



Jäykistävien rakenteiden vaakavoimien laskenta

Mikko Kettunen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Rakennustekniikan ko.
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

MIKKO KETTUNEN:

Jäykistävien rakenteiden vaakavoimien laskenta

Opinnäytetyö 43 sivua

Toukokuu 2014

Rakennukset altistuvat jatkuvasti erilaisille hyöty- ja luonnonkuormille, joista aiheutuu rasituksia rungon eri osille. Rakenteet tulee mitoittaa kestävästi kyseiset rasitukset siten, ettei niihin synny pysyviä muodonmuutoksia. Rakennuksen rungon tehtäviin kuuluu normaalin kantokyvyn ohella riittävä vakavuus eli stabiilius. Rakennuksen runko on stabiili silloin, kun siihen vaikuttavat voimat ovat tasapainossa. Riittävän vakavuuden saavuttamiseksi rakennuksen runko tulee suunnitella tarpeeksi jäykäksi.

Tässä työssä esitellään eri jäykistysmenetelmiä ja käydään läpi yleiset eurokoodimitoitusteriaatteen jäykistyslaskennassa. Työssä lasketaan nelikerroksisen betonirunkoisen rakennuksen jäykistävien osien vaakavoimat eurokoodien mukaisesti RFEM -ohjelmalla.

Työn lopputuloksena tuotetaan laskentamalli RFEM -ohjelmalla, jonka avulla voidaan laskea jäykistävien rakenteiden, sekä muiden rakenteiden rasitukset.

Työssä tuotettua laskentamallia pystytään hyödyntämään projektin edetessä muuhunkin laskentaan. Tuotetusta mallista saadaan helposti kuormat eri rakenteille, minkä perusteella pystytään tuottamaan tarkempia yksittäisiä laskelmia.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Option of Building Construction

MIKKO KETTUNEN:
Horizontal load calculations for bracing structures

Bachelor's thesis 43 pages
May 2014

Buildings are constantly exposed for different kinds of live loads and environment loads that cause stress to buildings frame. Structures need to be designed to withstand these loads so that they maintain their original state. Additionally to the normal load capacity, buildings frame needs to be stable. The frame is stable when the affecting loads are in balance. To achieve this balance the frame needs to be designed to be stiff.

This thesis contains information of different bracing methods and eurocode calculation basis for bracing calculations. This thesis contains horizontal load calculations for a four storey concrete building. The calculations are done with RFEM -program.

The result of this thesis is a calculation model for RFEM -program, which shows the loads and stresses for the stiffening walls and other structures.

The calculation model can also be used for other calculations as the designing project goes on. Loads and stresses for different structures are easy to inquire from the model, which allows designers to do more accurate calculations for individual parts.

Key words: bracing, eurocode, frame, calculation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	RUNGON JÄYKISTYS.....	9
2.1	Rungon jäykistykseen vaikuttavat tekijät	9
2.2	Rungon jäykistämistavat	9
2.2.1	Mastojäykistys	10
2.2.2	Kehäjäykistys	12
2.2.3	Levyjäykistys	12
2.2.4	Ristikkojäykistys	13
2.2.5	Useiden jäykistysjärjestelmien yhdistelmä	13
2.3	Laskuperiaate mastoseinäjäykistykselle	14
2.3.1	Välipohja siirtyy, ei kierry	14
2.3.2	Välipohja siirtyy ja kiertyy	14
3	EC-MITOITUSPERIAATTEET.....	17
3.1	Murtorajatila	17
3.2	Käyttörajatila	18
4	KUORMITUKSET	19
4.1	Suunnittelukuormat.....	19
4.2	Pystysuuntaiset voimat	19
4.2.1	Oma paino	19
4.2.2	Hyötykuormat	20
4.2.3	Lumikuormat.....	22
4.3	Vaakasuuntaiset voimat	23
4.3.1	Tuulikuorma	23
4.3.2	Hyötykuormat	26
4.3.3	Maanpaine	26
4.3.4	Lisävaakavoimat	26
4.3.5	Toisen kertaluvun vaikutukset	27
5	KUORMITUSYHDISTELMÄT.....	28
5.1	Murtorajatila	28
5.2	Käyttörajatila	30
6	LASKENTA	31
6.1	Kuormat	31
6.1.1	Tuulikuorma.....	31
6.1.2	Tasokuormat.....	32
6.1.3	Lumikuormat.....	33
6.1.4	Murtorajatilamitoitus.....	33

6.2 Laskentamalli	34
6.2.1 Alustava malli	34
6.2.2 Alustava RFEM -laskentamalli	34
6.2.3 Kuormitukset RFEM -laskentamallissa.	37
6.2.4 Lopullinen RFEM -laskentamalli.....	39
7 YHTEENVETO	42
LÄHTEET.....	43

KÄYTETYT LYHENTEET

F_y	ulkoinen kuorma
Q_y	jäykistävän seinän kuorma
k_y	jäykistävän seinän jäykkyys y-suunnassa
M	kiertymästä aiheutuva momentti
v_y	siirtymä
θ	kiertymä
EI	nimellisjäykkyys
s	katolle tuleva lumikuorma
u_i	lumikuorman muotokerroin
C_e	tuulensuojakerroin
C_t	lämpökerroin
s_k	maanpinnan lumikuorman ominaisarvo
v_b	tuulennopeuden perusarvo
c_{dir}	suuntakerroin
c_{season}	vuodenaikakerroin
$v_{b,0}$	tuulennopeuden modifioimaton perusarvo
$V_m(z)$	tuulennopeuden modifioimaton perusarvo korkeudella z
$c_r(z)$	rosoisuuskerroin
$c_0(z)$	pinnanmuotokerroin
z_0	rosoisuusmitta
k_r	maastokerroin
$q_p(z)$	korkeudella z vallitseva puuskanopeuspaine
ρ	ilman tiheys
$I_v(z)$	tuulenpuuskien intensiteetti korkeudella z
k_l	pyörteisyysskerroin
F_w	kokonaistuulikuorma
$c_s c_d$	rakennekerroin
c_f	voimakkerroin
A	rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala
H_{dt} ja H_{dl}	lisävaakavoimien laskenta-arvot
N_d	lisävaakavoiman aiheuttavan pystykuorman laskenta-arvo

K_{FI}	kuormakerroin
RC	luotettavuusluokka
CC	seuraamusluokka
ψ	yhdistelykerroin

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena on määrittää nelikerroksisen betonirunkoisen rakennuksen vaakavoimien jakautuminen eri jäykistysosille. Työssä esitellään yleiset rakennuksen jäykistysmenetelmät ja eurokoodimitoituspäätökset jäykistyslaskennassa. Työ rajataan valmiin rakennuksen jäykistävien rakenteiden vaakasuuntaisten rasitusten määrittämiseen. Vaakavoimien laskenta toteutetaan RFEM -ohjelmalla.

