. Työ antaa perusteet ja hieman yleistietoa korkeasta asuinrakentamisesta. Tarkoituksena on kuitenkin keskittyä pelkästään teräsbetonirakenteisiin. Suomessa ollaan rakennettu matalampia rakennuksia todella paljon enemmän kuin korkeita ja tämän vuoksi säädöksissä ja määräyksissä on niukasti tietoa korkeasta asuinrakentamisesta ja kokemustakaan ei hirveästi suunnittelijoilta löydy.

Työn alussa kerrotaan korkean asuinrakentamisen historiasta ja tulevaisuudesta. Näiden jälkeen käydään läpi rakennesuunnittelun kannalta kuormia, paloturvallisuutta, työturvallisuutta ja jatkuvan sortumisen estämistä ja lopuksi analysoidaan erilaisia kohteita.

Työssä käydään läpi korkean asuinrakentamisen perusasioita ja jäykistystä. Rakennesuunnittelun kannalta on tärkeää huomioida rakenneosien ja jäykistysjärjestelmän valinta. Rakenteellisia asioita, joita tullaan selvittämään tässä työssä ovat kuormat, paloluokitus, värähtely, ääneneristys, työturvallisuus, jatkuvan sortumisen estäminen ja tuulitunnelikokeet.

Opinnäytetyössä tehdään kohdeselvitystä viidestä erilaista korkeasta asuinrakennuksesta. Opinnäytetyön tavoite on suunnitella vaihtoehtoinen jäykistysjärjestelmä jo olemassa olevaan kohteeseen ja selvittää olisiko ollut mahdollista toteuttaa kohde käyttämällä erilaista jäykistysjärjestelmää.

Kirjallisuusosiossa aineistona käytetään betoniteollisuuden oppikirjoja ja nettisivuja, eurokoodien ja Suomen rakentamismääräyskokoelmien asettamia vaatimuksia ja kokeneiden rakennesuunnittelijoiden ohjeita ja mielipiteitä. Kohdeselvityksessä

aineistona käytetään yrityksien omia tiedostoja, kuten laskelmia, Etabs 3D -laskentaohjelmaa, piirustuksia ja muita tärkeitä kohteeseen liittyvää.

# 2 Korkea asuinrakentaminen

## 2.1 Historia

Korkea asuinrakentaminen Suomessa on tällä hetkellä kovassa kasvussa. Suomessa aloitettiin jo 1950-luvulla rakentamaan korkeita asuinrakennuksia ja vuonna 1955 Suomessa valmistui ensimmäinen korkea asuinrakennus. Suomessa ensimmäinen rakennettu korkea asuinrakennus on nimeltään Amurinlinna, joka on 14-kerroksinen ja on korkeudeltaan 44 metriä. Amurinlinna sijaitsee Tampereella ja sen suuren korkeutensa vuoksi, sitä voitiin jo kutsua Suomen ensimmäiseksi pilvenpiirtäjäksi. Nykyään luokitteluperuste on muuttunut, koska vasta 100-metristä taloa voidaan kutsua pilvenpiirtäjäksi. [1.]

Kuva 1. Suomen ensimmäinen yli 40 m rakennettu asuinrakennus, Amurinlinna [1.]

Korkea asuinrakentaminen Suomessa 1950-1999-lukujen välissä on ollut vielä vaatimatonta verrattuna muun maailman asuinrakennuksiin. Suomessa 2000-luvulle

oltiin jo toki rakennettu kymmeniä asuinrakennuksia, mutta niiden korkeudet olivat 40-55 metrin välissä ja kerroskorkeudeltaan n olivat välillä 13-17. [3.]

1999-luvulla valmistui aikansa korkein asuinrakennus Meritorni, joka sijaitsee Espoossa. Meritornin korkeus on jopa 70 metriä ja siinä on 22 kerrosta. Meritorni piti titteliään korkeimpana asuinrakennuksena vuoteen 2006 asti. Tänä päivänä Meritorni on Suomen kolmanneksi korkein asuinrakennus ja Espoon toiseksi korkein. Tällä hetkellä Espoon korkein asuinrakennus on Niittyhuippu, joka on 85 metrin korkeudessa maan pinnasta mitattuna ja siinä on 24 kerrosta. [4, 7.]

Vuonna 2006 Suomessa oltiin jo rakennettu yli 50 korkeaa asuintaloa ja näistä korkein on Helsingissä sijaitseva Cirrus-tornitalo, joka on korkeudeltaan 87,5 metriä ja siinä on 26 kerrosta. Tällä hetkellä Cirrus-tornitalo on Suomen korkein asuinkerrostalo, mutta Cirrus ei ole korkein rakennus Suomessa. [5.]

Kuva 2. Suomen tällä hetkellä korkein asuinrakennus, Cirrus [6.]

Suomen korkea rakentaminen ei ole kuitenkaan samalla tasolla kuin muualla maailmassa. Esimerkiksi maailman korkein asuinrakennus on tällä hetkellä New Yorkissa sijaitseva 432 Park Avenue. Tämän pilvenpiirtäjän korkeus on 426 metriä, joka on vähän alle viisi kertaa korkeampi kuin Suomen korkein asuinrakennus. 432 Park Avenue pilvenpiirtäjässä on yhteensä 96 kerrosta. Sitä ruvettiin rakentamaan

2012 ja se valmistui joulukuun lopussa 2015. Dubaissa on pilvenpiirtäjä (Burj Khalifa), joka on nimetty maailman korkeimmaksi rakennukseksi. Burj Khalifan rakennustyöt aloitettiin syyskuussa 2004 ja tornin avajaiset pidettiin 2010 loppuvuodesta ja silloin tornin korkeudeksi mitattiin 828 metriä. [8, 9.]

Kuva 3. Burj Khalifa, maailman korkein rakennus [10.]

## 2.2 Tulevaisuus

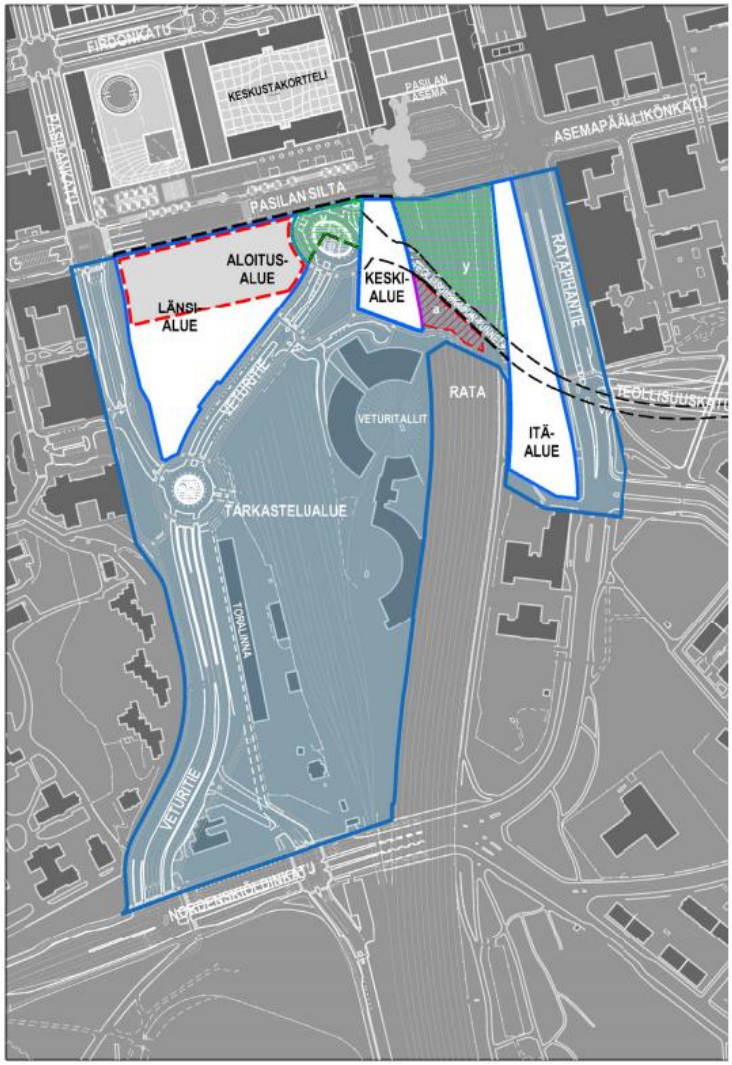
Suomessa on tällä hetkellä menossa monta erilaista korkean asuinrakentamisen hanketta. Yksi syy siihen on tilan loppuminen ydinkeskustoissa. Suomen suurimmista kaupungeista halutaan tehdä suurkaupunkeja korkean rakentamisen myötä ja nämä kaupungit ovat muun muassa Helsinki, Tampere, Espoo, Vantaa ja Turku. Vaikka ydinkeskustoissa tonttialuetta on vähän ja sitä myötä halutaan rakentaa ylöspäin, niin se ei ole kuitenkaan ainoa syy korkeaan rakentamiseen, vaan halutaan myös tuoda asukkaat ja työpaikat lähelle toisiaan. Ydinkeskustoissa suurena hyötynä on liikkuminen julkisilla ajoneuvoilla ja asuntojen ja liiketilojen pienet välimatkat. Korkea rakentaminen symbolisoi myös taloudellisesti menestyvää kaupunkia tai yritystä ja tämän avulla Suomeen pyritään tuoda enemmän turismia. Muulle maailmalle halutaan myös näyttää oma osaaminen ja kehitys korkeasta rakentamisesta. [11.]

Helsingin Pasilaan suunnitellaan tällä hetkellä korkeita rakennuksia, joihin yhdistyy asuintilat, hotelli, toimistot ja liiketilat. Tätä kutsutaan Helsinki High Rise -hankkeeksi. Helsinki High Rise on arkkitehtuuri- ja toteutuskilpailu. [12.]

Helsinki High Rise:n kilpailutus aloitettiin alkuvuodesta 2017 ja siihen sisältyi kaksi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa kilpailijat tekivät luonnossuunnitelman koko suunnittelualueelle rakennettavista tornitaloista ja ehdotuksia oli 10 kappaletta. Jatkoon päässeitä oli 4. Alla olevassa kuvassa on jatkoon päässeiden ehdotukset. [12.]

Kuva 4. Sponsa Oyj (vasen ylä, Kvartsi), YIT Rakennus Oy (vasen ala, Trigoni), Skanska Talonrakennus Oy, Skanska CDF Oy ja Sato-Rakennuttajat Oy (oikea ylä, Etelä-Pasila), Fira Oy, Bonava Suomi Oy ja NREP Oy (Oikea ala, Silva) [13.]

Toisessa vaiheessa jatkoon päässeet tekivät tarkemman suunnitelman aloitusalueelle sijoitettavista tornitaloista. Kun toisen vaiheen tehdyt tarkemmat suunnitelmat Keski-Pasilan tornitaloista olivat arvioitu, valittiin 2 finalistia Trigoni ja Etelä-Pasila. Loppujen lopuksi arvioitiin vielä näiden finalistien ehdotukset ja voittajaksi nimettiin YIT:n Trigoni-ehdotus. Alla olevassa kuvassa näkyy suunnittelualue Keski-Pasilan tornitaloille. [12, 14.]




Kuva 5. Keski-Pasilan suunnittelualue [15.]

Aloitusalueelle voidaan ruveta rakentamaan tornitaloja asemakaavan vahvistuttua ja sen rakentaminen aloitetaan vuonna 2020-2021. Trigonin luonnoksessa aloitusalueella rakennetaan 2 tornitaloa ja jalusta, joista ensimmäinen on 180 metriä korkea ja siinä on 51 kerrosta ja toinen on 140 metriä korkea ja siinä on 40 kerrosta. Ensimmäiseen tornitaloon kilpailuehdotuksen mukaan on suunniteltu hotelli, asuntoja ja näköalaravintola ja toisen tulee toimistoja ja asuntoja. Jalustaan tulee muun muassa kaupallisia tiloja, kivijalkamyymälöitä ja pysäköintipaikkoja. Näiden 2 tornitalon ja jalustan katoille suunnitellaan oleskelutiloja. Pelkästään aloitusalueelle muodostuu rakennusten valmistuttua noin 500 asuntoa, 300 hotellihuonetta ja 1000 työpaikkaa. Kaiken kaikkiaan suunnittelualueelle tullaan rakentamaan 9 tornitaloa ja jalusta. Kaikki 9 tornitaloa kilpailuehdotuksen mukaan ovat suunniteltu tasasivuisiksi kolmioiksi. [16.]

Kuva 6. Keski-Pasilan alueella rakennettavia Trigoni-tornitaloja [17.]

Yllä olevassa kuvassa 3D-havainnekuva Trigoni-tornitaloista

# 3 Yli 8-kerroksisen asuinrakennuksen rakennesuunnittelu

## 3.1 Kuormat

Asuinkerrostaloon muodostuu sen elinkaaren aikana monta erilaista kuormitustekijää, jotka tulee ottaa huomioon rakennuksen suunnittelussa. Korkeissa asuinrakennuksissa kuormat ovat suurempia kuin matalimmissa asuinrakennuksissa, joten kuormat ja kuormitusyhdistelmien tarkastelut ovat erityisen tärkeää. [18.]

Kuormitusyhdistelmiä lasketaan murto- ja käyttörajatilassa. Kun mitoitetaan rakenteen jäykkyyttä, siihen vaikuttaa monta erilaista kuormitustekijää samanaikaisesti kuten

pysyvät-, hyöty-, tuuli- ja lumikuormat. Korkeita asuinrakennuksia mitoitetaan samoilla menetelmillä kuin tavallisiakin rakennuksia. Se mikä pitää muistaa murtorajatilaa mitoittaessa varsinkin korkeille rakennuksille, on kuormituskerroin $K_{fi}$. Alla olevasta taulukosta nähdään, että seuraamusluokka yli 8 krs. tai yli 28 m rakennuksille on CC3. [18.]

Taulukko 1. Seuraamusluokat [18.]

| Seuraamusluokka | Kuvaus | Rakennuksia sekä rakenteita koskevia esimerkkejä |
|---|---|---|
| CC3 | Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia | Rakennuksen kantava runko [1)] jäykistävine rakennusosineen sellaisissa rakennuksissa, joissa usein on suuri joukko ihmisiä kuten<br>• yli 8-kerroksiset [2)] asuin-, konttori- ja liikerakennukset<br>• konserttisalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot<br>• raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset<br>Erikoisrakenteet kuten esim. suuret mastot ja tornit<br>Luiskat sekä penkereet ja muut rakenteet hienorakeisten maalajien alueilla siirtymien haittavaikutuksille herkissä ympäristöissä |
| CC2 | Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia | Rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1 |
| CC1 | Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia | 1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä kuten esim. varastot<br>Rakenteet, joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää vaaraa kuten<br>− matalalla olevat alapohjat ilman kellaritiloja<br>− ryömintätilaiset vesikatot, kun yläpohja on varsinainen kantava rakenne<br>− sellaiset ulko- ja väliseinät, ikkunat, ovet ja vastaavat, joihin pääasiassa kohdistuu ilman paine-eroista aiheutuva sivuttaiskuormitus ja jotka eivät toimi kantavan tai jäykistävän<br>rungon osana<br>− standardin SFS-EN 1993-1-3 rakenneluokkien (structural class) II ja III muotolevyrakenteet.<br>− standardin SFS-EN 1993-1-3 rakenneluokan (structural class) I muotolevyrakenteet levyyn taivutusta aiheuttaville pintaa vasten kohtisuorille kuormille [3)]. |

### 3.1.1 Pysyvät ja hyötykuormat

#### 3.1.1.1 Pysyvät kuormat

Pysyviä kuormia ovat muun muassa kiinteät rakennusosat, jotka asentamisen jälkeen eivät muutu tai siirry rakentamisen aikana tai talon valmistumisen jälkeen. Tällaisia ovat sekä kantavat että ei-kantavat rakenneosat ja muut pysyvät kuormat. Kantaviin rakenneosiin kuuluu kantavat ulkoseinät, väliseinät, laatat, pilarit, anturat ja palkit. Ei-kantaviin rakenneosiin kuuluu ei-kantavat seinät, kevyet väliseinät. Muiksi pysyviksi

kuormiksi voidaan luokitella muun muassa täytemaa esimerkiksi, vaikka maan pinnalla tai vesikatolla oleva hiekka-, kevytsora-, sepelikerros tai joku materiaalitäyte. [18.]

Pysyvät kuormat lasketaan sen tilavuuspainon ja rakennusosan koon mukaan. Teräbetonin tilavuuspaino on 25 kN/m$^3$ ja pelkän betonin on 24 kN/m$^3$. Esimerkiksi seinältä tuleva kuorma laskentaan 25 kN/m$^3$ * korkeus * paksuus = kN/m. Korkeissa asuinrakennuksissa pysyvät kuormat ovat huomattavasti suurempia, kuin tavallisissa asuintaloissa, koska rakennusosia on enemmän. [18.]

#### 3.1.1.2 Hyötykuormat

Hyötykuormat ovat voimia, jotka vaikuttavat rakennukseen piste-, pinta- ja viivakuormana. Tällaisia kuormia ovat esimerkiksi oleskelukuormat, tavarakuormat, kokoontumiskuormat ja erilaiset ripustukset. Hyötykuormat vaikuttavat rakennukseen sen rakentamisen aikana ja käyttöönotonkin jälkeen. Alla olevassa taulukossa on hyötykuormien ominaisarvoja [18.]