Opinnäytetyön tuloksena tuotettava RFEM -laskentamalli tehdään suunnitteluvaiheessa olevasta uudesta sosiaali- ja terveyskeskuksesta. Laskentamallista saadaan selville eri rakenneosien rasitukset, mikä helpottaa ja edistää myöhempää tarkempaa suunnittelua.

2 RUNGON JÄYKISTYS

2.1 Rungon jäykistykseen vaikuttavat tekijät

Rakennuksen rungon tehtäviin kuuluu normaalin kuormankantokyvyn ohella riittävä vakavuus eli stabiilius. Rakennuksen runko on stabiili silloin, kun siihen vaikuttavat voimat ovat tasapainossa. Rungolla on oltava riittävä varmuus sekä kaatumista, että liukumista vastaan, ja rungon muodonmuutosten on pysyttävä sallituissa rajoissa. Rakennuksen kokonaisvakavuus ja rakennusosien vakavuus varmistetaan rakennuksen rungolla tai sen osilla siten, että ne ottavat vastaan vaakasuorat voimat kuten tuulikuorman, sekä epäkeskisyyksistä johtuvat kuormat. [1, s.510]

Rakennusta rasittavat luonnonkuormat kohdistuvat yleensä ulkoverhoiluun ja runkoa täydentäviin rakenteisiin, joista voimat siirtyvät oikeilla rakenneratkaisuilla runkorakenteille. Riittävään rungon vakavuuden tarvitaan pysty- ja vaakarakenteita, joiden määrä ja sijainti on valittava tarkoituksenmukaisesti. Rakennuksen väli- ja yläpohjan yhtenäiset laatat oletetaan riittävän jäykiksi siirtämään vaakavoimat pystyrakenteille. [1. s.510-511]

Jäykistävät pystyrakenteet saavat kultakin tasolta kuormaa jäykkyyksiensä suhteessa ja jäykistysrakenteita mitoittaessa on selvitettävä rakenteiden todelliset jäykkyydet riittävällä tarkkuudella. Rakenteiden jäykkyyteen vaikuttavat voimakkaasti niissä olevat aukot ja halkeilut. [3]

2.2 Rungon jäykistämistavat

Rakennukset voidaan jäykistää usealla eri tavalla. Käytettävän jäykistysjärjestelmän valintaan vaikuttaa useita eri tekijöitä, joiden avulla valitaan kuhunkin tilanteeseen sopivin jäykistysjärjestelmä. Jäykistystavan valinnassa tulee ottaa huomioon rakennuksen rakennejärjestelmä, mittasuhteet, kustannustehokkuus, vaatimukset rakennuksen muuntojoustavuudelle, arkkitehtuuri sekä käyttötarkoitus. [3]

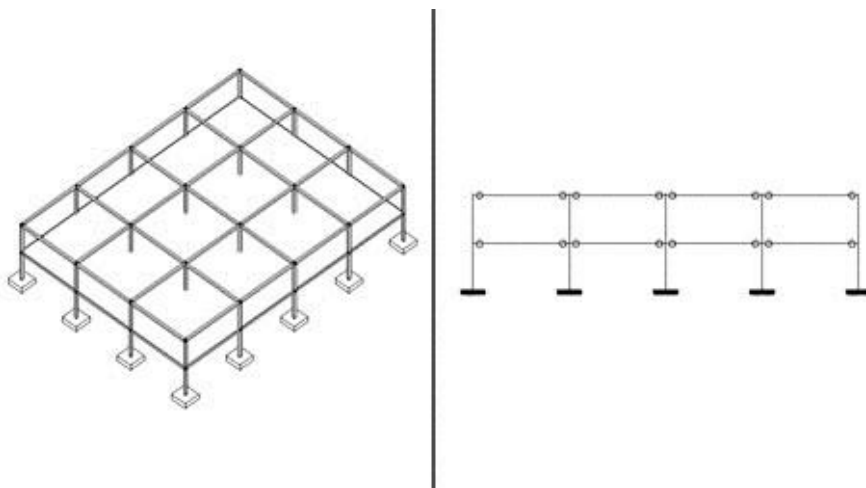
Erilaisia rakennusrungon jäykistystapoja ovat esimerkiksi:

- Mastojäykistys
 - Mastopilarit
 - Mastoseinät
 - Jäykistystornit
- Kehäjäykistys
- Levyjäykistys
- Ristikkojäykistys
- Useiden jäykistystapojen yhdistelmä

2.2.1 Mastojäykistys

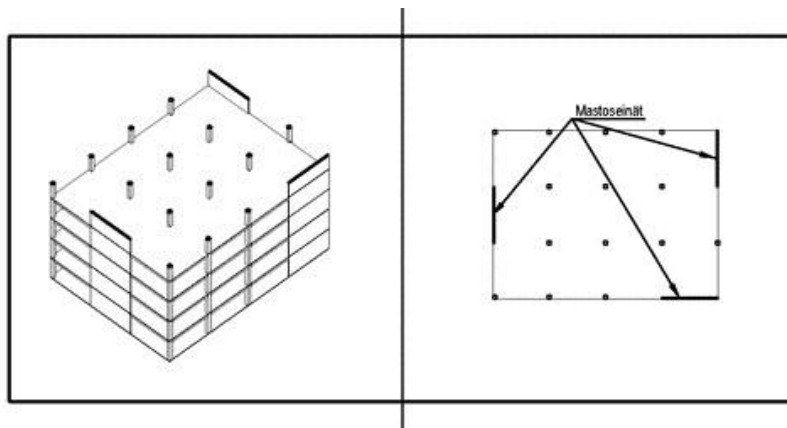
Mastojäykistyksessä jäykistävät rakenteet toimivat ulokepalkin tavoin alapäästään jäykästi kiinnitettyinä ulokepalkkeina, joille tasojen vaakarakenteet siirtävät vaakavoimista aiheutuvat rasitukset. Rakennuksen rungon muut pystyrakenteet toteutetaan mastojäykistetyssä rakennuksessa nivelliitoksilla. Mastojen koon ja muodon perusteella puhutaan mastopilareista, mastoseinistä, sekä jäykistystorneista. [3]

Mastopilarijäykistyksessä pilarit toimivat jäykästi alapäästään perustuksiin kiinnitettyinä ulokkeina vaakakuormia vastaan. Mastopilarijäykistys soveltuu mataliin 1-3 kerroksisiin rakennuksiin. Vaakavoimat siirretään ulkoseinärakenteiden sekä jäykkien tasorakenteiden kautta suoraan pilareille vaakavoimia siirtävien nivelliitosten kautta. Mastopilarilta voimat siirretään anturalle jäykän liitoksen kautta. [3]



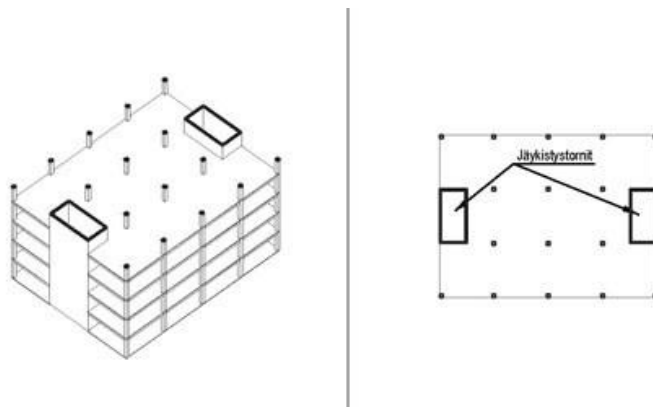
KUVA 1. Mastopilarijäykistys [3]

Mastoseinäjäykistyksessä yhtenäiset mastoseinät toimivat perustuksiin tukeutuvina ulokepalkkeina. Mastoseinät voidaan koota seinäelementeistä, joiden vaaka- ja pystysaumot tulee mitoittaa siirtämään normaalivoima- ja leikkausrasitukset niin, että ne toimivat yhtenäisenä rakenteena. Mastoseinät pyritään sijoittamaan siten, että niille saadaan tarvittavat pystykuormat ja mastoseinä on kokonaan puristettu kaikissa kuormitus-tapauksissa. [3] Mastoseinät pyritään yleensä sijoittamaan symmetrisesti kummakin pääsuunnan suhteen. Kun seinät sijaitsevat epäsymmetrisesti, syntyy välipohjaan kiertymä, jolloin vaakakuormien jakaminen jäykistysseinille on työläämpää. [1, s.512]



KUVA 2. Mastoseinäjäykistys [3]

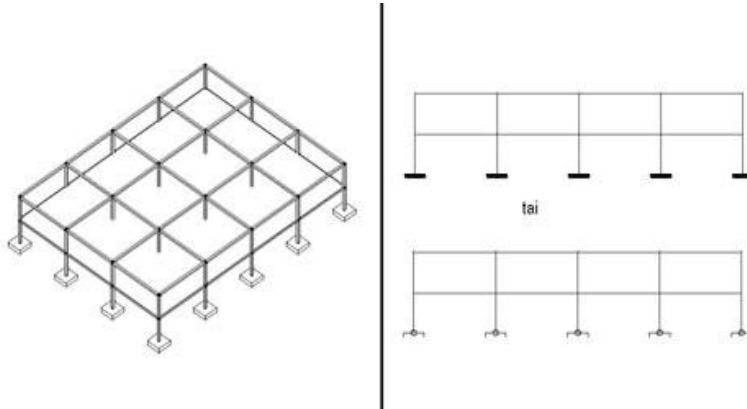
Jäykistystornit toimivat samaan tapaan kuin mastoseinät. Jäykistystornit sopivat erityisen hyvin korkeisiin rakennuksiin. Jäykkänä rakenneosana ovat porras- ja hissiryhmien sekä LVIS-pystykuilujen muodostamat seinät. [1, s.513] Käytettäessä jäykistystorneja on muistettava mitoittaa eri seinien liitokset niissä vaikuttaville leikkausvoimille, jotta rakenteet saadaan toimimaan yhtenä monoliittisena kokonaisuutena. [3]



KUVA 3. Jäykistystorni [3]

2.2.2 Kehäjäykistys

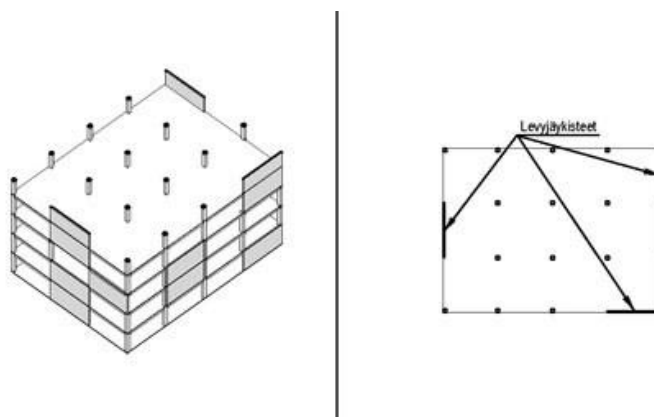
Kehäjäykistyksessä rungon muodostaa pilaripalkkijärjestelmä, jonka korkeus on korkeintaan 3 kerrosta. Nivelellisesti tai jäykästi alapäästään perustuksiin kiinnitetyt pilarit toimivat vaakakuormien rasituksia vastaan kehinä, joiden nurkat ottavat vaakakuormien rasitukset pilarien ja palkkien taivutusrasituksena. Kehäjäykistetyllä rakennuksella päästään vapaampaan tilojen käyttöön, kun rajoittavat jäykistävät seinät puuttuvat. [3]



KUVA 4. Kehäjäykistys [3]