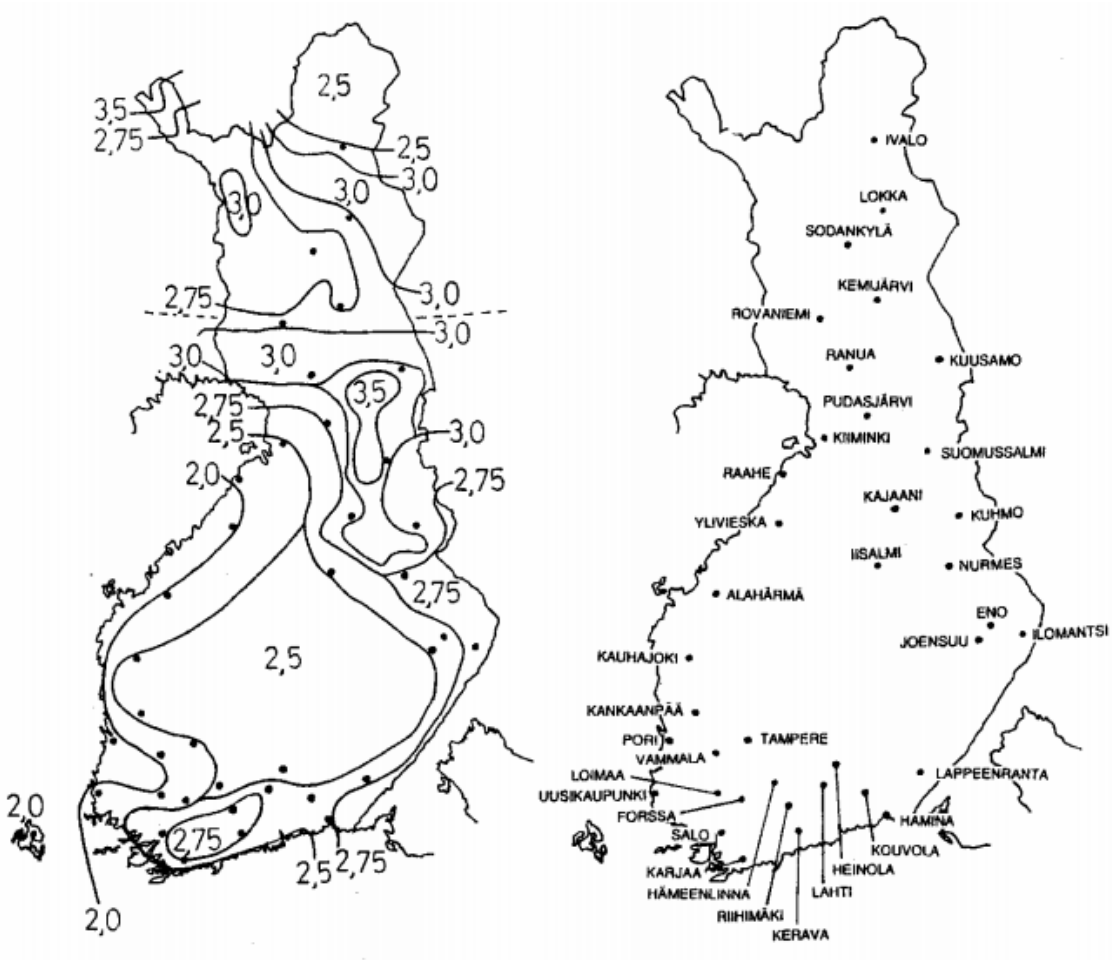
Taulukko 2. Rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden vähimmäishyötykuormat [18.]

| Kuormitettujen tilojen luokat | $q_k$ [kN/m$^2$] | | | $Q_k$ [kN] |
|---|---|---|---|---|
| | Välipohjat | Portaat | Parvekkeet | |
| Luokka A (asuin ja majoitustilat) | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,0 |
| Luokka B (toimistotila) | 2,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 |
| Luokka C (kokoontumistilat) | | | | |
| – C1 (tilassa pöytiä) | 2,5 | 3,0 | 2,5 | 3,0 |
| – C2 (tilassa kiinteät istuimet) | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| – C3 (ei liikkumista raj. esteitä) | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 |
| – C4 (liikuntatilat) | 5,0 | 3,0 | 5,0 | 4,0 |
| – C5 (tungoskuorma yleisötilassa) | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 4,0 |
| Luokka D (myymälätilat) | | | | |
| – D1 (vähittäiskaupat) | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 |
| – D2 (tavaratalot) | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 7,0 |

Korkeissa asuinkerrostaloissa hyötykuormat lasketaan samalla tavalla kuin muissakin normaalikokoisissa kerrostaloissa. Hyötykuormat pyritään siirtämään vaakarakenteilta pystyrakenteille ja sitä kautta maaperään samalla tavalla kuin pysyvätkin kuormat. [18.]

### 3.1.2 Lumikuormat

Lumikuormat määritellään Suomessa maanpinnalle sataneen lumen ominaisarvon ja lumikuorman muotokertoimen perusteella. Lumikuorman muotokerroin määräytyy sen mukaan, minkälainen katto on kyseessä ja onko katolla lumiesteitä. Korkeissa asuinrakennuksissa pyritään suunnittelemaan lumiesteitä, jotta lumen putoamisen riski saataisiin hallintaan. Korkeissa asuinrakennuksissa katon muoto on yleensä tasakatto. Kun lunta sataa rakennuksen katolle ja katolla on lumiesteitä, lumi kerääntyy aiheuttaen tasaisen kuormituksen rakennuksen kantaville rakenteille. Alla olevassa kuvassa on maan pinnalle sataneen lumen ominaisarvo. [18.]

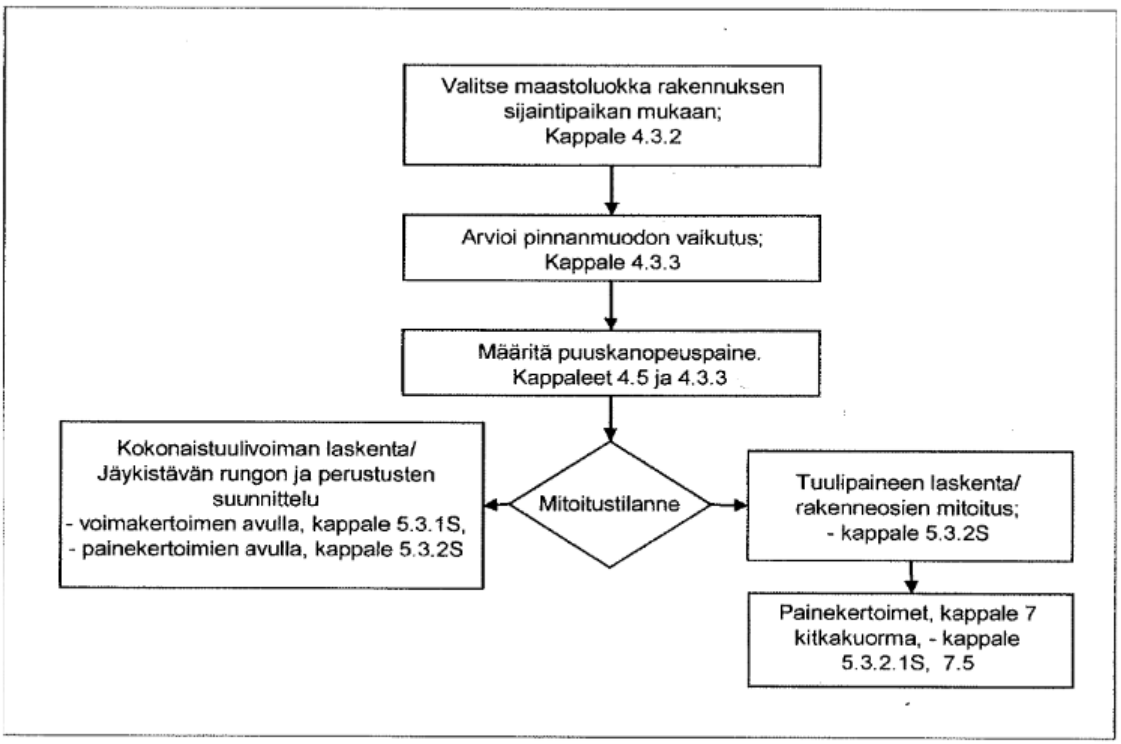



Kuva 7. Ominaislumikuormat maassa rakennuspaikan sijaitessa alueella, jossa arvo ei ole vakio [18.]

### 3.1.3 Tuulikuormat

Tuulikuormat luokitellaan yleensä vaakakuormiksi, jotka rasittavat talon kantavia ja jäykistäviä rakenteita. Tuulikuormat ovat yksi tärkeimmistä korkealle rakennukselle aiheutuvista kuormista, koska mitä korkeampi ja hoikempi rakennus on, sitä helpommin tuulikuormat vaikuttavat siihen. Tuulikuormat aiheuttavat jäykistäville rakenteille taipumia ja värähtelyä. Mikäli tarvitaan lisätarkasteluja, tehdään ne tuulitunnelikokeilla, joista kerrotaan toisessa luvussa. [18.]

Tuulikuormat voidaan laskea koko rakennukselle tai tietylle rakennusosalle. Yleensä tuulikuormat lasketaan joko paineiden tai voimien avulla. Paineiden tai voimien joukot ovat yhtä suuria kuin suurimmat tuulenpuuskat. Tuulennopeuden perusarvo on 21 m/s ja tämän ylittämistodennäköisyys on 2 %. Tuulennopeutta mitataan 10 minuutin verran 10 metrin korkeudessa laakealla maaseudulla. [18.]




Kuva 8. Kulkukaavio tuulivoiman laskentaa varten [18.]

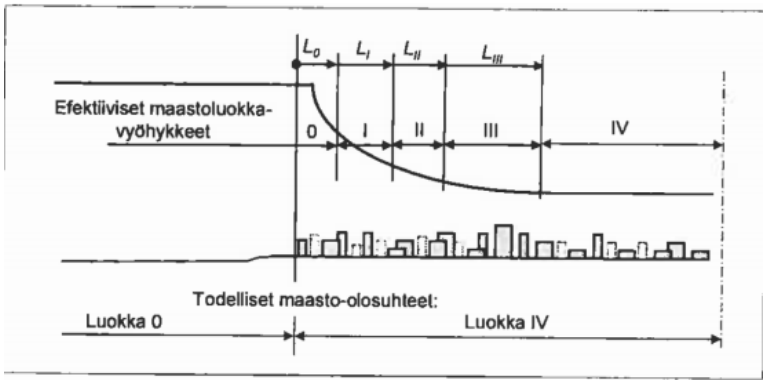
Yllä olevasta kuvasta näkyy, kuinka tuulikuormien mitoitus tapahtuu koko rakennukselle tai rakennusosalle.

### 3.1.3.1 Tuulikuormien määritys

Kun selvitetään, että minkälaisia tuulikuormia kohdistuu rakennukseen tai rakennuksen osiin, täytyy ensimmäiseksi tietää mihin rakennus tehdään eli mihin maastoluokkaan se kuuluu. Maastoluokat ovat jaoteltu viiteen eri osaan 0-IV ja kuvasta 9 nähdään eri maastoluokkien määritelmät. Maastoluokka 0 antaa suurimman kuorman tuulenpaineelle ja maastoluokka IV antaa pienimmän arvon tuulenpaineelle. [18.]

Kuva 9. Maastoluokat tuulikuormien laskentaa varten [18.]

Maastoluokan valinta riippuu siitä, missä kyseinen rakennus sijaitsee ja minkälainen on maaston rosoisuus. Kuvasta 9 katsotaan ensin, mikä on maastoluokka ja tämän jälkeen tarkastellaan maastoluokkien muutoskohdat. [18.]




Kuva 10. Efektiivisen maastoluokan valinta meren lähellä olevilla kaupunkialueilla [18.]

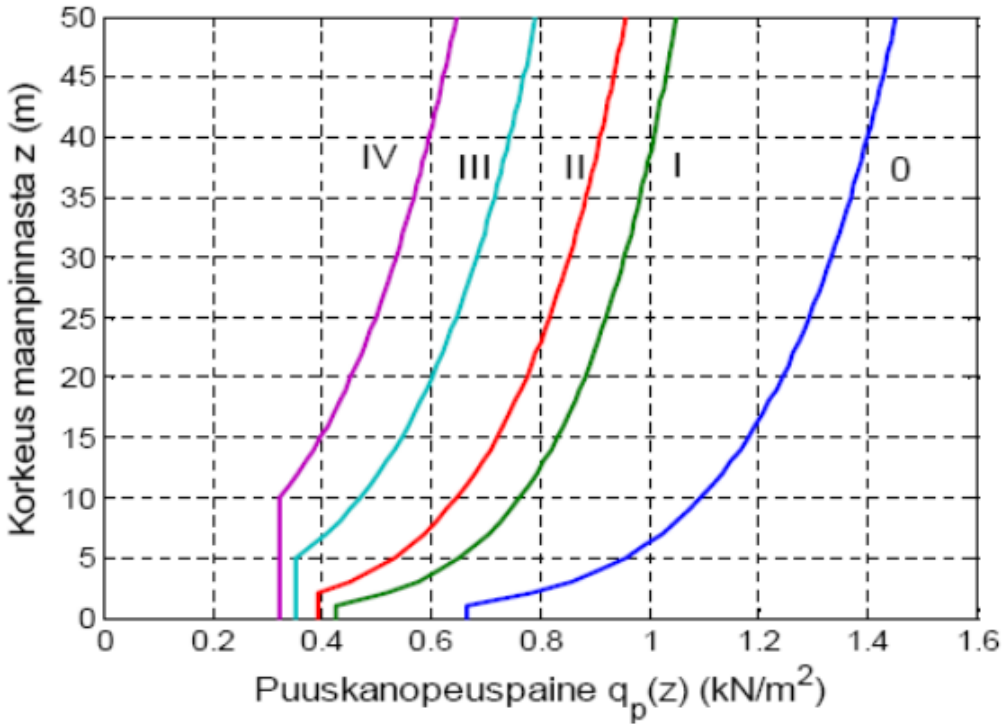
Kuvassa 10 ja taulukossa 3 on hyvin esitetty, kuinka maastoluokka valitaan, mikäli rakennus on kaupungissa ja lähellä merta.

Taulukko 3. Äkillisen maastoluokan vaikutusten huomioiminen, kun muutos tapahtuu luokasta 0 suoraan luokkaan IV [18.]

| | Efektiivisten maastoluokkien rajat | | | |
|---|---|---|---|---|
| z (m) | $L_0$ (km) | $L_I$ (km) | $L_{II}$ (km) | $L_{III}$ (km) |
| 60 | 2,0 | 4 | | |
| 40 | 1,0 | 2,0 | 10 | |
| ≤ 20 | 0,5 | 1,0 | 2 | 10 |

Maanpinnan muoto on myös oleellinen asia tuulikuormia laskettaessa. Kaupungissa yleisesti maanpinnan kaltevuudet ovat yleensä niin pieniä, että niitä ei tarvitse ottaa huomioon. Mutta mikäli maanpinnan kaltevuus on tarpeeksi paljon, se täytyy ottaa lisäävänä tekijänä huomioon jo alkuvaiheessa. [18.]

Maastoluokan määrittämisen jälkeen, voidaan käyttää kuvan 11 olevia arvoja nopeuspaineen määrittämiseksi. Kuvan 11 nopeuspaineen arvot ovat saatu tuulennopeuden perusarvoa käyttäen. Nopeuspainetta eli puuskanopeuspainetta käytetään eri rakenneosien ja rakennuksen mitoitukseen. [18.]



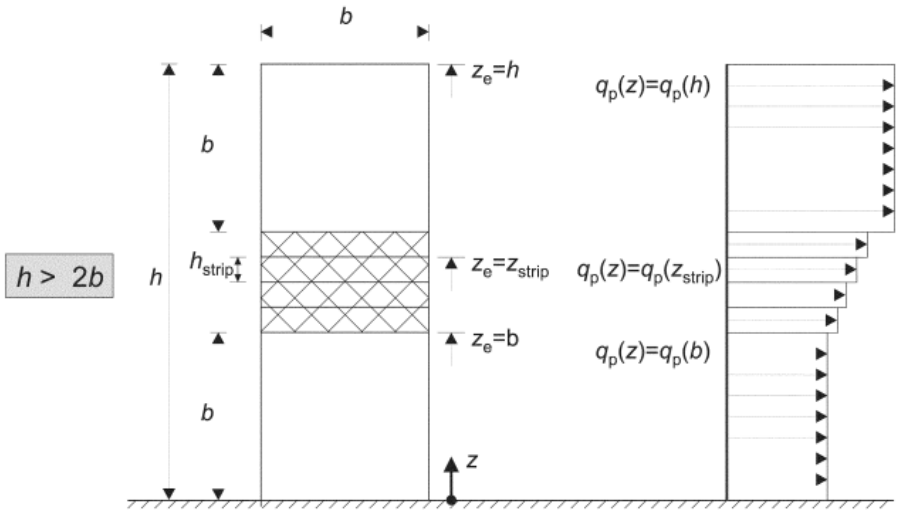

Kuva 11. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa tietyllä korkeudella [18.]

Mikäli rakennus on korkeampi kuin 50 metriä, voidaan käyttää alla olevaa kaavaa. Alla oleva kaava antaa tarkemman arvon tuulen nopeuspaineelle. Rakennuksen korkeus laitetaan max(z) tilalle. Arvo syötetään metreinä.

$$q_{p0}(z) = \begin{pmatrix} 0{,}00893 * \left[\ln\left(\frac{\max(1,z)}{0{,}003}\right)\right]^2 + 0{,}0625 * \ln\left(\frac{\max(1,z)}{0{,}003}\right), maastoluokka\ 0 \\ 0{,}00794 * \left[\ln\left(\frac{\max(1,z)}{0{,}01}\right)\right]^2 + 0{,}0556 * \ln\left(\frac{\max(1,z)}{0{,}01}\right), maastoluokka\ 1 \\ 0{,}00995 * \left[\ln\left(\frac{\max(2,z)}{0{,}05}\right)\right]^2 + 0{,}0697 * \ln\left(\frac{\max(2,z}{0{,}05}\right), maastoluokka\ 2 \\ 0{,}01279 * \left[\ln\left(\frac{\max(5,z)}{0{,}3}\right)\right]^2 + 0{,}0895 * \ln\left(\frac{\max(5,z)}{0{,}3}\right), maastoluokka\ 3 \\ 0{,}01513 * \left[\ln\left(\frac{\max(10,z)}{1{,}0}\right)\right]^2 + 0{,}1059 * \ln\left(\frac{\max(10,z)}{1{,}0}\right), maastoluokka\ 4 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Tuulikuormat eli tässä tapauksessa tuulenpaine vaikuttavaa rakennusosien ulko- ja sisäpintoihin. Tuulenpaine lasketaan nopeuspaineen ja painekertoimen avulla. Molempiin sisä- ja ulkopintoihin on laadittu omat painekertoimet, jotka löytyvät eurokoodin kansallisesta liitteestä. [18.]