2.2.3 Levyjäykistys

Levyjäykistyksessä rungon aukkoihin sijoitetut levymäiset rakenteet jäykistävät rakenteet. Levyt siirtävät vaakakuormien aiheuttamat rasitukset levyjen leikkausvoimina rakenteille ja perustuksiin. Tasorakenteet jakavat vaakavoimat jäykistäville levyille niiden sijainnin ja jäykkyyksien mukaisesti. Levyseinien sijoittelu on melko vapaa, mutta jos levyt eivät sijaitse päällekkäin, on muistettava siirtää jäykistyksestä aiheutuvat pystykuormat muilla rakenteilla perustuksiin ja maapohjaan. [3]



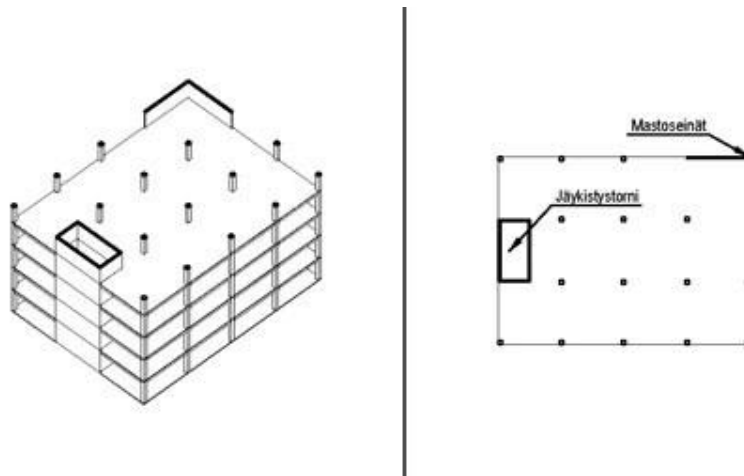
KUVA 5. Levyjäykistys [3]

2.2.4 Ristikkojäykistys

Levyjäykistyksen sijaan esimerkiksi pilari-palkkirunkoisessa rakennuksessa voidaan käyttää ristikkojäykistystä. Ristikkojäykistyksessä levymäiset rakenteet on korvattu veto- ja/tai puristussauvoilla. Jäykistysristikot voivat toimia osana kantavaa rakennetta, tai erillisenä, ei kantavana jäykistävänä osana. [3]

2.2.5 Useiden jäykistysjärjestelmien yhdistelmä

Rungon jäykistämiseen voidaan myös käyttää edellä esitettyjen jäykistämistapojen yhdistelmiä, kun yhdellä tavalla ei saada riittävää jäykkyyttä. Runkoa täydentävillä rakennusosilla, esimerkiksi ulkoseinillä tai muuratuilla väliseinillä saadaan rakennukselle lisjäykkyyttä rungon taipuman pysyessä vähäisenä. Betonirakenteiden rakenteellisia jäykistämistapoja ovat myös mm. kaikki ne lisäraudoitukset jotka laitetaan laattojen, seinien ja niissä olevien aukkojen pieliin. [1, s.513]



KUVA 6. Yhdistetty jäykistystorni ja mastoseinäjäykistys [3]

2.3 Laskuperiaate mastoseinäjäykistykselle

Laskenta mastoseinäjäykistykselle riippuu täysin jäykistävien rakenteiden sijainnista. Mikäli jäykistävät seinät on sijoitettu rakennukseen symmetrisesti, rakennuksen välipohjaan ei aiheudu kiertymää, jolloin laskenta on yksinkertaisempaa. Monessa tapauksessa jäykistäviä seiniä ei pystytä sijoittamaan symmetrisesti, jolloin ulkoisesta kuormasta aiheutuva kiertymä vaikuttaa kuormitusten jakautumiseen eri jäykistysseinille. Tällöin seinien kokonaissiirtymä muodostuu siirtymästä ja kiertymästä. [1, s.514]

2.3.1 Välipohja siirtyy, ei kierry [1]

Monikerroksisissa rakennuksissa on vaakavoimien vastaanottaminen tarkoituksenmukaista yhdensuuntaisilla seinälevyillä. Jos seiniä on enemmän kuin kaksi, jaetaan ulkoinen kuorma F_y kuorman suuntaisille seinille suoraan niiden jäykkyyksien suhteessa. Kunkin seinän kuorma saadaan kaavasta

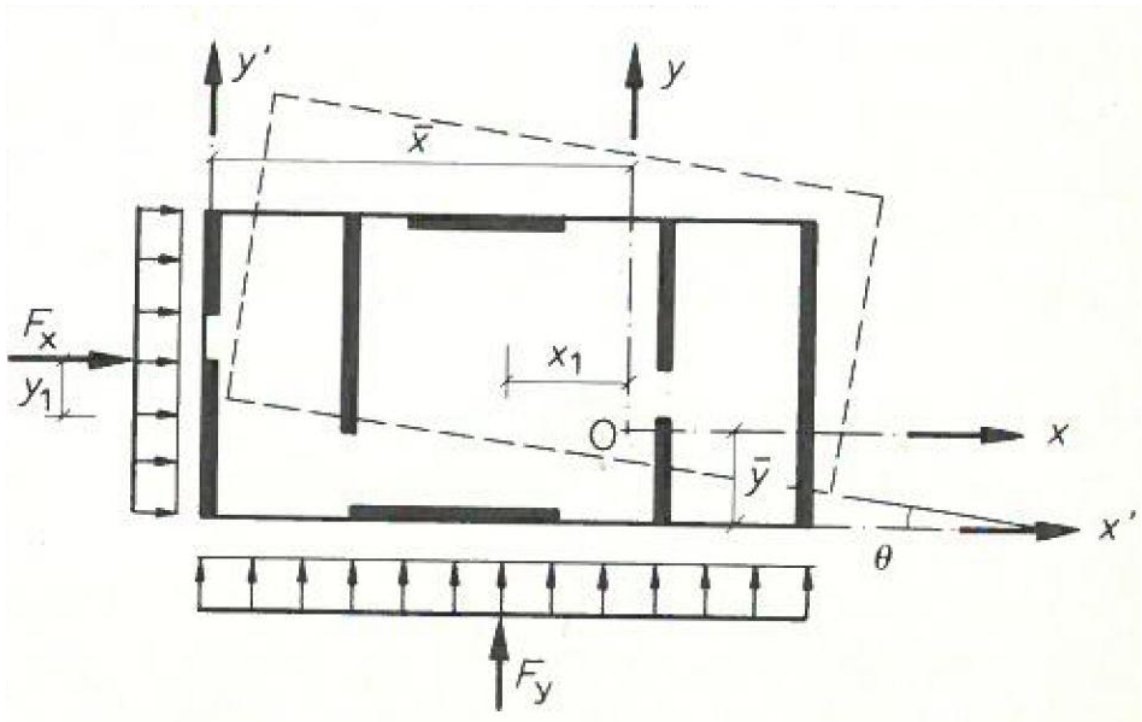
$$Q_y = \frac{k_y}{\sum k_y} * F_y \quad (1)$$

k_y seinän y-suuntainen jäykkyys. Tämä määritellään seuraavassa osiossa.