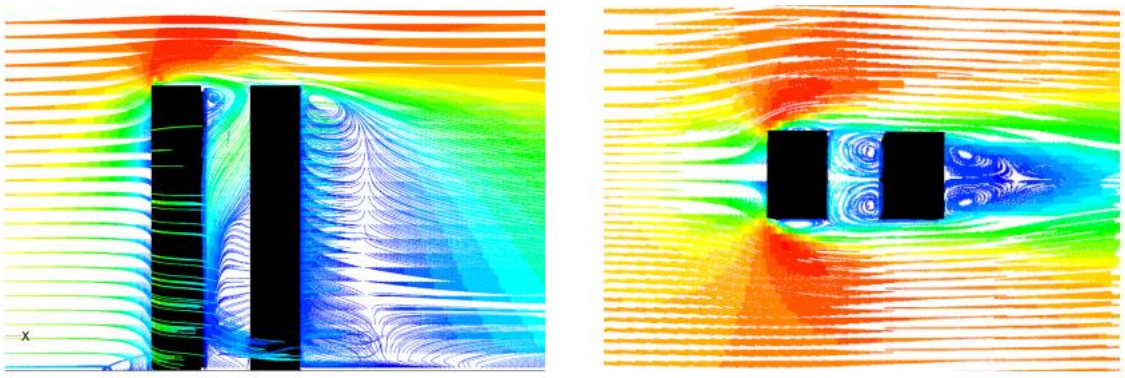
Korkeiden rakennusten tuulikuormien mitoittaessa pyritään yleensä jakamaan kuormat osiin niin, että tarkastelut tapahtuvat rakennuksen ala-, keski- ja yläosassa. Kuormat lasketaan joko tuulenpaineen avulla tai kokonaistuulivoimaa käyttäen. Kokonaistuulivoima ottaa geometrian puolelta huomioon rakennuksen leveyteen, pituuteen ja korkeuteen vaikuttavat asiat. Kokonaistuulivoimaa käytetään myös siinä tapauksessa, kun halutaan tietää minkälaisia voimia ja momentteja perustuksiin syntyy. Alla olevasta kuvasta voidaan katsoa, minkälaisen nopeuspaineen tuulikuormat aiheuttavat rakennuksen sivuun. [18.]




Kuva 12. Korkeiden rakennusten kuormien jakautuminen. [18.]

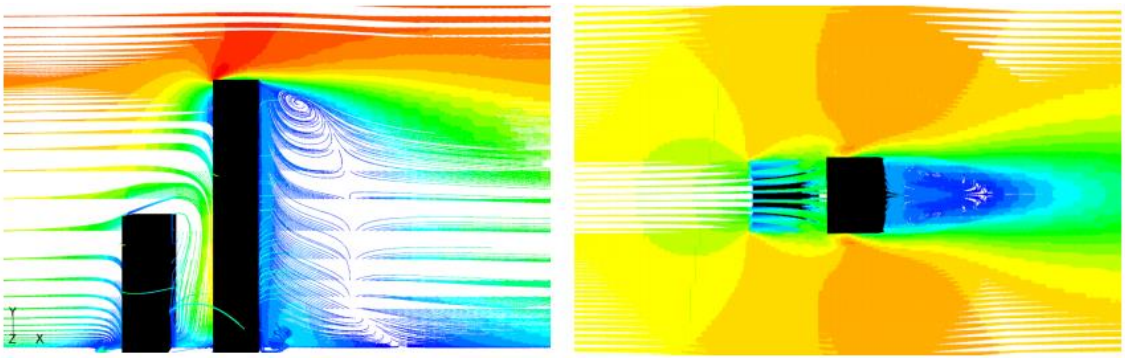
Tuulen käyttäytyminen korkeaa asuinrakennusta kohtaan riippuu tuulen nopeudesta ja minkälaisesta kulmasta se tulee. Siihen myös vaikuttaa ympäröivien rakennusten korkeudet ja muodot. [18.]

Kuvassa 13 nähdään kaksi saman korkuista rakennusta, ja molemmilla rakennuksilla on tasakatot. Kuvasta näkyy kuinka tuulikuormat käyttäytyvät rakennuksen kohdatessa. Ne pyrkivät kiertämään rakennukset joko yläkautta tai sivukautta. Punainen väri tarkoittaa, että tuulenpaine on korkeimmillaan ja sininen väri tarkoittaa, että siinä kohdassa on alipainetta eli imukuormaa. [18.]



Kuva 13. Pysty- ja vaakatasokuvia tuulikuorman vaikutuksista saman korkuisiin rakennuksiin [20.]

Kuvassa 14 on hieman eri asetelma. Siinä on kaksi erikorkuista rakennusta ja tuulenvaikutus on hieman erilainen kuin kuvassa 13.



Kuva 14. Pysty- ja vaakatasokuvia tuulikuorman vaikutuksista erikorkuisiin rakennuksiin [20.]

### 3.1.4 Muodonmuutoskuormat

Muodonmuutos kuormat ovat muuttuvia kuormia. Tällaisia kuormia ovat muun muassa kutistuma, viruma, kosteus ja lämpötilavaihtelut. Kutistuma ja viruma ovat rakenteen sisäisiä muodonmuutoksia, jotka riippuvat lämpötilasta, kosteudesta ja materiaalin ominaisuuksista. [19.]

Lämpötilakuormat vaihtelevat Suomessa vuorokauden ja vuodenajan mukaan. Kesällä rakenteet rasittuvat joko suorasta auringon säteilystä tai pelkästään auringon tuottamasta lämmöstä. Kesällä on myös huomioitavaa se, että ilman suhteellinen kosteus on suurimmillaan. Talvella asia on päinvastoin eli ilman suhteellinen kosteus

on pienimmillään ja rakenneosia kuormittaa pakkanen, lumi ja jää. Talvella on myös tärkeää huomata, että rakenneosat pyrkivät laajentumaan. Keväällä ja syksyllä rakennusta rasittavat runsaat tai melko runsaat sateet. Sateiden takia rakenteissa voi tapahtua halkeilua, hetkellistä turpoamista tai haurastumista. [19.]

Muodonmuutokset rakenteessa riippuvat siitä, mikä on rakenteen tuenta tapa, geometria ja pituuden lämpötilakerroin. Betoni ja teräs toimivat hyvin yhdessä lämpötilavaihteluja vastaan, koska molemmilla materiaaleilla on sama pituuden lämpötilakerroin. [19.]

Paikallinen puristus otetaan aina huomioon, jos rakennuksessa on pilareita, jotka ovat poikkileikkaukseltaan erikokoisia ja kerroksittain samassa kohdassa. Korkeissa asuinrakennuksissa täytyy myös huomioida kutistuman ja viruman aiheuttamat muodonmuutokset. Korkeissa rakennuksissa kuormat suurempia kuin tavallisissa rakennuksissa, jolloin pilareiden kutistuminen ja viruminen aiheuttavat muodonmuutokset ovat paikallisen puristuksen mitoituksessa suuressa merkityksessä. [32.s.5, 32.s.13-14.]

### 3.1.5 Työnaikaiset kuormat

Työnaikaiset kuormat voivat olla joko muuttuvia liikkuvia kuormia tai pysyviä kiinteitä kuormia. Jokaisessa rakennuskohteessa pyritään aina hankekohtaisesti määrittämään työnaikaisia kuormia, jotka merkataan asiakirjoihin. Työnaikaiset kuormat suunnitellaan jo ennen rakentamista, jotta pystytään ottamaan kaikki kuormitustapaukset huomioon. Työnaikaiset kuormat lasketaan ominaisarvojen avulla, jotka löytyvät eurokoodin liitteistä. Työnaikaisiin kuormiin tulee huomioida kuormituksen kesto, vahvuus ja tyyppi. Kuormituksen kesto riippuu rakennuskohteen laajuudesta ja kuormitustapauksesta. Kuormitus voi rasittaa rakennetta tai rakenteita eri tavalla joko pistemäisenä tai tasaisesti jakautuneena kuormana. [19.]

Korkeilla asuinrakennus työmailla työnaikaiset kuormat ovat samantyyppisiä kuin tavallisilla asuinrakennuksilla. Pieniä liikkuvia muuttuvia kuormia aiheutuu muun muassa henkilöistä, käsityökaluista, rakennusmateriaaleista ja laitteista. Näiden kuormien ominaisarvot ovat välillä 0,5-1,0 kN/m$^2$. Korkeilla rakennustyömailla yleensä käytetään raskasta kalustoa, joihin kuuluu nosturit, hissit, ajoneuvot ja raskaat

nostolaitteet yms. Nämä kuormat pitää suunnitella ja huomioida erikseen ja merkitä asiakirjoihin, jotta kuormista ei synny vaaraa työntekijöille tai rakennukselle. [19.]

Rakennustyömailla muodostuu myös kuormia paikallavaluna tai elementtiasennuksen yhteydessä. Paikallavalukuormia muodostuu muoteista, tuoreesta betonista tai työtelineistä. Elementeistä muodostuu kuormia kuljetuksen ja asennuksen yhteydessä. Kun elementit asennetaan, ne pyritään tukemaan ja kun elementit ovat saumattu, tuennat poistetaan. Tukien asennuksen ja poistamisen yhteydessä muodostuu työnaikaisia kuormia. [19.]

Rakentamisajankohta on myös hyvä ottaa huomioon, kun mietitään työnaikaisia kuormia. Kesällä syntyviä kuormia on yleensä kuumuus, mikä tarkoittaa sitä, että paikallavalubetonia pitää jälkihoitaa hyvin, jotta betoni saavuttaa suunnittelulujuutensa. Talvella taas on kylmä ilma, mikä kuormittaa betonia, koska paikallavalubetoni tarvitsee lämpöä kovettuakseen. [19.]

### 3.1.6 Onnettomuuskuormat

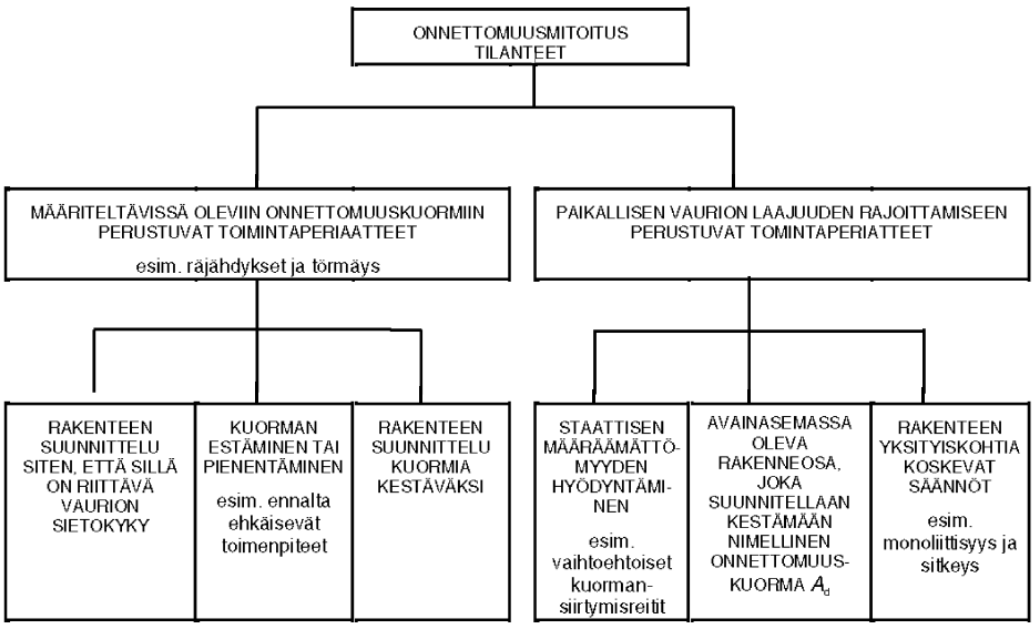
Onnettomuuskuormat pyritään suunnittelemaan aina hankekohtaisesti. Korkeille asuinrakennuksille onnettomuuskuormat mitoitetaan samalla tavalla kuin tavallisillekin asuinrakennuksille. Onnettomuuksista muodostuvia erilaisia kuormitustyyppejä on monenlaista. Onnettomuuskuormia ovat muun muassa maanjäristykset, palosta, räjähdyksistä, ajoneuvoista, junista ja laivoista aiheutuvat kuormat. Jos rakennukselle on suunniteltu helikopterille laskeutumisalusta, täytyy se ottaa huomioon omanlaisena kuormana. [19.]

Rakennuksen seuraamusluokat onnettomuusrajatilassa yli 8 krs. asuinrakennuksille on joko 3a tai 3b. Alla olevasta taulukosta 4 nähdään luokitteluperuste ja kuvasta 15 nähdään onnettomuustilanteiden toimintaperiaatteet. [19.]

Taulukko 4. Rakennusten jaottelu seuraamusluokkiin onnettomuusrajatilassa [19.]

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

Eurokoodin kansallisesta liitteestä löytyy toimintatavat seuraamusluokille.




Kuva 15. Onnettomuusmitoitustilanteiden toimintaperiaatteet [19.]

Rakennus tai rakenneosat voidaan suunnitella usealla eri tavalla. Ne voidaan mitoittaa kestämään onnettomuuskuormat tai kestämään paikallisen vaurioitumisen romahtamatta. Ne voidaan myös mitoittaa riittävän sitkeäksi tai suunnitellaan niin, että kuormaa pienennetään tai se estetään kokonaan. [19.]

### 3.1.6.1 Törmäys

Rakennuksiin muodostuvia onnettomuuskuormia törmäyksien kannalta ovat tieliikenteen ajoneuvot, haarukkatrukit, junat, laivat ja helikopterit. Korkeiden asuinrakennusten yleisin onnettomuuskuorma on tieliikenteen ajoneuvoista tapahtuvat törmäykset. Törmäyskuormat pyritään laskemaan joko dynaamisella analyysilla tai ekvivalenttina staattisena voimana. Jokaiselle erilaiselle tapaukselle on laadittu oma ekvivalentti voima, joka on taulukoituna eurokoodin kansallisessa liitteessä. Tässä käydään läpi vain tärkein korkeisiin asuinrakennuksiin kohdistuva törmäyskuorma. [19.]

Taulukko 5. Ajoneuvon törmäyksestä aiheutuvat ekvivalentit staattiset mitoitusarvot talonrakenteille. x on normaali liikenteen suunta ja y on kohtisuoraan normaalia liikennettä vastaan [19.]

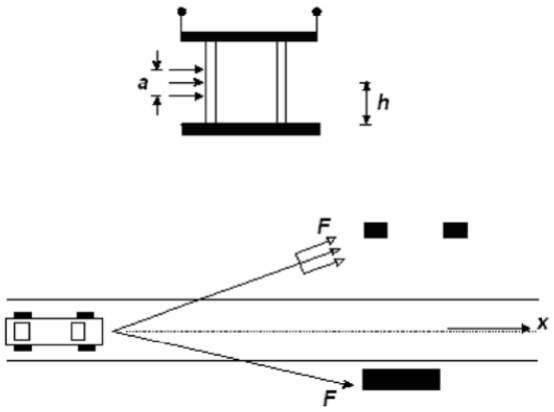
| **Liikenteen luokka** | **Kuorma $F_{dx}$[a] [kN]** | **Kuorma $F_{dy}$[a] [kN]** |
|---|---|---|
| Moottoritiet sekä valta- ja kantatiet | 1 000 | 500 |
| Maantiet | 750 | 375 |
| Taajamien tiet ja kadut | 500 | 250 |
| Pihat ja autotallit, joihin: | | |
| — henkilö- ja pakettiautot pääsevät kulkemaan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

[a] *x* = normaali liikenteen suunta, *y* = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan.

[b] Termi ”kuorma-auto” tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnia.

Kuorma-autoille suositeltava vaikutusalue on 0,5 m (korkeus) x 1,5 m (leveys), ja törmäys oletetaan vaikuttuvan korkeudella 0,5 m - 1,5 m maanpinnasta. [19.]

Henkilöautojen suositeltava vaikutusalue 0,25 m (korkeus) x 1,5 m (leveys), ja törmäys oletetaan vaikuttavan korkeudella 0,5 m maanpinnasta. [19.]




**Selite**

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

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

*x* on kaistan keskiviiva

Kuva 16. Liikennekaistojen läheisyydessä olevan sillan alusrakenteen osiin tai rakennuksen tukirakenteisiin vaikuttava törmäyskuorma. [19.]

### 3.1.6.2 Räjähdys

Onnettomuuskuormiin kuuluu myös sisä- ja ulkopuoliset räjähdykset. Räjähdystyyppejä ovat kaasu, turvepöly ja massaräjähdykset. Kaikkialla missä räjähdysmateriaaleja käsitellään, säilytetään tai kuljetetaan, täytyy ottaa huomioon mitoituksessa. Räjähdyksestä syntyvä paine vaikuttaa rakenteisiin suuremmin, jos rakenteissa ei ole ikkunoita tai paineenpurkausluukkuja. [19.]

Räjähdyksistä aiheutuvia kuormia, jotka vahingoittavat rakennetta, voidaan rajoittaa seuraavasti: Suunnitellaan rakenne kestämään räjähdyksestä syntyvää maksimipainetta, laitetaan paineenpurkausluukuja paikkoihin missä räjähdysmateriaaleja on, pyritään pienentämään tai ehkäisemään paineen leviämistä muille rakenteille tai erotetaan räjähdysmateriaalit herkästi syttyvistä materiaaleista. [19.]