2.3.2 Välipohja siirtyy ja kiertyy [1]

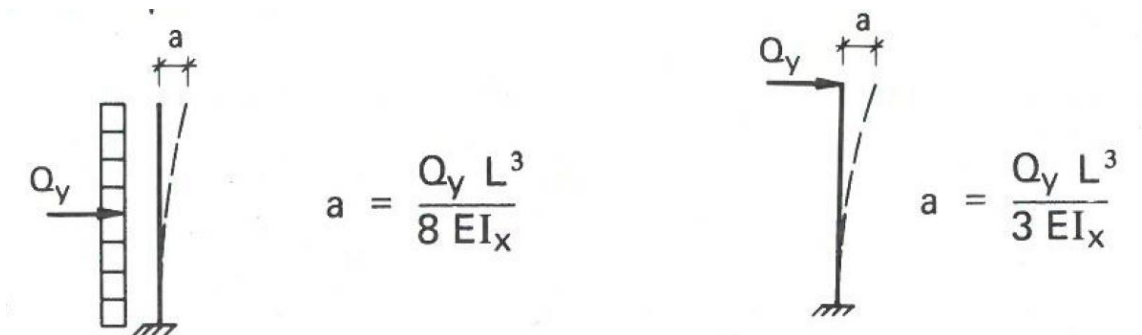
Kun ulkoisen kuorman resultantti ei kulje pystyrakenteiden kiertokeskiön kautta, syntyy välipohjaan kiertymää. Tämän seurauksena rakennetta kuormittaa vaakavoimien F_x ja F_y lisäksi kiertävä momentti M , ja välipohjarakenne saa siirtymien v_x ja v_y lisäksi kiertymän θ . Koko mastosysteemin kiertymäkeskipisteen O koordinaatit koordinaatistossa x', y' saadaan yhtälöistä

$$\bar{x} = \frac{\sum k_y x'}{\sum k_y} \quad \bar{y} = \frac{\sum k_x y'}{\sum k_x} \quad (2)$$



KUVA 7. Välipohja siirtyy ja kiertyy [2, s.237]

Kaavoissa k_y ja k_x ovat y - ja x -suuntaiset jäykkyysluvut. Esimerkiksi k_y on se voima, joka siirtää seinän y -suunnassa yhden yksikön verran. Oletetaan seinien olevan jäykästi kiinnitettyinä perustuksiin. Tällöin siirtymä voidaan laskea ulokkeen taipumakaavoilla.



KUVA 8. Maston taipuma [1, s.515]

Jäykkyys k_y on se voima, jolla $a = 1$ eli

$$k_y = \frac{8EI_x}{L^3} \quad \text{tai} \quad k_y = \frac{3EI_x}{L^3} \quad (3)$$

EI nimellisjäykkyys

Seuraavat kaavat on kirjoitettu xy-koordinaatistossa, jonka origo on pisteessä O. Osamastojen jäykkyytasapainopisteiden koordinaatit ovat:

$$x = x' - \bar{x} \qquad y = y' - \bar{y} \qquad (4)$$

Ulkoisten kuormien ja jäykistävien seinien sisäisten voimien tasapainoehdoista ratkaistaan siirtymät ja kiertymä:

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x} \qquad (5)$$

$$v_y = \frac{F_y}{\sum k_y} \qquad (6)$$

$$M = F_y * x_1 - F_x * y_1 \qquad (7)$$

$$\theta = \frac{M}{\sum k_x * y^2 + \sum k_y * x^2} \qquad (8)$$

Kun siirtymät tunnetaan, saadaan osamastojen kuormitukset jäykkyyksien ja siirtymien avulla.

$$Q_x = k_x * v_x - k_x * y * \theta \qquad Q_y = k_y * v_y - k_y * x * \theta \qquad (9)$$

3 EC-MITOITUSPERIAATTEET

Standardissa SFS-EN 1990 2002 esitetään rakenteiden varmuutta, käyttökelpoisuutta ja säilyvyyttä koskevat periaatteet ja vaatimukset.

Rakenne tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että se kestää kaikki kuormat ja vaikutukset suunnitellun käyttöikänsä ajan, joita todennäköisesti esiintyy toteutuksen ja käytön aikana. Rakenteet tulee mitoittaa murtorajatilassa ja käyttörajatilassa. Kyseiset osa-alueet tulee käsitellä erikseen. Lisäksi kyseiset rajatilat tulee liittää eri mitoitusilanteisiin, joita ovat:

- normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet
- tilapäiset mitoitusilanteet
- onnettomuusilanteet
- maanjäristysmitoitusilanteet. [5, s.46]

Rajatilamitoituksen tulee perustua asianomaisia rajatiloja varten muodostettujen rakenne- ja kuormitusmallien käyttöön. Rajatilamitoituksessa on osoitettava, ettei mitään rajatilaa ylitetä, kun malleissa käytetään asiaankuuluvia mitoitusarvoja kuormille, materiaali- tai tuoteomaisuuksille ja mittatiedoille. [5, s.50]

3.1 Murtorajatila

Kaikki ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen liittyvät rajatilat tulee luokitella murtorajatiloiksi. Murtorajatilatarkastelussa tulee tarkastaa seuraavat tilat, jos ne ovat merkityksellisiä:

- jäykkänä kappaleena tarkasteltavan rakenteen tai sen osan tasapainon menetys
- vaurioituminen siirtymätilan kasvaessa liialliseksi, rakenteen tai sen jonkin osan muuttuminen mekanismiksi, katkeaminen, rakenteen tai sen jonkin osan stabiiliuden menetys, tuet ja perustukset mukaan luettuina
- väsymisen tai muun ajasta riippuvan vaikutuksen aiheuttama vaurioituminen. [5, s.46-48]

3.2 Käyttörajatila

Käyttörajatiloina luokitellaan rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Käyttörajatilatarkastelussa tulee ottaa huomioon:

- siirtymät, jotka vaikuttavat ulkonäköön, käyttäjien mukavuuteen tai rakenteen toimivuuteen
- värähtelyt, jotka saavat ihmiset tuntemaan olonsa epämukavaksi tai jotka rajoittavat rakenteen kelpoisuutta käyttötarkoitukseensa
- vauriot, jotka vaikuttavat kielteisesti ulkonäköön, säilyvyyteen tai rakenteen toimivuuteen. [5, s.48]

Lisäksi käyttörajatiloina tarkisteltaessa tulee erottaa palautuva ja palautumaton käyttörajatila toisistaan.

4 KUORMITUKSET

4.1 Suunnittelukuormat

Rakenteiden kuormat määritetään eurokoodin EC1 mukaisesti. EC1:ssä kuormat on jaettu osiin seuraavasti:

- SFS-EN 1991-1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat
- SFS-EN 1991-1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset
- SFS-EN 1991-1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat
- SFS-EN 1991-1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat
- SFS-EN 1991-1-5: Yleiset kuormat. Lämpötilakuormat
- SFS-EN 1991-1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat
- SFS-EN 1991-1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat
- SFS-EN 1991-2: Siltojen liikennekuormat
- SFS-EN 1991-3: Nostureiden ja muiden koneiden aiheuttamat kuormat
- SFS-EN 1991-4: Siilojen ja säiliöiden kuormat

Betonirakenteiden jäykistyslaskennassa tarvittava rakenteiden mahdollisesta vinoudesta aiheutuva lisävaakavoima esitetään betonirakenteiden osalta eurokoodin osassa EN1992-1-1.

4.2 Pystysuuntaiset voimat

Pystysuuntaisia kuormia ovat rakennuksen oma paino, pystysuuntaiset hyötykuormat sekä lumikuorma.

4.2.1 Oma paino

Oma paino on pysyvää, rakennuksen kiinteiden osien aiheuttamaa kuormaa. Oma paino lasketaan materiaalien nimellismittojen ja tilavuuspainojen ominaisarvojen perusteella. Rakennuskohteen omaan painoon kuuluvat kantavat ja ei-kantavat rakennusosat sekä kiinteät laitteet. [7, s.24]

4.2.2 Hyötykuormat

Rakennusten hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä. Välipohjia, palkkeja ja yläpohjia mitoittaessa hyötykuormat tulee ottaa huomioon liikkuvana kuormana, joka vaikuttaa kunkin tarkasteltavan kuorman vaikutuksen vaikutuspinnan epäedullisimmassa osassa. Pilareita ja seiniä mitoittaessa kunkin kerroksen välipohjaa kuormittavan kokonaishyötykuorman otaksutaan olevan tasan jakautunut.

Hyötykuormia määrittäessä rakennuksen tilat tulee jakaa niille ominaisen käytön mukaisesti luokkiin taulukon 1 mukaisella tavalla.

TAULUKKO 1. Käyttöluokat [7, s.30]

Luokka	Käyttötarkoitus	Esimerkki
A	Asuin- ja majoitustilat	Asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien ja retkeilymajojen makuuhuoneet, keittiöt ja WC:t.
B	Toimistotilat	
C	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (poikkeuksena luokkiin A, B, ja D kuuluvat tilat) ¹⁾	<p>C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat.</p> <p>C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat.</p> <p>C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit.</p> <p>C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt.</p> <p>C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötaphtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit.</p>
D	Myyvälätilat	<p>D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat.</p> <p>D2: Tavaratalojen tilat.</p>
<p>¹⁾ On syytä kiinnittää huomiota kohtaan 6.3.1.1(2), erityisesti luokkien C4 ja C5 osalta. Standardissa EN 1990 esitetään, milloin dynaamiset vaikutukset on tarpeen ottaa huomioon. Luokkaa E koskevat tiedot ovat taulukossa 6.3.</p> <p>HUOM. 1 Aiotusta käyttötarkoituksesta riippuen tilat, jotka todennäköisesti sijoitettaisiin luokkaan C2, C3 tai C4, voidaan tilaajan päätöksellä tai kansallisen liitteen perusteella sijoittaa luokkaan C5.</p> <p>HUOM. 2 Kansallisessa liitteessä luokat A, B, C1 ... C5, D1 ja D2 voidaan jakaa alaluokkiin.</p> <p>HUOM. 3 Varasto- ja teollisuustiloja tarkastellaan kohdassa 6.3.2.</p>		

Yllä olevassa taulukossa 1 määriteltyjen käyttöluokkien mukaiset tilat tulee mitoittaa käyttämällä taulukon 2 antamia ominaisarvoja. Tarvittaessa kuormien arvoina käytetään taulukon arvoja suurempia arvoja, esimerkiksi portaiden ja parvekkeiden osalta henkilömäärästä ja mitoista riippuen.

TAULUKKO 2. Rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden hyötykuormat [8, s.2]

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Luokka A		
– Välipohjat	2,0	2,0
– Portaat	2,0	2,0
– Parvekkeet	2,5	2,0
Luokka B	2,5	2,0
Luokka C		
– C1	2,5	3,0
– C2	3,0	3,0
– C3	4,0	4,0
– C4	5,0	4,0
– C5	6,0	4,0
Luokka D		
– D1	4,0	4,0
– D2	5,0	7,0

Vesikaton hyötykuorma määräytyy katolle pääsyn mahdollisuuden perusteella. Vesikatot luokitellaan taulukon 3 mukaisesti kolmeen luokkaan.

TAULUKKO 3. Vesikattojen luokitus [7, s.42]

Kuormitusalueen luokka	Käyttötarkoitus
H	Vesikatot, joille on pääsy vain normaalia kunnossapitoa ja korjaamista varten.
I	Vesikatot, joille on pääsy luokkien A ... D mukaisesti.
K	Erytistöimintoja varten olevat vesikatot, kuten helikoptereiden laskeutumisalueet.

Luokkaan H kuuluvien vesikaatojen hyötykuormat esitetään taulukossa 4 ja luokkaan K vesikatot taulukossa 5.