Painetta voidaan purkaa huoneesta joko paineenpurkausluukuilla tai esim. vähentämällä seinissä olevaa pinta-alaa ikkunoilla. Paineenpurkausluukkuja yleensä

sijoitetaan paikkoihin, jossa ne ovat lähellä syttymispistettä tai paikkaan, jossa paine pääsee purkautumaan, mutta siitä ei synny henkilöille vaaraa. [19.]

Kaasuräjähdyksien staattinen kuorma on tasaisesti levinneenä 50 kN/m$^2$ tiloissa, jossa ei ole ikkunoita. Jos tiloissa on ikkunoita ja ne ovat yhteenlasketusta pinta-alasta 30% pienimmän seinän alasta, kuorma arvo on tällöin 15 kN/m$^2$. Samat kuormat koskevat myös massaräjähdyksiä. [19.]

#### 3.1.6.3 Maanjäristys

Suomessa ei mitoiteta rakennuksia maanjäristyksiä varten, ellei kyseessä ole ydinvoimala tai tilaaja välttämättä vaadi sitä. Suomessa toki on maanjäristyksiä seismisillä alueilla, mutta maanjäristyksen vahvuus niillä alueilla ei ole kovin suuri. Maksimissaan Suomessa maanjäristyksen vahvuus on alle 5 magnitudia ja alle 5 magnitudin maanjäristys on lievä. [21.]

Taulukko 6. Maanjäristyksen vahvuus [21.]

| Magnitudi |
|---|
| 8,0 tai suurempi (erittäin voimakas) |
| 7 - 7,9 (hyvin voimakas) |
| 6 - 6,9 (voimakas) |
| 5 - 5,9 (keskisuuri) |
| 4 - 4,9 (lievä) |
| 3 - 3,9 (pieni) |
| 2 - 3 (hyvin pieni) |
| 1 -2 (erittäin pieni) |

## 3.2 Jäykistämistavat

Jäykistämistavan valinta riippuu monesta eri tekijästä, mutta rakennesuunnittelijoille tärkein huomioitava asia on rungon ja jäykistävien osien valitseminen niin, että rakennus pysyy stabiilina. Rakennusprojektissa on aina monta erilaista suunnitteluvaihetta, joissa pyritään päästä yhteisymmärrykseen hankkeen eri osa-alueista. Jäykistystavan valinnan tekee rakennesuunnittelija. Rakennesuunnittelija

ottaa huomioon seuraavia asioita jäykistysjärjestelmän valinnassa: rakennuksen käyttötarkoitus, arkkitehtuuri ja rakennuksen geometria. [23.]

Erilaisia jäykistämistapoja on muun muassa:

- Mastopilarijäykistys
- Kehäjäykistys
- Mastoseinäjäykistys
- Levyjäykistys
- Jäykistystornit
- Ristikkojäykistys
- Yhdistelmäjäykistys. [22.]

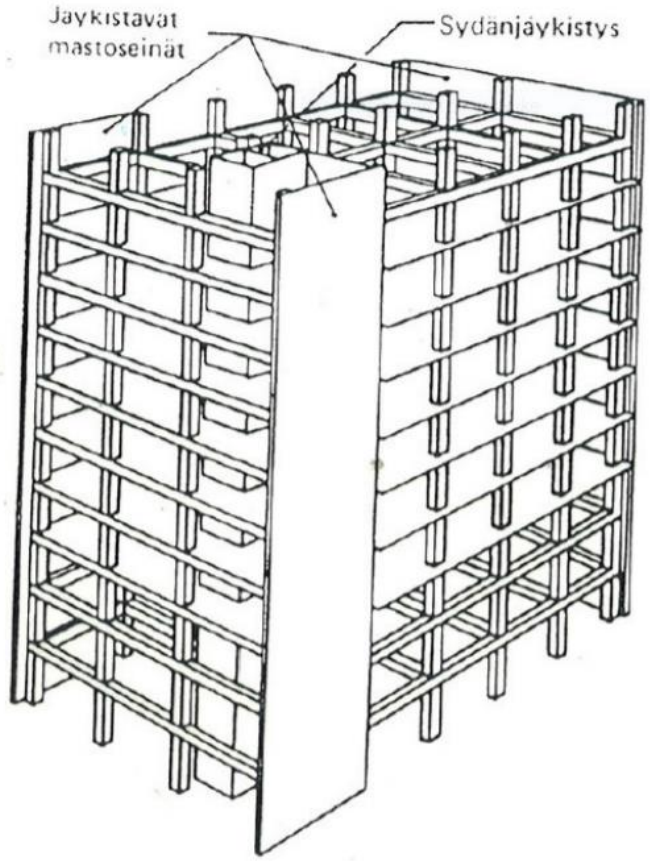
Näistä jäykistämistavoista mastopilari- ja kehäjäykistys sopivat kaikista parhaiten matalille rakennuksille esimerkiksi autohallien jäykistysjärjestelmäksi. Näiden jäykistystapojen käyttökohteena pidetään 1-3-kerroksisia rakennuksia, mutta rakennuksen korkeus saa olla enintään 12 metriä. [22.]

Ristikko- ja levyjäykistys toimivat aika lähelle samalla tavalla. Molemmat jäykistysmenetelmät ovat apuvälineitä, joita rakennuksen runko tarvitsee jäykistykseen. Levyjäykistyksessä käytetään levyä, joka laitetaan esimerkiksi pilarien ja palkkien muodostamaan kehikkoon. Ristikko toimii samalla tavalla, mutta levyjen sijaan käytetään sauvoja, jotka pyrkivät siirtämään ja ottamaan puristus ja/tai vetovoimia. Näitä molempia menetelmiä voidaan käyttää sekä korkeissa että matalissa rakennuksissa. [22.]

Korkeat asuinrakennukset suunnitellaan yleensä kolmella eri tavalla: mastoseinäjäykistyksellä, jäykistystorneilla tai näiden yhdistelmällä. Näistä yleisin on kuitenkin mastoseinäjäykistys. Mastoseinäjäykistyksen ideana on käyttää pystyseiniä ja vaakatasoja jäykistävinä osina. Rakennuksia tehdään elementeistä, oli kyse sitten korkeasta tai matalasta. Korkeissa rakennuksissa ensimmäiset kerrokset tehdään paikallavaluna, koska saumojen väliset rasitukset kasvavat niin suuriksi, että niitä ei voida toteuttaa elementtirakenteisina. Ne mitkä kerrokset täytyy tehdä paikallavaluna,

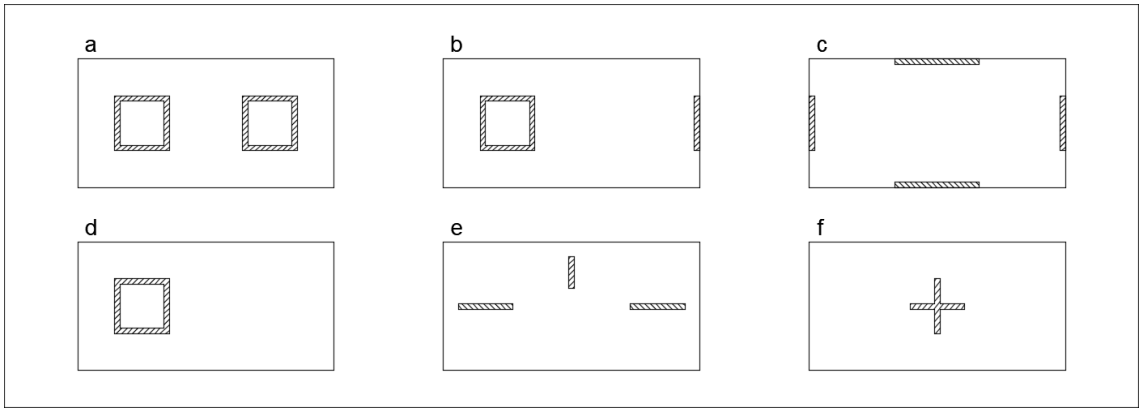
riippuu täysin kuormien suuruudesta ja rakennuksen korkeudesta. Korkean asuinrakennuksen jäykistys tehdään yleensä väliseinistä, ulkoseinistä ja laatoista [23.]

Kaikki kuormat mitä rakennus tulee ottamaan vastaan, viedään vaaka- ja pystyrakenteiden kautta perustuksiin ja siitä kautta maapohjaan. Kun kerroksia lisätään rakennukseen, niin automaattisesti kuormatkin kasvavat siinä samalla. Jokaisesta kerroksesta tulee omanlaisensa kuorma, oli sitten kyse pelkästään laatan omasta painosta tai tuulikuormasta. Joka tapauksessa laattaan tulevat kuormat siirretään sitä kantavalle jäykistävälle pystyrakenteelle ja jokaisessa kerroksessa tehdään samalla tavalla. Pystyrakenteet vievät kuormat suoraan perustuksille. Mastoseinäjäykistyksessä hyvä puoli on siinä, että yleensä voidaan mennä suurin kerroskorkeuksiin ilman, että jäykistäviin pystyrakenteisiin tulee vetoa. Mikäli rakenteisiin tulee vetorasitusta, täytyy siitä huolehtia, että se viedään perustuksien kautta maapohjaan. Vetorasitukset viedään maapohjaan rakenteessa olevilla terästapeilla. [23.]



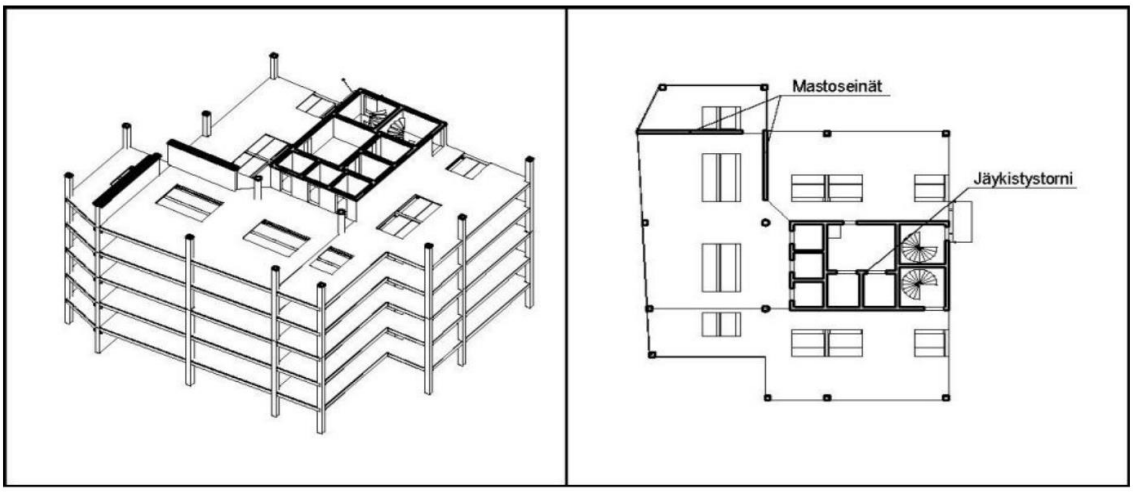

Kuva 17. Mastojäykistyksen ja jäykistystornien periaate [22.]

Toinen tapa jäykistää korkeita asuinrakennuksia on käyttää jäykistystorneja. Jäykistystornien toimintaperiaate on samanlainen kuin mastoseinissä. Hissikuilut ovat hyvä esimerkki jäykistystornista ja sitä käytetään useasti rakennusten jäykistykseen. Jäykistystorneja ei voi sijoittaa mihin haluaa, vaan pitkää laskea ja katsoa missä on rakennuksen keskipiste tai kriittinen kohta, jossa tarvitaan jäykistyksiä rakennuksen stabiliteetin saamiseksi. Alla olevassa kuvassa on hyviä esimerkkejä, mikä sijoittelutyyli on hyvä. [22.]




Kuva 18. Jäykisteiden sijoitteluperiaate. Vaihtoehdot a, b ja c ovat suositeltavia. Vaihtoehtoja d, e ja f eivät ole suositeltavia. [22.]

Kolmannessa vaihtoehdossa on tarkoitus käyttää molempia jäykistystornia ja mastoseiniä jäykistysjärjestelmänä. Yhdistelmäjäykistystä käytetään, jos toinen jäykistysmenetelmästä tarvitsee vahvistuksia ja se ei kestä sille tulevaa kuormaa. Yhdistelmäjäykistystä voidaan myös käyttää erityistilanteissa. Alla on esimerkkikuva, kun käytetään sekä jäykistystorneja että mastoseiniä. [23.]



Kuva 19. Yhdistelmäjäykistys. Mastoseinät ja jäykistystornit. [23.]

## 3.3 Paloturvallisuus

Paloturvallisuuden huomioiminen korkeiden asuinrakennusten suunnittelussa on tärkeä osa-alue ja Suomen Rakentamismääräyskokoelma on antanut yleiset paloturvallisuusvaatimukset sen suunnitteluun. Näitä vaatimuksia ovat:

- Kantavien rakenteiden tulee kestää palon aikana vähimmäisaika
- Pitää rajoittaa savun ja palon leviäminen muihin huoneistoihin tai toisiin rakennuksiin
- Henkilöiden pitää pystyä poistumaan rakennuksesta palon aikana tai heidät pitää yrittää pelastaa jollain muulla keinolla
- Pelastushenkilöstön turvallisuuden takaaminen. [24.]

Nämä vaatimukset täyttyvät, jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, jossa kyseiset tilanteet todennäköisesti esiintyvät.

Paloturvallisuuden suunnitteluun tarvitaan pääosin kahta tärkeää tekijää ja ne ovat paloluokka ja palokuorma. Paloluokat jaetaan yleisesti kolmeen luokkaan P1, P2 ja P3. Palokuomat jaetaan samalla tavalla eri luokkiin ja ne ovat yli 1200 MJ/m$^2$, vähintään 600 MJ/m$^2$ ja enintään 1200 MJ/m$^2$ ja alle 600 MJ/m$^2$. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa sanotaan, että yli 8 krs. asuinrakennuksissa paloluokka on P1. Palokuormaa tarvitaan, kun mitoitetaan rakenteen kantavuutta ja paloluokkaa tarvitaan muissa tapauksissa. Alla olevasta taulukosta saadaan selville palokuorman suuruus. [24.]

Taulukko 7. Palokuorman valintaperuste [24.]

| **Palokuorma** | |
|---|---|
| yli 1200 MJ/m2 | Varastot, jotka ovat erillisiä palo-osastoja |
| vähintään 600 MJ/m2 ja enintään 1200 MJ/m2 | Myymälät, näyttelyhallit, kirjastot, asuinrakennusten kellariosastot, jotka sisältävät irtaimistovarastoja, moottoriajoneuvojen korjaus- ja huoltotilat |
| | |
| | |
| alle 600 MJ/m2 ; | Asunnot, majoitustilat, hoitolaitokset, enintään 300m2:n myymälät toimistot, koulut urheiluhallit, teatterit, kirkot ja päivähoitolaitokset |
| | |
| | |

Rakennus tulee jakaa palo-osastoihin, jotta pystyttäisiin rajoittamaan paloa ja savua sekä turvaamaan henkilöiden poistuminen ja helpottamaan pelastus- ja sammutustöitä. Korkeissa asuinrakennuksissa P1 luokan mukaan palo-osastot jaetaan huoneistoittain, kellari ja ullakko. Kellari saa olla kooltaan enintään 800 $m^2$ ja ullakko 1600 $m^2$. Rakennuksen rakenneosille eri kerroksissa käytetään yleisesti EI 60, jossa E on tiiviys ja I on eristävyys. [24.]

Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset ovat mitoitettu niin, että palon alkamishetkestä lähtien, ne kestävät palonvaikutuksen ajan sortumatta. Kantavuutta merkitään kirjaimella R. Kirjaimen perään merkitään numero joko voi olla 30, 60, 120, 180 tai 240. Nämä numerot ovat minuutteja siitä, kuinka pitkään rakennuksen tulee kestää sortumatta. Esimerkiksi R120 kestää paloa 120 minuuttia. Alla olevasta taulukosta nähdään korkeille yli 8 krs. rakennuksen palonkestoaika. [24]

Taulukko 8. Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset [24.]

| TAULUKKO 6.2.1 | KANTAVIEN RAKENTEIDEN LUOKKAVAATIMUKSET | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rakennuksen paloluokka | | | | | | |
| | P1 | | | P2 | | | P3 |
| | Palokuorma MJ/m$^2$ | | | Palokuorma MJ/m$^2$ | | | |
| | yli 1200 | 600-1200 | alle 600 | yli 1200 | 600-1200 | alle 600 | |
| Sarake | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Enintään 2-kerroksinen rakennus yleensä | R 120 * | R 90 * | R 60 * | R 30 | R 30 | R 30 | - |
| - jos rakennuksen eristeet eivät ole vähintään luokkaa A2-s1, d0 | R 120 | R 90 | R 60 | R 30 | R 30 | R 30 | - |
| - hoitolaitokset, majoitustilat, kellarit | R 120 | R 90 | R 60 | R 30 | R 30 | R 30 | - |
| 3–8-kerroksinen rakennus yleensä | R 180 | R 120 | R 60 | ei mahd. | ei mahd. | ei mahd. | ei mahd. |
| 3–8-kerroksinen asuin- tai työpaikkarakennus | | | | | | | |
| - kerrokset | R 180 | R 120 | R 60 | R 180 * | R 120 * | R 60 * | ei mahd. |
| - kellarikerrokset | R 180 | R 120 | R 60 | R 180 | R 120 | R 60 | ei mahd. |
| Yli 8-kerroksinen rakennus | R 240 | R 180 | R 120 | ei mahd. | ei mahd. | ei mahd. | ei mahd. |
| Ylimmän maanalaisen kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset | R 240 | R 180 | R 120 | R 240 | R 180 | R 120 | R 60 |

Poistuminen palon sattuessa ei hirveästi eroa korkeasta ja tavallisesta asuinrakennuksesta. Jokaisessa rakennuksessa täytyy olla uloskäytävä. Alla olevassa taulukossa 9 on tarkennettu uloskäytävän suojausta. [24.]

Taulukko 9. Uloskäytävien suojaukset [24.]

| TAULUKKO 10.5.2 | P1-LUOKAN RAKENNUKSEN ULOSKÄYTÄVÄT | |
|---|---|---|
| Ylimmän kerroksen lattian korkeus maasta | Kerrosluku | Uloskäytävät |
| Enintään 24 m | Enintään 8 | Osastoitu |
| Yli 24 m | Enintään 16 | Palolta suojatut |
| Yli 24 m | Yli 16 | Yksi palolta ja savulta suojattu, muut palolta suojattuja |

Palon sattuessa ei saisi käyttää hissiä, mutta jos rakennus on yli 16 kerrosta korkea, täytyy siihen suunnitella palomieshissi, jota käytetään pelastus- ja sammutustöissä. Mikäli hissi ei voi tai saa käyttää palon aikana, täytyy mennä portaita pitkin. Jokaisessa

talossa pitää olla yksi pääpoistumistie ja yli 8-kerroksiset rakennukset tulee varustaa kahdella porraskäytävällä. Poistumisportaan vähimmäisleveys tulee olla 900 mm. [24.]

Jokaisessa kerroksessa ja porrashuoneessa täytyy kuitenkin olla palosammutus välineet ja kilvet näyttämään poistumistien. Jos päätetään suunnitella rakennuksen eri tiloille automaattiset sammutusjärjestelmät eli sprinklerit, voidaan rakenteiden pinnoille sallia lievemmät vaatimukset. [24.]

## 3.4 Ääneneristys

Korkeiden asuinrakennusten ääneneristys ei eroa tavallisesta rakennuksesta, koska yleensä asuinrakennukset ovat suorakaiteen muotoisia. Mikäli asuinrakennus poikkeaa tavallisesta suorakaiteen muodosta, täytyy yleensä tarkastelu tehdä vasta sitten, kun mennään tarpeeksi korkealle. Kun tuuli puhaltaa rakennukseen, joka on epätavallisen muotoinen, aiheuttaa se värähtelyä ja tämän kautta ääntä rakenteissa, varsinkin korkeimmissa kerroksissa. [25.]

Ääni voi häiritä ihmisiä yleisesti kahdella eri tavalla. Se voi häiritä joko ilmateitse menevänä äänenä tai rakenteita pitkin menevänä äänenä. Joka tapauksessa rakenteet pitää suunnitella siten, että melun taso pysyy alhaisena ja siitä ei synny minkäänlaista vaaraa henkilöiden terveydelle. Pitää myös varmistaa, että ääneneristys on tarpeeksi riittävä, jotta henkilöt pystyvät nukkumaan, lepäämään tai työskentelemään rauhassa. [25.]

## 3.5 Värähtely

Korkeiden rakennusten suunnittelussa tulisi aina huomioida värähtelystä aiheutuva lisäkuorma. Värähtelyä aiheutuu suurimmaksi osaksi tuulen vaikutuksesta. Tuulesta aiheutuva värähtely ei ole kuitenkaan ainoa rasittava tekijä, mutta se on tärkein, koska mikään muu tekijä ei välttämättä aiheuta saman suuruista kuormaa. Muita värähtelystä aiheutuvia kuormia on esim. ihmiset, erilaiset kodinkoneet, työkoneet, autot yms. [26.]

Se, minkä takia rakenneosa tai rakennus alkaa värähdellä on, että tuulella on sama taajuus kuin rakenteen ominaistaajuus. Tuulen värähtelyä voi syntyä kahdella eri

tavalla: tuulenpuuskista tai korkeasta tasaisesta tuulesta. Tuuli vaikuttaa rakennukseen joko sen suuntaisesti tai sitä vastaan. Kun tuuli vaikuttaa rakennukseen sen suuntaisesti, pyritään yleensä tarkastelemaan pyörreratailmiötä. Pyörreratailmiössä tarkastellaan millä taajuudella tuulen pyörre irtoaa rakennuksesta. Tuuli vaikuttaa rakennusta vastaan suuremmalla kuormalla kuin rakennuksen suuntaisesti. Kaikki riippuu siitä millä nopeudella ja taajuudella tuuli osuu rakennukseen. Tuulenpuuskannopeus on Suomessa keskimäärin 21 m/s ja tätä tietoa käyttäen mitoitetaan rakennus niin, että värähtelystä aiheutuvaa rasitusta ei synny. Korkeissa rakennuksissa varsinkin yläkerroksiin voidaan laittaa vaimentamia, mikäli tuulenpuuskanopeus aiheuttaa liikaa värähtelyä tai haittaa rakennuksen asukkaita [26.]

Värähtelystä aiheutuvaa kiihtyvyyttä yritetään minimoida niin pieniksi kuin mahdollista, koska siitä ei haluta epämukavuuksia rakennuksen asukkaille. Ihmiset pystyvät havaitsemaan kiihtyvyyttä aistiensa kautta. Kiihtyvyyksiä havaitaan tunto-, näkö- ja kuuloaisteilla. Alla olevasta taulukosta näkyy kiihtyvyyksien vaikutus ihmisiin. [26.]

Taulukko 10. Kiihtyvyyksien vaikutus ihmisiin [2.]

| Luokka | Kiihtyvyys $[m/s^2]$ | Vaikutus |
|---|---|---|
| 1 | $< 0{,}05$ | Ihminen ei havaitse kiihtyvyyttä |
| 2 | 0,05–0,10 | Herkät ihmiset saattavat aistia liikkeen, riippuvat esineet saattavat liikkua hieman |
| 3 | 0,10–0,25 | Suuri osa ihmisistä havaitsee liikkeen, voi vaikuttaa toimistotyöhön, pitkäaikainen altistuminen saattaa aiheuttaa pahoinvointia |
| 4 | 0,25–0,40 | Toimistotyö on vaikeata tai melkein mahdotonta, liikkuminen vielä mahdollista |
| 5 | 0,40–0,50 | Ihmiset aistivat liikkeen vahvasti, vaikeuksia kävellä normaalisti, seisova ihminen saattaa menettää tasapainonsa |
| 6 | 0,50–0,60 | Suuri osa ihmisistä ei pysty sietämään liikettä, kävely normaalisti mahdotonta |
| 7 | 0,60–0,70 | Ihminen ei pysty kävelemään tai sietämään liikettä |
| 8 | $> 0{,}85$ | Tavarat alkavat kaatuilla ja ihmiset saattavat loukkaantua |

## 3.6 Työturvallisuus

Korkeassa rakentamisessa työturvallisuus on yksi tärkeimmistä asioista, mikä pitää huomioida jo suunnittelun alkuvaiheesta rakennuksen luovuttamiseen asti. Vaaroja ja

läheltä piti tilanteita ja turhia mokia löytyy joka työmaalta ja juuri näiden asioiden takia, tapahtuu turhia henkilövahinkoja. Onneksi kuitenkin ollaan menty siihen suuntaan, että työturvallisuus on otettu erittäin vakavasti ja kaikki mahdolliset vaaratilanteet pyritään ehkäisemään. Suomessa ollaan tällä hetkellä rakennettu paljon matalia asuinrakennuksia ja korkeista asuinrakennuksista ei ole vielä niin paljon kokemusta. Korkeita rakennukset tuovat omat ongelmansa ja vaaratilanteensa työmaille. [27.]

Jokaisella projektiin kuuluvalla osapuolella on oma velvollisuus huolehtia omasta ja myös muiden työturvallisuudesta. Työturvallisuudesta tehdään omat asiakirjansa erilaisille työvaiheille ja vaaratilanteille. Niiden tarkoituksena on ehkäistä henkilö- tai rakennusmateriaalivahinkoja. Korkeassa rakentamisessa on tärkeää ottaa huomioon ja suunnitella tarkasti putoavien esineiden tai henkilöiden estäminen, muotti- ja elementtityöt ja työmaan järjestys ja siisteys. [27.]

Putoamiset aiheuttavat suurta vahinkoa varsinkin korkeissa asuinrakennuskohteissa. Putoamisia pystytään kuitenkin ennalta ehkäisemään suojakaiteilla, suojakansilla, suojaverkoilta ja suojakatoksilla. Jos rakenteet ovat tehty elementeistä, niin pitää niihin kiinnittää jo alhaalla tarvittavat putoamissuojat. [27.]

Kuva 20. Putoamissuojana käytetty suojaverkkoa ja kaidetta [28.]

Elementtien käsittelyssä ja asennuksessa täytyy aina olla varovainen, koska siihen liittyy erilaisia vaaroja kuten välineiden putoaminen, työntekijöiden liukastuminen tai kompastuminen, elementin kaatuminen tai tippuminen. Elementit painavat monta tonnia ja kukaan ei halua jäädä sen alle. Joten ennen kuin ruvetaan asennustöihin, täytyy olla laadittuna elementtien asennussuunnitelma. On olemassa myös tuulirajoituksia, milloin elementtiä ei saa nostaa ja niistä pitää sopia erikseen ja merkitä pöytäkirjaan. Myös nostokalusteiden sijainnilla on merkitystä. Nosturit sijoitetaan paikkaan, jossa ne ovat kaikista tehokkaimmillaan, mutta mikäli se ei ole aina mahdollista, voidaan niiden sijainteja muuttaa rakentamisen aikana. Se pitää siinä tapauksessa merkitä pöytäkirjoihin. Maanperän vaikutusta pitää myös huomioida, sekä nosturien että elementtien varastoinnin kohdalla. Koska jos maaperä pettää, niin siitä voi seurata pahoja vaurioita rakennukseen, laitteistoon tai työntekijöihin. [27.]

Korkeilla asuinrakennus työmailla on myös tärkeää huomioida siisteys, järjestys ja jätemateriaalin kuljetus korkeammista kerroksista maahan. Siisteydellä ja työvälineiden järjestyksellä ehkäistään jo monta erilaista vaaratilannetta kuten liukastumiset, kompastumiset ja materiaalivahingot. Jätemateriaalia voidaan kuljettaa turvallisesti laittamalla ne jäteastioihin ja viemällä ne hisseillä alas maan tasolle. [27.]

## 3.7 Tuulitunnelikokeet

Tuulitunnelikokeissa tarkasteltava rakennus mallinnetaan samanlaiseksi niin tarkasti kuin mahdollista ja ympärillä olevat mallinnetaan vain samanmuotoiseksi, jotta tilanne olisi mahdollisimman tarkka ja todenmukainen. Suunnittelijoiden tulee itse tietää, milloin harkitaan tuulitunnelikokeiden tarkastelua. Jos seuraavista kohdista yksi tai useampi toteutuu, tulee harkita tuulitunnelikokeita:

- Rakennuksen muoto poikkeaa merkittävästi perinteisestä suorakaiteesta
- Rakennuksen ominaistaajuus on alle 1 Hz
- Rakennus voi altistua herätetärinälle toisten rakennusten tai rakenteiden johdosta
- Se sijaitsee paikassa, jossa tuulen nopeus kasvaa maaston tai tunneloinnin vaikutuksesta. [30.]

Kuva 21. Tuulitunnelikokeet Otaniemessä [29.]

## 3.8 Jatkuvan sortumisen estäminen

Korkeat asuinrakennukset tulee rakentaa ja suunnitella niin, että niissä olevat rakenteet muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. Jos rakenneosa vaurioituu, niin se ei saa vaikuttaa muihin rakenteisiin kriittisesti. [31.]

Vaurion pitää olla rakenteessa paikallinen ja rajoitettu, mutta se ei saa haitata rakennuksen jäykistystä tai stabiliteettia. Suunnitteluvaiheessa rakenteisiin pyritään määrittämään vauriosietokykyä, joka tarkoittaa sitä, että miten paljon kyseinen rakenne kestää onnettomuustilanteista tulevia kuormia. Onnettomuustilanteet jaetaan kahteen ryhmään ennakoitavissa olevat kuormat ja ennakoimattomissa olevat kuormat. Ennakoitaviin kuormiin kuuluu tekijät, mitkä pystytään tunnistamaan suunnitteluvaiheessa ja näitä kuormia ovat esimerkiksi räjähdys, törmäys, tulipalo ja maanjäristys. Ennakoimattomat kuormat ovat sellaisia onnettomuustilanteita, joita ei pystytä ennalta arvaamaan. Näihin kuormiin kuuluu suunnittelijoiden tekemät inhimilliset virheet kuten rakenteen kantavuuden pettäminen tai irtoaminen, maanpohjan pettäminen tai painuminen tai sitten kyse voi olla luonnonkuormista aiheutuvaa rasitusta kuten kosteus- ja lämpöliikkeet. [31.]

On olemassa menetelmiä, jonka avulla rakenteen vaurionsietokykyä pystytään parantamaan. Kaikista yleisin keino parantaa rakennetta ja varmistaa jatkuvan

sortumisen estäminen on, että rakenneosat sidotaan toisiinsa kiinni riittävän hyvin ja varmistetaan kuormansiirtoreitit. Mikäli nämä kaksi keinoa eivät riitä parantamaan vaurionsietokykyä, voidaan myös käyttää vaihtoehtoa, jossa varmistetaan avainasemassa olevien rakenneosien toimivuus. [31.]

Korkeille asuinrakennuksille jatkuvan sortumisen estäminen pitää tarkastaa ja koska kyseessä on onnettomuustilanteista tulevia kuormia, pitää käyttää onnettomuuskuormat kohdasta olevia seuraamusluokkia 3a ja 3b. [31.]

Sidejärjestelmä on yleisin tapa seuraamusluokan CC3 jatkuvan sortumisen estämiseksi. Sidejärjestelmä tarkoittaa, että suunnitellaan rengassiteitä menemään jatkuvana välipohjien ja yläpohjien ympäri. Näin rakennus pystyy toimimaan onnettomuustilanteessa. [31.]

Kuormansiirtoreitit tarkoitettavat sitä, että onnettomuustilanteen jälkeen pyritään siirtämään sen rakenneosan kuormat, joka vaurioitui tai hajosi, muille rakenteille. [31.]

Avainasemassa olevien rakenteiden ideana on tutkia ja tunnistaa rakenne, joka sen hajoamisen jälkeen aiheuttaa jatkuvan sortumisen. Avainasemassa oleva rakenne mitoitetaan pahimmalle mahdolliselle onnettomuuskuormalle, joka siihen kohdistuu. [31.]

Riskiarviointi pitää tehdä rakennukselle, jos sen seuraamusluokka on CC3b. Riskiarvioinnissa on kyse vaurion suuruudesta ja riskin todennäköisyydestä. Koska onnettomuustilanteita ei voida jättää huomioimatta kokonaan, täytyy niille antaa joku tietty riskiarvo. [31.]

Seuraamusluokka 3b:ssä on pakko tehdä jonkinlainen systemaattinen riskiarviointi. Systemaattiseen riskiarviointiin kuuluu tapahtumasta aiheutuvien henkilö-, ympäristö- ja taloudellisten vahinkojen arviointi. 3b:ssä pitää myös tarkastaa miten rakenne toimii, jos rakennuksen jokin nurkkapilari poistetaan. [31.]

# 4 Kohteet

## 4.1 Kohteiden rakennejärjestelmäkuvaus

Tässä luvussa on taulukoituna kohteita korkeusjärjestyksessä. Taulukoissa kerrotaan rakenteiden paksuudet, lujuusluokat ja liitokset. Taulukoissa on myös huomioitu yleisasioita, kuten seuraamusluokka, luotettavuusluokka, palonkestoluokka, korkeuksia, perustamista ja jäykistymistä.