TAULUKKO 4. Luokan H vesikattojen hyötykuormat [8, s.4]

Katto	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Luokka H	0,4	1,0
Huom: q_k lasketaan pinta-alalle, jonka suuruus on enintään 10 m ² .		

TAULUKKO 5. Helikoptereiden aiheuttamat hyötykuormat luokan K katoille [7, s.44]

Helikopteriluokka	Helikopterin lähtökuorma Q	Lähtökuorma Q_k	Kuormitetun alueen mitat (m × m)
HC1	$Q \leq 20$ kN	$Q_k = 20$ kN	0,2 × 0,2
HC2	20 kN < $Q \leq 60$ kN	$Q_k = 60$ kN	0,3 × 0,3

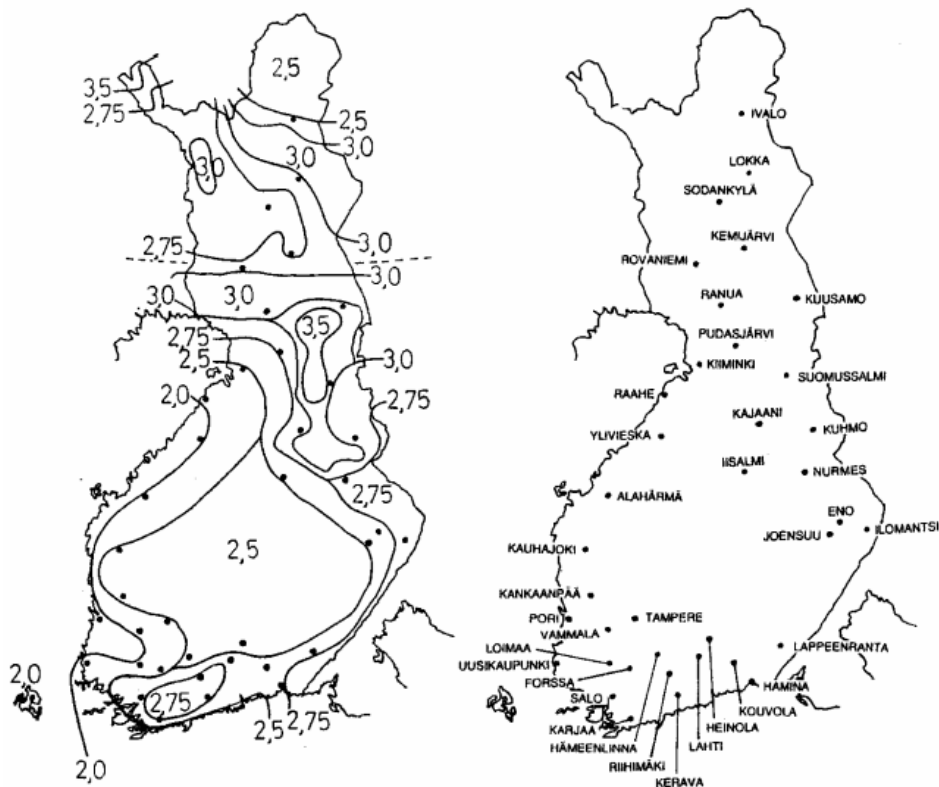
4.2.3 Lumikuormat

Lumikuorma on muuttuvaa, kiinteää kuormaa, jonka määrittely tehdään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan. Katolle tuleva lumikuorma lasketaan maanpinnan lumikuorman mukaan kaavalla (10).

$$s = u_i C_e C_t s_k \quad (10)$$

u_i	lumikuorman muotokerroin
C_e	tuulensuojaisuuskerroin
C_t	lämpökerroin
s_k	maanpinnan lumikuorman ominaisarvo

Suomessa käytettävät maanpinnan lumikuorman ominaisarvo s_k määritetään kuvasta 9. Tuulensuojaisuuskerroin C_e määritetään taulukon 6 mukaan. Lämpökertoimen C_t avulla otetaan huomioon kattojen lumikuorman pienennys lämpöhäviön aiheuttaman sulamisen johdosta huonosti eristetyillä katoilla. Tavallisesti lämpökertoimelle käytetään arvoa 1,0.



KUVA 9. Suomessa käytettävät maanpinnan lumikuormat [10, s.4]

TAULUKKO 6. Tuulensuojaisuuskertoimen määrittäminen [10, s.6]

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen ^a	0,8 ^{*)}
Normaali ^b	1,0
Suojainen ^c	1,0

^a *Tuulinen maasto*: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.

^b *Normaali maasto*: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.

^c *Suojainen maasto*: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

^{*)} Katoilla, joiden lyhempi sivumitta on yli 50 metriä, kerroin C_e on kuitenkin 1,0

Lumikuorman oletetaan vaikuttavan pystysuoraan kattopinnan vaakaprojektiota kohti. Kinostumien ja eri kattotyyppien muotokertoimet esitetään SFS-EN 1991-1-3 2004 osiossa 5.3 Katon muotokertoimet.

4.3 Vaakasuurteiset voimat

Rakennukseen vaikuttaviin vaakavoimiin kuuluu tuulikuorma, hyötykuormat, maanpaine sekä lisävaakavoimat. Lisäksi toisen kertaluvun vaikutuksista voi aiheutua vaakavoimia.

4.3.1 Tuulikuorma [11]

Tuulikuormat vaihtelevat ajan mukana. Ne vaikuttavat suoraan rakenteiden ulkopintoihin ja myös välillisesti sisäpintoihin. Tuulen aiheuttama paine aiheuttaa rakenteeseen tai yksittäisiin verhousosiin pintaan vastaan kohtisuoria voimia. Tuulen kohdatessa suuria rakenteen pintoja myös pinnan suuntaisesti vaikuttavat kitkavoimat voivat olla merkittäviä.

Tuulikuorman arvot määritetään tuulennopeuden tai nopeuspaineen perusarvoista. Tuulennopeus ja peruspaine lasketaan keskimääräisen ja vaihtelevan komponentin summaksi. Tuulennopeuden modifioitu perusarvo v_m määritetään tuulennopeuden perusarvon v_b perusteella, joka riippuu ilmastotekijöistä ja tuulen nopeusprofiilista.