| **Rakennuskohde: Pyyntitie POPPER, Espoo** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Käyttötarkoitus:** | Asuinrakennus | | | |
| **Korkeus + kerrokset:** | n. 47 m; 1. krs. 4800 mm, 2-11. krs 3000 mm | | | |
| **Valmistus kk/vuosi:** | ??? | | | |
| **Maapohja + perustaminen:** | Ruhje ja kallio: Ruhjealueelle paalut ja pilarianturat. Kalliovarainen pilariantura kallioalueelle. | | | |
| **Jäykistämistapa ja osat:** | Mastoseinäjäykistys. Kaikki kantavat seinät ja paikallavalutasot (massiivilaatat) | | | |
| **Palonkestoluokka:** | REI120 | | | |
| **Seuraamusluokka:** | CC3 | | | |
| **Luotettavuusluokka:** | RC3 | | | |
| **Kerros:** | **1. krs.<br>Lattia** | **1. krs.<br>Seinät ja Katto** | **2. krs.<br>Seinät ja Katto** | **3-11. krs.<br>Seinät ja Katto** |
| **Ulkoseinien paksuus (US):** | - | 200 mm<br>220 mm (irtain.) | 160 mm | 160 mm |
| **Väliseinien paksuus (VS):** | - | 220 mm | 220 mm | 200 mm |
| **Laatan paksuus:** | 265 mm (ontelo.)<br>260 mm (porras.) | 280 mm<br>260 mm (porras) | 280 mm<br>260 mm (porras) | 280 mm<br>260 mm (porras) |
| **Pilarin paksuus:<br>Suorakulmainen** | - | 850-1420mm/<br>400 mm | - | - |
| **Liitokset:<br>*Yleensä*** | - | VS80 K300<br>VHS 140 K300 | VS80 K300<br>VHS 140 K300 | VS80 K300<br>VHS 140 K300 |
| **Muuta:** | **US:** 1-6krs. [*Ele. C30/37*], 7-11krs. [*Ele. C25/30*] | | | |
| | **Laatta:** 1-11krs. [*PV C30/37 ja Ele. C25/30 (porras.)*] | | | |
| | **Pilari:** 1krs. [*Ele. C30/37*] | | | |
| | **VS:** 1-11krs. [*Ele. C25/30*], | | | |

| Rakennuskohde: Metsätapiola Talo C, Espoo | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Käyttötarkoitus:** | Asuinrakennus | | | |
| **Korkeus + kerrokset:** | n. 50.5 m; K2 3400 mm, K1-13. krs. 3000 mm | | | |
| **Valmistus kk/vuosi:** | /2016 | | | |
| **Maapohja + perustaminen:** | Kallion päällä on siltti, hiekkaa, soraa ja kiviä sisältävää, paikoin erittäin tiivis hiekkamoreeni. Teräspaalut kallioon. Kallion päälle seinä- ja pilariantura. Kallion päälle täyttömaa. Täyttömaan päälle maanvarainen PV. laatta. | | | |
| **Jäykistämistapa ja osat:** | Mastoseinäjäykistys. Kantavat seinät ja paikallavalutasot (massiivilaatta) | | | |
| **Palonkestoluokka:** | REI120 | | | |
| **Seuraamusluokka:** | CC3 | | | |
| **Luotettavuusluokka:** | RC3 | | | |
| **Kerros:** | **K2.**<br>**Lattia** | **K2-K1.**<br>**Seinät ja katto** | **1-3. krs.**<br>**Seinät ja katto** | **4-13. krs.**<br>**Seinät ja katto** |
| **Ulkoseinien paksuus (US):** | - | - | 180 mm | 160 mm |
| **Väliseinien paksuus (VS):** | | 200 mm<br>250 mm<br>300 mm (vss) | 250 mm | 200 mm |
| **Laatan paksuus:** | 80 mm<br>120 mm | 280 mm<br>250 mm (porras.)<br>350 mm (vss) | 280 mm<br>250 mm (porras.) | 280 mm<br>250 mm (porras.) |
| **Maanpaineseinä:** | | 250 mm<br>300 mm (vss) | - | - |
| **Pilarin paksuus:**<br>**Suorakulmainen** | | 280…380 mm*<br>280…380mm | - | - |
| **Liitokset:**<br>***Yleensä*** | VSH-140 K300 | VSH-140 K300 | VS-80 K300 | VS-80 K300 |
| **Muuta:** | **US:** 1-13krs. *[C30/37 Ele.]* | | | |
| | **VS:** 1-13krs. [*C30/37 Ele.]* | | | |
| | **Maanpaineseinä:** K2-K1 *[C30/37 PV]* | | | |
| | **Laatta:** K2-13krs. [C30/37 PV ja C35/45 Ele. (porras)] | | | |
| | **Pilari:** K2-K1 [C40/50 Ele.] | | | |

| Rakennuskohde: Pyyntitie Koho, Espoo | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Käyttötarkoitus:** | Asuinrakennus | | | | | |
| **Korkeus + kerrokset:** | n. 61 m; 1. krs. 4000 mm, 2-18. krs. 3000 mm, 19. krs. 3900 mm | | | | | |
| **Valmistus kk/vuosi:** | 12/2018 | | | | | |
| **Maapohja + perustaminen:** | Ruhje ja kallio: Ruhjealueelle paalut. Yhteinäinen PV laatta kalliolle ja ruhjelalueelle | | | | | |
| **Jäykistämistapa ja osat:** | Mastoseinäjäykistys. Kaikki kantavat seinät ja paikallavalutasot (massiivilaatat) | | | | | |
| **Palonkestoluokka:** | REI120 | | | | | |
| **Seuraamusluokka:** | CC3 | | | | | |
| **Luotettavuusluokka:** | RC3 | | | | | |
| **Kerros:** | **1. krs. Lattia** | **1. krs. Seinät ja Katto** | **2. krs. Seinät ja Katto** | **3-6 krs. Seinät ja Katto** | **7-11. krs. Seinät ja Katto** | **12-19. krs. Seinät ja Katto** |
| **Ulkoseinien paksuus (US):** | - | 240mm<br>300 mm (vss) | 200mm | 200mm | 180mm | 160mm |
| **Väliseinien paksuus (VS):** | - | 300mm | 300mm | 240mm | 220mm | 200mm |
| **Seinämäinen palkki:** | - | 300 mm | 300 mm | 300 mm (3. krs.) | - | - |
| **Laatan paksuus:** | Ontelo 265 mm<br>300 mm (porras)<br>250 mm(vss) | 300 mm<br>250 mm (porras)<br>400 mm(vss) | 300 mm<br>250 mm (porras) | 300 mm<br>250 mm (porras) | 300 mm<br>250 mm (porras) | 300 mm<br>250 mm (porras) |
| **Pilarin paksuus: Pyöreä** | - | 700 mm | 700 mm | - | - | - |
| **Pilarin paksuus: Suorakulmainen** | - | 500*500 mm<br>610*610 mm | 500*500 mm | - | - | - |
| **Liitokset:** *Yleensä* | - | - | Kuppivaarna S8 k150 | Kuppivaarna S8 k300 | VSH-140 k350 | VS-80 k300 |
| **Muuta:** | **US:** 1krs. [*PV C40/50*], 2-4krs. [*Ele. C40/50*], 5-11krs.+VK [*Ele.C35/45*], 12-19krs. [*Ele. C30/37*] | | | | | |
| | **Laatta:** AP-2krs. [*PV C40/50*], 3-19krs. [*PV C30/37*] | | | | | |
| | **Seinämäinen palkki:** 1-2krs. [*PV C40/50*], 3krs. [*PV C30/37*] | | | | | |
| | **Pilari:** AP-2krs. [*PV C40/50*] | | | | | |
| | **VS:** 1krs. [*PV C40/50*], 2krs. [*PV C40/50 ja Ele. C35/45*], 3-4krs. [*Ele. C35/45*], 5-19krs. [*Ele. C30/37*] | | | | | |

| Rakennuskohde:Luminary, Tampere | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Käyttötarkoitus:** | Asuinrakennus | | | | |
| **Korkeus + kerrokset:** | n. 71: K1 3000 mm, 1. krs. 3800 mm, 2. krs. 3600 mm, | | | | |
| **Valmistus kk/vuosi:** | 12/2018 | | | | |
| **Maapohja + perustaminen:** | Kallio. Porapaalut + pohjalaatta ja anturat | | | | |
| **Jäykistämistapa ja osat:** | Mastoseinäjäykistys. | | | | |
| **Palonkestoluokka:** | REI120 | | | | |
| **Seuraamusluokka:** | CC3 | | | | |
| **Luotettavuusluokka:** | RC3 | | | | |
| **Kerros:** | **K1-1. krs. Seinät ja Katto** | **2. krs. Seinät ja Katto** | **3-7. krs. Seinät ja Katto** | **8-14. krs. Seinät ja Katto** | **15-21. krs. Seinät ja Katto** |
| **Ulkoseinien paksuus (US): Kantava** | - | 350 mm<br>300 mm | 300 mm | 250 mm | 180 mm |
| **Väliseinien paksuus: (VS)** | 400 mm<br>480 mm (vss)<br>400 mm (vss) | 400 mm | 300 mm | 250 mm | 200 mm |
| **Maanpaineseinän paksuus:** | 400 mm | - | - | - | - |
| **Laatan paksuus:** | 300 mm<br>400 mm (vss) | 300 mm | 300 mm | 300 mm | 300 mm |
| **Pilarin Paksuus: Pyöreä** | - | - | - | - | 380 mm |
| **Pilarin Paksuus: Suorakulmainen** | 880*1280 mm<br>780*1380 mm<br>580*980 mm | - | - | - | - |
| **Liitokset:** *Yleensä* | - | - | 2*VSH-140 K300 | VS-80 K300 | VS-80 K300 |
| **Muuta:** | **US:** 2krs. *[C35/45 PV]*, 3-7krs. *[C35/45 Ele.]*, 8-21krs. *[C30/37 Ele.]* | | | | |
| | **VS:** K1-1krs. [C40/50 PV], 2krs. [C35/45 PV], 3-7krs. [C35/45 Ele.], 8-21krs. [C30/37 Ele.] | | | | |
| | **Laatta:** K1-14krs. *[C35/45 PV]*, 15-21krs. *[C30/37 PV]* | | | | |
| | **Maanpaineseinä:** K1-1krs. [C40/50 PV] | | | | |
| | **Pilarit:** K1-1krs. *[C40/50 PV]*, 15-21krs. *[C30/37 Ele.]* | | | | |

| Rakennuskohde: Niittykummuntorni, Espoo | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Käyttötarkoitus:** | Asuinrakennus | | | | |
| **Korkeus + kerrokset:** | n. 85 m; 1 krs. 5000 mm, 2 krs. 3500 mm, 3. krs. 4250 mm, 4-24. krs. 3000 mm | | | | |
| **Valmistus kk/vuosi:** | 8/2017 | | | | |
| **Maapohja + perustaminen:** | Kallio. Maan- ja kalliovarainen anturat. | | | | |
| **Jäykistämistapa ja osat:** | Mastoseinäjäykistys. Kaikki kantavat seinät ja paikallavalutasot (massiivilaatat) | | | | |
| **Palonkestoluokka:** | REI120 | | | | |
| **Seuraamusluokka:** | CC3 | | | | |
| **Luotettavuusluokka:** | RC3 | | | | |
| **Kerros:** | **K2 - K1. krs Seinät ja Katto** | **1. krs Seinät ja Katto** | **2-3. krs. Seinät ja Katto** | **4-6. krs. Seinät ja Katto** | **6-24. krs. Seinät ja Katto** |
| **Kantavien ulkoseinien paksuus (US):** | - | 300 mm | 250 mm | 250 mm<br>200 mm | 200 mm |
| **Ei-kantavien ulkoseinien paksuus** | - | 200 mm | 120 mm | 120 mm | 120 mm |
| **Väliseinien paksuus (VS):** | 300 mm (vss)<br>350 mm (vss)<br>400 mm (vss) | 500 mm<br>400 mm<br>300 mm | 250 mm<br>400 mm (2.krs.)<br>300 mm (3.krs.) | 250 mm | 200 mm |
| **Laatan paksuus:** | 300 mm<br>350(vss) | 275mm | 275 mm<br>250 mm (porras.) | 275 mm<br>250 mm (porras.) | 275 mm<br>250 mm (porras.) |
| **Maanpaineseinän Paksuus:** | 300 mm<br>400 mm<br>300 mm (vss) | - | - | - | - |
| **Liitokset:** ***Yleensä*** | **4-5krs.** (2*VS-80 k300), **6-11krs.** (VSH-140 k350), **12-18krs**. (VS-80 k300), **19-24krs.** (VS-80 k450) | | | | |
| **Muuta:** | **US:** 1-2krs. *(PV C40/50)* , 3krs. *(PV C35/45)* , 4-24krs. *(Ele. C30/37)* | | | | |
| | **Laatta:** K2-2krs. *(PV C40/50)* , 3krs. *(PV C35/45)* , 4-24krs. *(PV. C30/37)* | | | | |
| | **Maanpaineseinä:** K2-2krs. *(PV C40/50)* | | | | |
| | **VS:** K2-2krs. *(PV C40/50)* , 3krs. *(PV C35/45)* , 4-24krs. *(Ele. C30/37)* | | | | |

| Rakennuskohde: As Oy Helsingin CIRRUS, Helsinki | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Käyttötarkoitus:** | Asuinrakennus | | | | | | |
| **Korkeus + kerrokset:** | 89,5 m; 2-26. krs. 3000mm | | | | | | |
| **Valmistus kk/vuosi:** | syksy/2006 | | | | | | |
| **Maapohja + perustaminen:** | Kallio. Kallionvaraiset anturat. | | | | | | |
| **Jäykistämistapa ja osat:** | Mastoseinäjäykistys. Jäykistävinä osina on käytetty kantavia seiniä ja paikallavlautasoja (massiivilaatat) | | | | | | |
| **Palonkestoluokka:** | REI120 | | | | | | |
| **Seuraamusluokka:** | CC3 | | | | | | |
| **Luotettavuusluokka:** | RC3 | | | | | | |
| **Kerros:** | **K1 ja K2**<br>**Seinät ja Katto** | **1. krs**<br>**Seinät ja Katto** | **2-10. krs.**<br>**Seinät ja Katto** | **11-21. krs.**<br>**Seinät ja Katto** | **22-24krs.**<br>**Seinät ja Katto** | **25krs.**<br>**Seinät ja Katto** | **26krs.**<br>**Seinät ja Katto** |
| **Ulkoseinien paksuus (US): Kantava** | -<br><br> | 400 mm<br>300 mm<br>200 mm | 250 mm<br>200 mm | 250 mm<br>200 mm | 250 mm<br>200 mm<br>180 mm | 250 mm<br>200 mm<br>180 mm | 180 mm |
| **Väliseinien paksuus (VS):** | 300 mm<br>350 mm<br>400 mm | 300 mm | 250 mm | 200 mm<br>180 mm | 200 mm<br>180 mm | 250 mm<br>200 mm | 180 mm |
| **Maanpaineseinän Paksuus:** | 300 mm<br>350 mm<br>400 mm | - | - | - | - | - | - |
| **Laatan paksuus:** | 270 mm<br>450 mm (vss) | 300 mm | 270 mm | 270 mm | 270 mm | 340 mm<br>250 mm | 330 mm<br>250 mm |
| **Ulkoseinien paksuus (US): Ei-Kantava** | - | - | 120 mm | 120 mm | 120 mm | 120 mm | 120 mm |
| **Liitokset:** *Yleensä* | - | - | Kuppivaarna 2T10 K500 | VS-80 K300 | VS-80 K300 | VS-80 K300 | VS-80 K300 |
| **Muuta:** | **US: Kantava** 1krs. *(C30/37 PV.)*, 2-10krs. *(C35/45 Ele.)*, 11-26krs. *(C30/37 Ele.)* | | | | | | |
| HUOM! Vuonna 2010 on otettu käyttöön eurooppalaisia standardeja. Tämä rakennus on suunniteltu käyttäen vanhoja kansallisia betonimääräyksiä. | **US: Ei-Kantava** *2-26krs. (C30/37 Ele.)* | | | | | | |
| | **Laatta:** K2-26krs. *(C30/37 PV)* | | | | | | |
| | **Maanpaineseinä:** K2-K1 *(C30/37 PV.)* | | | | | | |
| | **VS:** K2-1krs. *(C30/37 PV)*, 2-6krs. *(C40/50 Ele.)*, 7-10krs. *(C35/45/45 Ele.)*, 11-26krs. (C30/37 Ele.) | | | | | | |

## 4.2 As. Oy Espoon Koho

Rakennuskohde Pyyntitie on Espoon Matinkylässä sijaitseva taloryhmä. Kyseiseen kohteeseen kuuluu kolme asuinrakennusta Perho, Koho ja Popper sekä autohalli. Rakennuksien tilaajana ja rakentajana oli SKANSKA Talonrakennus Oy. Arkkitehtinä toimi Arkkitehtitoimisto Petri Rouhiainen Oy ja rakennesuunnittelun puolelta oli Wise Group Finland Oy. Tässä kohdeselvityksessä tutkitaan korkeinta rakennusta eli 19. kerroksista Espoon Kohoa. Kun asuntohanke valmistui, siitä vapautui 259 asuntoa, 135 autopaikkaa. Autopaikat sijaitsevat maanpinnan alapuolella, joka on yhteydessä kaikkiin kolmeen taloon.

Kuva 22. Espoon Koho (vas.), Popper (kesk.) ja Perho (oik.)

Espoon Kohossa on 19 kerrosta, joista 2 kellarikerrosta. 2 kellarikerrosta sisältävät varaston, kuivaushuoneen, pesulan, siivouskomeron ja tekniset tilat. Rakennuksen katutasossa on kaksi liiketilaa. Seuraavat 16. kerrosta sisältävät 134 asuntoa ja ylimmässä kerroksessa on saunatilat kaikille talon asukkaille. Asuntojen koot vaihtelevat 30,5 neliöstä 108 neliöön. Rakennuksen pidempi sivu on 32 metriä pitkä ja lyhyempi on 17 metriä pitkä. Rakennuksen korkeus maan pinnasta mitattuna on 61 metriä.

Kohon rakentaminen aloitettiin syyskuussa 2016 kaivu- ja louhintatöillä, mutta ennen kuin rakentaminen ja kaivuutyöt olivat mahdollista toteuttaa, piti ensimmäiseksi purkaa alueelta teollisuusrakennus ja siinä olevat laitteet. Purkaminen aloitettiin kesäkuun lopussa 2016 ja rakennus saatiin purettua syyskuuhun mennessä. Espoon Kohon rakentaminen kesti vähän yli kaksi vuotta ja valmistui joulukuussa 2018.

### 4.2.1 Jäykistys ja rakenneosat

#### 4.2.1.1 Perustukset

Espoon Kohon maaperän pohjatutkimus tehtiin marraskuun alussa 2015, josta saatiin selville, että kyseinen alue sijoittuu ruhjeen ja kallion reuna-alueelle. Koska rakennus sijoittuu paikkaan, jossa on kahta erilaista maaperää, perustamistapa riippuu maaperän laadusta ja paikasta. Perustaminen toteutettiin yhtenäisellä paikallavalu laatalla. Ruhjealueelle sijoitettiin porapaaluja ja alueelle missä maaperänä oli kallio, valettiin laatta joko suoraan kallion päälle tai sitten täyttöbetonin päälle. Paalutyyppinä käytettiin RDs320/12,5, jonka puristuskestävyyden mitoitusarvo on 3208 kN. Jotta perustukset saataisiin oikeisiin korkeuksiin, jouduttiin kalliota louhimaan ja ruhjetta kaivamaan. Paikallavaletun pohjalaatan paksuus oli 1000 mm ja betoninlujuusluokka oli C35/45.

Kohon alapohja tehtiin joko paikalla valaen tai ontelolaattoina. Molemmissa rakenteissa käytettiin tuulettuvaa alustilaa. Poikkeuksena oli kuitenkin väestösuojan alapohja, joka valettiin suoraan paalulaatan päälle. Vaikka jotkut alapohjista olivat tehty ontelolaatoista, paikallavaletiin kuitenkin niihin tukeutuvat anturat, seinät ja pilarit. Alapohjan pystyrakenteiden ja vaakarakenteiden betoninlujuusluokka oli C40/50.

#### 4.2.1.2 Pysty- ja vaakarakenteet

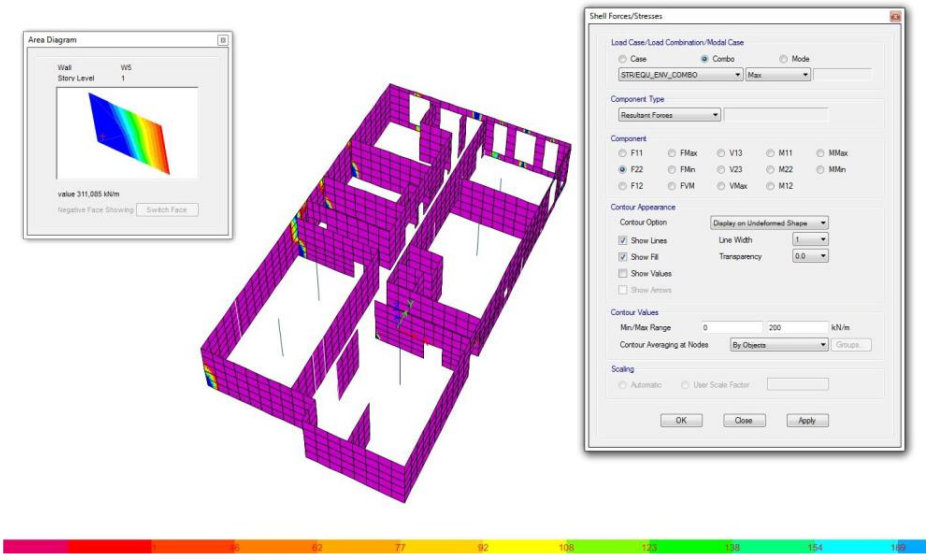
Rakennuksen pysty- ja vaakarakenteet koostuvat suurimmaksi osaksi kantavista ja jäykistävistä osista. Pystyrakenteisiin kuuluvat väliseinät, seinämäiset palkit, ulkoseinät, kevyet väliseinät ja pilarit. Vaakarakenteisiin kuuluvat laatat ja palkit. Kaikista tärkeintä jäykistyksen kannalta, oli tarkastella perustuksia ja kolmea ensimmäistä kerrosta, koska siellä on kaikista suurimmat rasitukset.

Kohon laskelmissa käytiin läpi erilaisia kuormitusyhdistelmiä, josta huomattiin, että rakenteet ovat pääsääntöisesti puristettuja. Kohteessa jäykistysjärjestelmänä ollaan käytetty mastoseinäjäykistystä, jossa ulkoseinät, väliseinät, ja laatat toimivat jäykistävinä osina. Paikalla valetut vaakatasot ovat suunniteltu ristiin kantavina 1. kerroksesta vesikattoon ottamaan vaakakuormia vastaan molemmilta rakennuksen sivuilta. Suurin osa väliseinistä ja seinämäisistä palkeista ovat paikalla valettu 1. kerroksesta 3. kerrokseen. Pilarit sijaitsevat alemmissa kerroksissa ja ovat kaikki

paikallavalettu. Ulkoseinät ovat 2. kerroksesta ylöspäin tehty elementteinä. Elementtien liitokset 2. kerroksesta 6. kerrokseen tehtiin kuppivaarnalla ja 7. kerroksesta ylöspäin elementtien liitokset kiinnitettiin vaarnalenkeillä.

Rakenteiden paksuudet muuttuivat kerroskorkeuden myötä. Luvussa 4.2 on tarkempaa tietoa rakennuksen kuvauksesta.

Etabs-laskentaohjelmalla tehdyn tarkastelun mukaan huomattiin, kuinka 1. kerrokseen vaikuttavat voimat ovat pääsääntöisesti puristettuja, mutta kuitenkin joissakin kohdissa esiintyi pieniä paikallisia pistemäisiä vetovoimia. Kuvasta 23 huomataan, että vetovoimia on suurimmaksi osaksi nurkkakohdissa.




Kuva 23. Kohon 1. krs seiniin vaikuttavat vetovoimat

### 4.2.2 Työ- ja paloturvallisuus

Espoon Koho on korkea rakennus, mikä tuo omat haasteensa sen toteutukseen työturvallisuuden osalta. Jokaiseen osa-alueeseen on laadittu ohjeita, miten ne toteutetaan. Tärkeimpinä asioina mitkä nousivat esille, olivat väliaikainen tuenta, putoamissuojat, nosturit ja hissit.

Rakennuksen kaivuu ja louhintavaiheessa laitettiin ponttiseinät tukemaan maat ja estämään sen sortumisen ja kun pohjatyöt, perustukset ja kellari oli tehty, voitiin

ponttiseinät poistaa. Rakennuksessa oli myös mahdollisuus mennä joko portaita pitkin ylös tai sitten käyttää hissiä, mikä oli asennettu rakennuksen viereen. Putoamissuojina oli tällä työmaalla paljon vaihtoehtoja, mutta päätettiin käyttää kahta erilaista turvakaidetta. Alla olevasta kuvasta näkyy mitä turvakaiteita käytettiin.

Kuva 24. Käytettiin kahta erilaista turvakaidetta.

Suojakaide piti asentaa, mikäli putoamiskorkeus oli yli 2 m. Turvakaiteessa pitää olla käsijohde, välijohde ja jalkalista. Turvakaiteiden korkeus pitää olla vähintään 1 m ja seinän ja turvakaiteen välinen rako sai olla maksimissaan 25 cm.

## 4.3 Vaihtoehtoinen jäykistysjärjestelmä

Tässä kappaleessa sovelletaan opittua asiaa korkeiden asuinrakennusten jäykistämisestä ja tehdään yhdestä kohteesta jäykistyssuunnitelma, joka toteutetaan laskentaohjelmilla. Laskentaohjelmia, joita tullaan käyttämään, on Etabs 2017 laskentaohjelma ja erilaiset SKOL-pohjat. Etabs:lla mallinnetaan koko rakennus lähes virheettömästi. Kaikki rakenneosat, jotka ovat joko kantavia tai jäykistäviä pysty- ja vaakarakenteita ovat mallinnettu laskentamalliin. Kaikki muut ei-kantavat väliseinät ja julkisivut ovat mallinnettu viivakuormina kerroksittain. Kantavien ja jäykistävien rakenneosien mitoituksessa käytetiin eurokoodeja (EN) ja niiden Suomen kansallisia

liitteitä (NA). Työssä käytetään 35 erilaista kuormitusyhdistelmää, jotka koostuvat EQU-, STR- JA SLS-kuormitusyhdistelyistä. Kaikista 35:stä kuormitusyhdistelmästä haetaan määräävin. EQU-yhdistelmässä tarkastellaan tasapainon menetystä ja STR-yhdistelmässä tarkastellaan kantavan rakenteen tai rakenneosan murtumista. Molempien yhdistelmien tarkastelu tapahtuu murtorajatilassa. SLS-yhdistelmä tarkoittaa käyttörajatilaa. Kuormitusyhdistelmissä on otettu huomioon tuulesta ja epäkeskisyyksistä aiheutuvat vaakavoimat ja pystykuormiin kuuluu lumi, pintarakenteet yms.

Vaakavoimia vastaan ottava jäykistävänä rakenneosana käytetään paikallavalu laattaa, jonka paksuus on 300 mm. Käytävällä käytetään hieman ohuempaa 250 mm laattaa ja parvekelaatan paksuus 280 mm. Kaikki vaakatasot lukuun ottamatta parvekelaattoja ovat paikallavalettavia. Huoneistossa olevan laatan ja parvekelaatan liitos on suunniteltu jäykäksi liitokseksi.

Jäykistävinä pystyrakenteina käytetään hissitornia ja portaissa olevia seiniä. Jäykistävät pystyrakenteet ovat suunniteltu liukuvaluna alhaalta rakennuksen kattoon asti. Seinien liitokset ovat sekä ylä- että alapäästään jäykkiä. Pilarit ovat suunniteltu kantavina elementtirakenteina ja niiden liitokset ovat nivelellisiä. Pilareiden koot vaihtelevat kerroksien mukaan. Laskentaohjelmassa käytetään pyöreitä pilareita, joiden paksuuden ovat 480 mm (12-19.krs), 580 mm (5-11.krs) ja 700 mm (1-4.krs). Portaiden ja hissin kohdalla olevien seinien paksuudeksi valitaan 300 mm ja betoniluokaksi C40/50.

Rakennuksen perustukset ovat samanlaisia kuin mallikohteessa. Espoon kohossa käytettiin 3 erilaista alustalukua 1000 000 kN/m$^3$, 1500 000 kN/m$^3$ ja 1500 000 00 kN/m$^3$. Näistä kolmesta alustaluvusta käytetään viimeisintä, joka käyttäytyy niin, että maapohja olisi jäykkä.

### 4.3.1 Pilarit

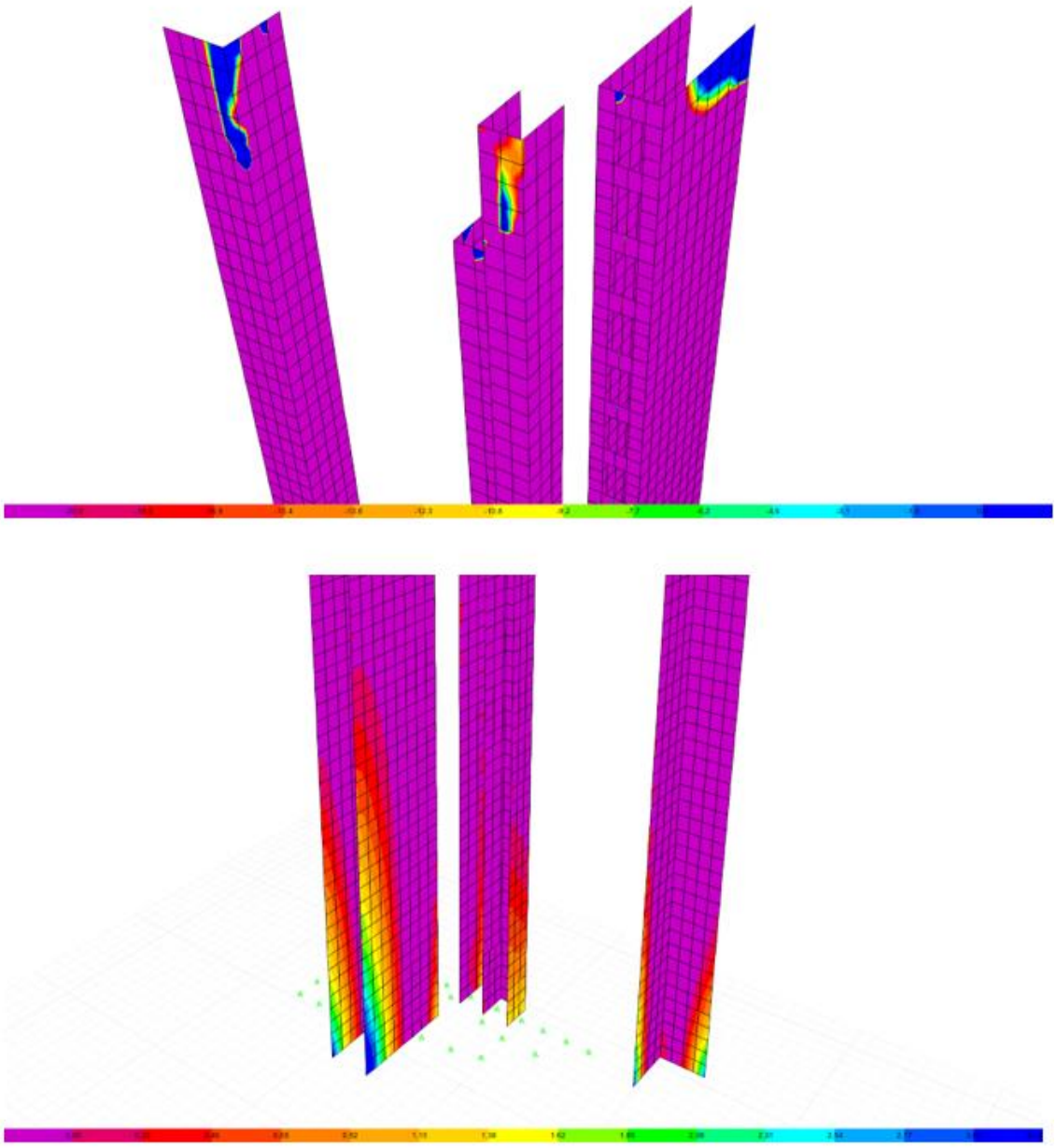
Espoon kohossa väliseinät ja ulkoseinät olivat kantavia ja jäykistäviä osia, mutta tässä vaihtoehtoisessa jäykistämistavassa melkein kaikki jäykistävät ja kantavat seinät ovat korvattu pilareilla. Pilarit ovat suunniteltu samoihin paikkoihin, missä Kohon väliseinät olivat alkuperäisesti. Alkuperäinen suunnitelma oli kuitenkin käyttää vain pilareita

jäykistävänä ja kantavana osana, mutta pilarit yksin eivät pysty jäykistämään rakennusta, joten se tarvitsee yhdistelmäjäykistyksen. Syy, minkä takia pilarit eivät ole yksin tarpeeksi hyvä jäykistävä osa on, että rakennuksen taipuma ja värähtely ylittävät raja-arvot ja pilareiden liitoskohdat eivät pysty ottamaan vaakakuormia.

Pystykuormia pilarit pystyvät ottamaan vastaan hyvin, mikäli niiden koot, raudoitukset ja betonin lujuusluokat ovat oikeita. Etabs:ssa analysoinnin jälkeen saatiin kuormat ja alimman kerroksen pilareiden kuormat olivat n. 6.5-10 MN. Jokaisesta kerroksesta yhdelle pilarille tuli kuormaa n. 300 – 500 kN. Kaikki pilarit olivat puristettuja ja samaan kohtaan sijoiteltu.

### 4.3.2 Seinät

Rakennuksen jäykistävät seinät ottavat vastaan sekä puristus- että vetokuormia. Puristusvoimien suuruus on maksimissaan 7700 kN/m, mutta yleisesti puristusvoimien suuruus 1. krs. on 3000-6000 kN/m välillä. Jäykistävien seinien ovat puristuslujuus on 6,8 kN/m², joten rakenne kestää, mutta niihin kohtiin, jossa puristusvoiman suuruus kasvaa liian suureksi, täytyy tehdä vahvistuksia. Rakennukseen muodostuu vetoa jäykistystornien ylä- ja alareunoihin, kuten alla olevassa kuvassa on esitetty. Sininen väri tarkoittaa vetoa ja liila väri puristusta. Vedon suuruus seinien alareunassa on maksimissaan 3000 kN/m ja yläreunassa 300 kN/m.



Kuva 25. Jäykistävien seinien puristus- ja vetovoimat

### 4.3.3 Taipuma ja värähtely

Rakennuksen analysoinnissa käytettiin 6 moodia, joista moodi 1 on x-suuntainen, moodi 2 y-suuntainen ja moodi 3 on vääntö. Nämä moodit kertovat rakennuksen 6 alinta ominaistaajuutta ja näiden avulla saadaan tietää rakennuksen kiihtyvyys. Nämä ominaistaajuudet ovat esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Etabs:sta rakennuksen 6 alinta ominaistaajuutta.

| TABLE: Modal Periods and Frequencies | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Case | Mode | Period | Frequency | |
| | | sec | cyc/sec | |
| Modal | 1 | 3,353 | 0,298 | X-suunta |
| Modal | 2 | 2,285 | 0,438 | Y-suunta |
| Modal | 3 | 1,611 | 0,621 | vääntö |
| Modal | 4 | 0,891 | 1,123 | |
| Modal | 5 | 0,586 | 1,707 | |
| Modal | 6 | 0,408 | 2,454 | |

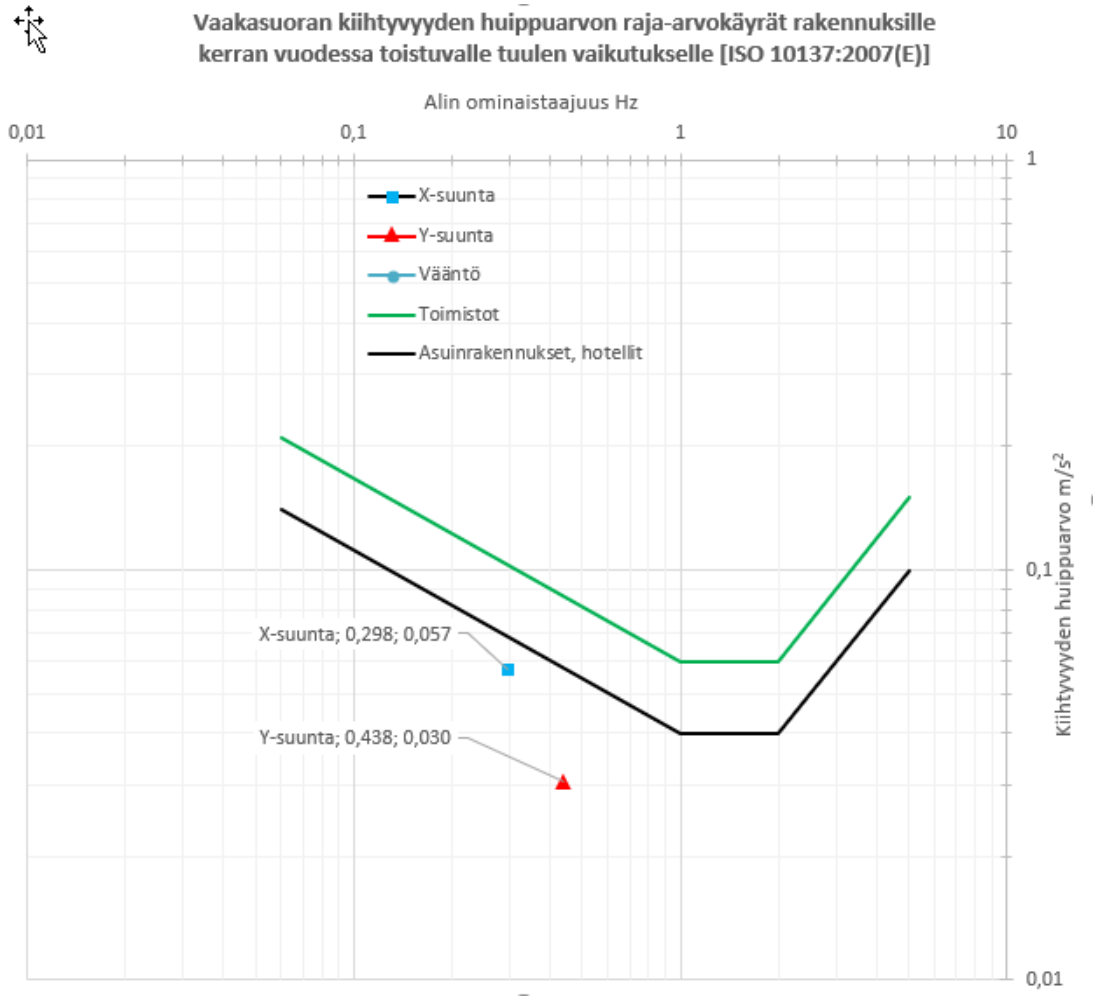
Kun saatiin selville rakennuksen alimmat ominaistaajuudet, laitettiin arvot Exceliin, joka antoi kiihtyvyyden arvot. Alla on taulukoituna kiihtyvyysarvot x- ja y-suuntaan sekä väännön osalta.

Taulukko 12. Rakennuksen huippukiihtyvyydet

| | | | X-suunta | Y-suunta | Vääntö | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | huippu | a [m/s$^2$] | 0,057 | 0,030 | 0,001 | |
| resultantti | huippu | $a_R$ [m/s$^2$] | 0,057 | 0,030 | 0,001 | |
| | raja-arvot | A [m/s$^2$] | 0,069 | 0,058 | 0,049 | |
| | | | | | 0,02 | mrads/sec |

Peak Torsional Velocity, CTBUH alustava raja-arvo kerran vuodessa on 1,5 milli-rads/sec ja kerran 10-vuodessa 3,0 milli-rads/sec

Alla on kuvaaja, josta nähdään kokonaisuutena, missä menee mukavuuden raja kiihtyvyyden kannalta.




Tuulesta aiheutuva värähtely ei haittaa rakennusta tai siellä sisällä olevia henkilöitä. Yleisesti koko rakennus saa taipua h/400-h/700 verran ja sitten vielä pitää tarkistaa, että kerroksittain taipuman raja-arvo h/400 ei ylity. Y-suunnalle tuulikuormista aiheutuu 35 mm taipuma ja x-suunnalle 44 mm. Tästä huomaa selvästi x-suunta on heikompi suunta. Käyttörajatilassa koko rakennuksen taipumaksi saatiin 83,3 mm ja rakennus eurokoodin mukaan saa taipua 87 mm. Yhden kerroksen taipumaksi saatiin noin 5 mm ja sallittu taipuma on 7,5 mm. Näistä tuloksista voi päätellä, että värähtelyn ja taipuman arvot ovat lähellä sallittuja arvoja, mutta ne ovat kuitenkin sallittujen arvojen paremmalla puolella.

### 4.3.4 Pohdinta

Tuloksena vaihtoehtoisessa jäykistämisessä rakennus voidaan toteuttaa pilari- ja jäykistystorniyhdistelmällä. Pelkästään käyttämällä pilareita ainoana jäykistävänä

osana ei ole kannattavaa. Vaikka tällä yhdistelmällä voidaan toteuttaa rakennuksen jäykistys, täytyy ottaa kuitenkin huomioon mukavuus, paloturvallisuus, jatkuva sortuminen ja muut huomioitavat seikat. Asuinrakennukset ovat tiloja, jossa oleskellaan ja asutaan, niin en kuitenkaan hirveän innokkaasti lähtisi käyttämään pilari- ja jäykistystorniyhdistelmää. Mieluummin toteuttaisin kohteen jäykistämisen pilareiden lisäksi väliseinillä, koska väliseinät pystyvät ottamaan enemmän kuormia vastaan jäykistyksen osalta. Väliseinät pystyvät myös jakamaan kuormaa monelle eri alueelle paremmin kuin pilarit ja laattaan ei muodostuisi suuria lävistyskuormia.

Mikäli haluttaisiin toteuttaa kohde, joka on korkeampi kuin mallikohteen rakennus ja jäykistävän osana käytettäisiin pilareita, niin suosittelisin, että suunniteltaisiin enemmän jäykistäviä seiniä. Tämä antaisi varmuuden siitä, että rakennuksen värähtely ja taipuma saataisiin riittävän pieneksi ja asumisolosuhteet olisivat mukavia, joka on yksi tärkeimmistä asioista, mikä pitää aina huomioida asuinrakennusta suunniteltaessa.

# 5 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyö tarkoituksena oli tutustua korkeaan asuinrakentamiseen Suomessa. Kaikkia osa-alueita käytiin vähän läpi ja eikä menty liian syvälle yksityiskohtiin. Asiaa ja tietoa oli paljon sulatettavana, koska korkeiden asuinrakennusten suunnittelua Suomessa ei ole vielä niin paljoa tehty. Kohdeselvityksessä tietojen kerääminen oli työlästä ja yhdessä kohteessa piti mennä Tampereen rakennusvalvontaan keräämään sitä.

Opinnäytetyö antaa yleistietoa Suomessa ja muualla maailmassa rakennetuista korkeista rakennuksista. Alussa kerrotaan hieman tulevaisuuden hankkeista Suomessa. Vaikka tarkoituksena oli käydä kaikkia asioita läpi, oli kuitenkin päätavoitteena tarkoitus keskittyä vaihtoehtoiseen jäykistämisjärjestelmään ja tehdä kohdeselvitystä. Rutiiniomainen tarkastelu antoi jotain käsitystä asuinrakennusten jäykistämisestä, mutta se millä pystyi hahmottamaan kokonaisuuden, oli vaihtoehtoinen jäykistämistutkimus. Yleisesti Suomessa suunnittelemaan korkeita asuinrakennuksia samalla tavalla. Eli jäykistäviä osia ovat väliseinät, ulkoseinät ja laatat. Yli 8. kerroksisiin asuinrakennuksiin tulee lisävaatimuksia paloturvallisuudessa, jatkuvan sortumisen estämisessä, kuormitusyhdistelyissä ja työturvallisuudessa.

**Lähteet:**


1. http://www15.uta.fi/koskivoimaa/kaupunki/1940-60/amurinna.htm (Luettu 20.11.2018)

2. Stafford Smith & Coull 1991, 454

3.https://fi.wikipedia.org/wiki/Luettelo_Suomen_korkeimmista_rakennuksista_ja_rakennelmista (Luettu 20.11.2019)

4. https://fi.wikipedia.org/wiki/Meritorni (Luettu 20.11.2018)

5. https://fi.wikipedia.org/wiki/Tornitalot_Suomessa (Luettu 20.11.2018)

6. https://www.climecon.fi/uutiset.php?aid=617452&k=616286 (Luettu 20.11.2018)

7. https://www.lansivayla.fi/artikkeli/244960-espoon-korkein-asuintalo-nousee-metrokeskuksen-paalle-katso-kuvat (Luettu 20.11.2018)

8. https://en.wikipedia.org/wiki/432_Park_Avenue (Luettu 21.11.2018)

9. http://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/design.aspx (Luettu 21.11.2018)

10. http://www.burjkhalifa.ae/en/the-tower/gallery/burj-khalifa.aspx (Luettu 21.11.2018)

11. Korkeaa Turkua, Timo Hintsanen, 6.9.2018

12.http://www.safa.fi/document.php?DOC_ID=3277&SEC=b3b805edfb77a58940f73e498c08cb39&SID=1 (Luettu 26.11.2018)

13. https://twitter.com/EloHelsinki/status/915865684407660544 (Luettu 26.11.2018)

14. https://www.rakennuslehti.fi/2018/10/pasilan-korkeiden-tornien-kilpailussa-oli-selkeasti-kaupunkikuvaltaan-poikkeavat-finalistit/ (Luettu 26.11.2018)

15. https://www.hel.fi/hel2/ksv/HHR/hhr-kilpailuohjelma.pdf (Luettu 26.11.2018)

16. https://www.yit.fi/ajankohtaista-yitlla/trigoni (Luettu 26.11.2018)

17. https://yle.fi/uutiset/3-10438104 (Luettu 26.11.2018)

18. RIL 201-1-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat

19. RIL 201-2-2011 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat

20.http://iawe.org/Proceedings/11ACWE/11ACWE-Dagnew.pdf (Luettu 3.12.2018)

21.http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/118/19c1dc0/jalkanen_tersrakenteiden_maanjristysmitoitus.pdf (Luettu 10.12.2018)

22. Valmisosarakentaminen II, RTT, Elementtirakennusten jäykistys -95, osa G

23.http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22083/J%c3%a4ykistysj%c3%a4rjestelm%c3%a4t.pdf (Luettu 10.1.2019)

24. E1 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA Rakennusten paloturvallisuus Määräykset ja ohjeet 2011

25. C1 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa Määräykset ja ohjeet 1998

26. https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070501.pdf (Luettu 17.1.2019)

27. https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2049.pdf (Luettu 22.1.2019)

28. https://www.combisafe.com/FIN/news/combisafen-putoamissuojaus-toimittaa-turvaverkkoja-horizon-dsseldorf-rakennuksen-arvostetulle-tymaalle (Luettu 22.1.2019)

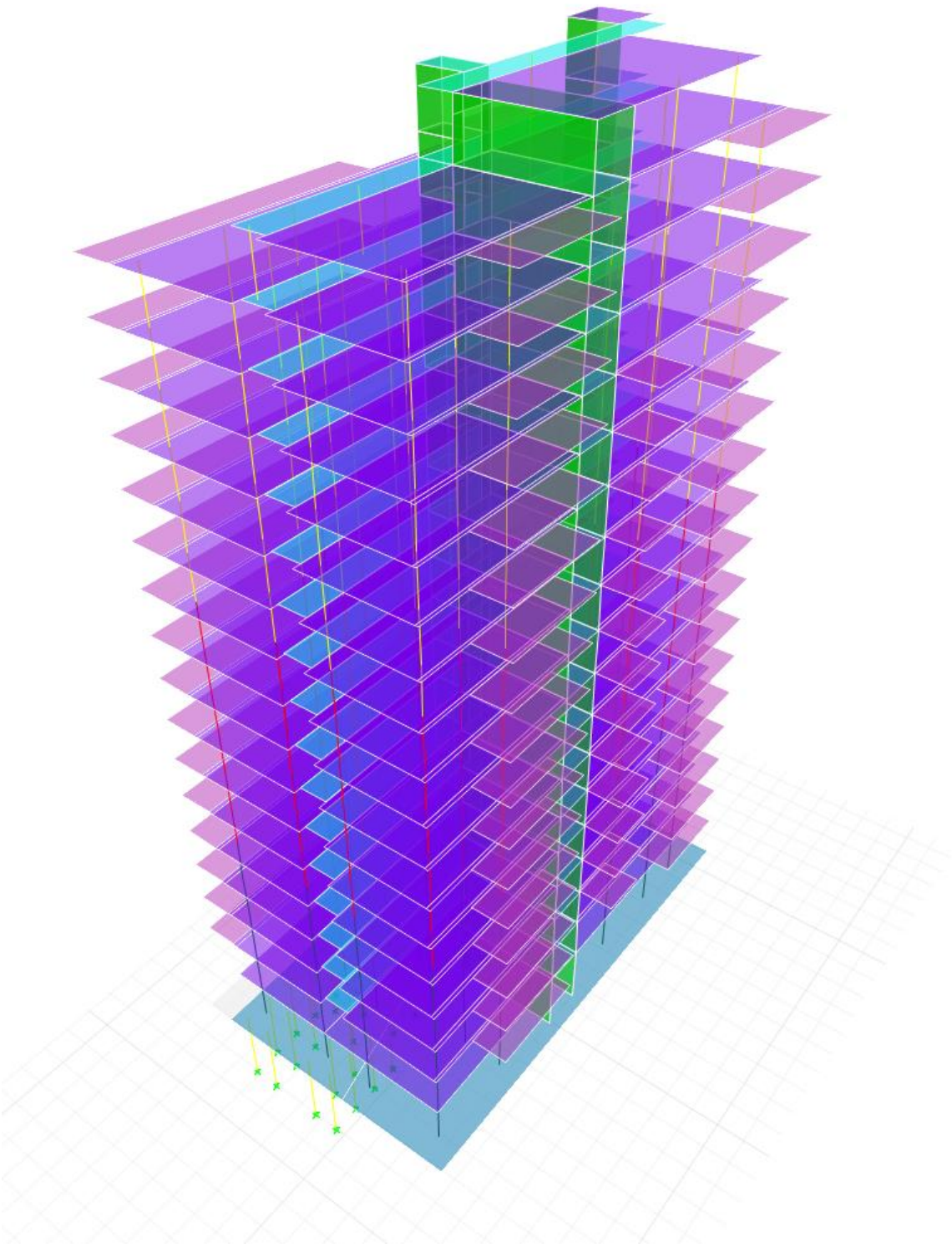
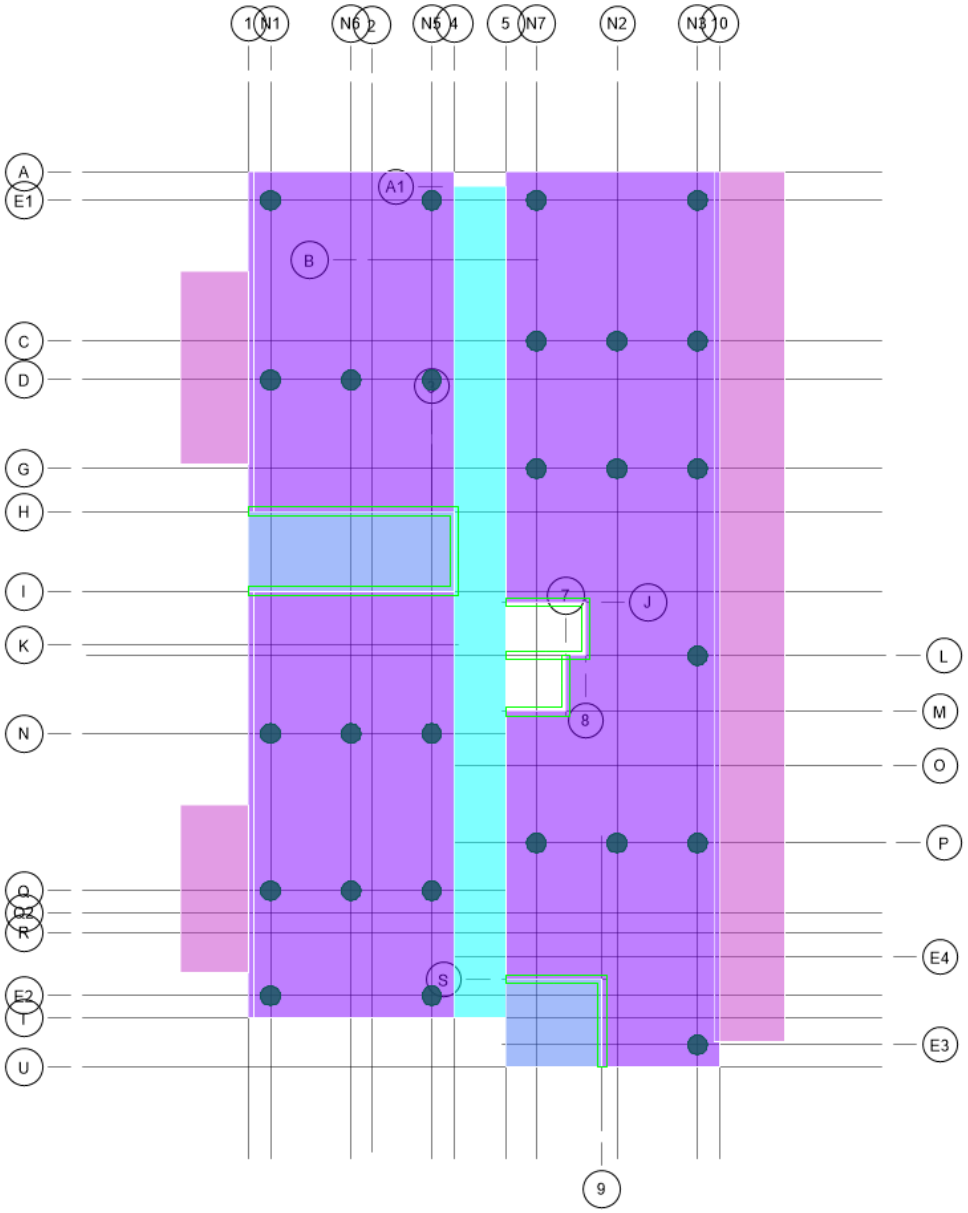
29. Risto Kiviluoma. Kalasataman tornien tuulitunnelikokeet, loppuraportti. 2016. 146 s.

30. Suomen korkeimman rakennuksen turvalliset rakennusratkaisut: tuulen vaikutus, Risto Kiviluoma

31. RIL 201-4-2017 Rakenteiden vauriosietokyvyn varmistaminen onnettomuusrajatilanteessa

32.http://www.energiakorjaus.info/pages/files/rakmk_old_fi/B7_1977_Betonirakenteiden_rajatilamitoitus.pdf (Luettu 15.3.2019)

3D-kuva vaihtoehtoisesta jäykistysjärjestelmämallista



Vaihtoehtoisen jäykistämisjärjestelmän tasokuva.