TAULUKKO 7. Tuulennopeuden perusarvot Suomessa [12, s.3]

Alue	$v_{b,0}$ [m/s]
Manneralueet koko maassa	21
Merialueet: avomeri, harva ulkosaaristo	22
Tunturien lakialueet	26
Alamaastossa tunturien juurella	21

Tuulennopeuden perusarvo v_b lasketaan kaavalla (11).

$$v_b = c_{dir} * c_{season} v_{b,0} \quad (11)$$

c_{dir} suuntakerroin, suositusarvo on 1,0.

c_{season} vuodenaikakerroin, suositusarvo on 1,0.

$v_{b,0}$ tuulennopeuden modifioimaton perusarvo.

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo $V_m(z)$ korkeudella z maaston yläpuolella lasketaan kaavalla (12)

$$V_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad (12)$$

$c_r(z)$ rosoisuuskerroin

$c_0(z)$ pinnanmuotokerroin, jolle käytetään arvoa 1,0 ellei muuten määritellä

TAULUKKO 8. Maastoluokat ja maastoparametrit [11, s.36]

Maastoluokka	z_0 m	z_{min} m
0 Avomeri tai merelle avoin rannikko	0,003	1
I Järvet tai tasanko, jolla on enintään vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä	0,01	1
II Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus	0,05	2
III Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)	0,3	5
IV Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m	1,0	10
HUOM. Liitekohdassa A.1 on kuvia maastoluokista.		

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (13)$$

z_0 rosoisuusmitta

k_r maastokerroin, joka riippuu rosoisuusmitasta z_0

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (14)$$

$z_{0,II}$ =0,05 m (maastoluokka II, taulukko 8)

Korkeudella z vallitseva puuskanopeuspaine $q_p(z)$ määritetään kaavasta 15

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) \quad (15)$$

ρ ilman tiheys, suositusarvo on 1,25 kg/m³

$I_v(z)$ tuulenpuuskien intensiteetti korkeudella z , määritetään kaavasta 16

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (16)$$

k_l pyörteisyyserroin, suositusarvo 1,0

Rakennuksen vakavuuslaskelmissa käytettävä staattinen kokonaistuulikuorma saadaan kaavan 17 mukaisesti.

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z) * A \quad (17)$$

$c_s c_d$ rakennekerroin, jolle normaalisti voidaan käyttää arvoa 1,0

c_f voimakerroin

A rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Voimakertoimen c_f arvot ja niiden vaikutusalueet on esitetty tarkemmin standardissa SFS EN 1991-1-4 2004, osio 7.

4.3.2 Hyötykuormat

Rakennuksen vakavuutta tarkasteltaessa tulee huomioida tapauskohtaisesti vaakasuuntaiset hyötykuormat, kuten autojen jarrukuormat, törmäyskuormat ja nostureiden liikkeestä aiheutuvat vaakakuormat.

4.3.3 Maanpaine

Toispuoleinen maantäyttö aiheuttaa rakenteisiin vaakavoimia. Maanpaineen mitoituksessa tulee huomioida mm. maan oma paino sekä pohjaveden vaikutukset. Maanpainetta mitoittaessa tulee ottaa huomioon myös maanpinnalla vaikuttavat voimat, kuten kulku-neuvot ja varastoidut materiaalit. Eurokoodissa SFS-EN 1997-1 käsitellään maanpainetta ja muita geoteknisiä asioita tarkemmin. [13, s.88]

4.3.4 Lisävaakavoimat

Rakenteen mahdollisten mittapoikkeamien ja kuormien sijainnin epäedulliset vaikutukset voivat aiheuttaa rakenteille vaakavoimia. Nämä lisävaakavoimat tulee ottaa huomioon murtorajatiloiissa normaalisti vallitsevissa ja onnettomuusmitoitustilanteissa. Epätarkkuuksia ei tarvitse ottaa huomioon käyttörajatiloiissa. Betonirakenteille lisävaakavoimien tarkat laskentaohjeet löytyvät standardista SFS-EN 1992-1-1. [7, s.54]

Ellei tarkempia tarkasteluja suoriteta tai käytetä normaaleja tiukempia toleransseja, lasketaan pystyrakenteille lisävaakavoimat H_{dt} ja H_{dl} alla olevien kaavojen 18 ja 19 avulla.

$$\text{Rakennuksen lyhyemmässä suunnassa } H_{dt} = \frac{N_d}{150} \quad (18)$$

$$\text{Rakennuksen pidemmässä suunnassa } H_{dl} = \frac{b}{l} * \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} \quad (19)$$

jossa

H_{dt} ja H_{dl} lisävaakavoiman laskenta-arvot

N_d ko. lisävaakavoiman aiheuttavan pystykuorman laskenta-arvo

b	rakennuksen leveys
l	rakennuksen pituus

Kuormien H_{dt} ja H_{dl} ei oleteta esiintyvän samanaikaisesti. Lisävaakavoimien vaikutussuunta valitaan siten, että rakennuksen stabiliteetin kannalta muodostuu määräävä vaikutus. [4, s.73-74]

4.3.5 Toisen kertaluvun vaikutukset

Toisen kertaluvun vaikutukset aiheutuvat rakenteen siirtymätilasta aiheutuvien voimasuureiden lisäyksistä. Toisen kertaluvun vaikutuksia esiintyy selvimmin korkeissa rakennuksissa ja rakenteissa, joiden jäykistysjärjestelmä on joustava. Toisen kertaluvun vaikutukset voidaan jättää huomioitta, jos ne ovat alle 10 % vastaavista ensimmäisen kertaluvun vaikutuksista. Tarkat ohjeet toisen kertaluvun vaikutuksien määrittämiseen betonirakenteille löytyy standardista SFS-EN 1992-1-1.

5 KUORMITUSYHDISTELMÄT

5.1 Murtorajatila

Kuormien mitoitusarvot (EQU eli staattinen tasapaino) lasketaan taulukon 9 mukaan:

TAULUKKO 9. Kuormien mitoitusarvot (EQU) (SARJA A) [6, s.4]

Rajatila	Pysyvät kuormat		Muuttuvat kuormat	
	Epäedulliset	Edulliset	Määrittävät	Muut samanaikaiset
Murto	$1,35K_{FI}G_{kj,sup}$	$0,9G_{kj,inf}$	$1,5K_{FI}Q_{k,1}$	$1,5K_{FI}\psi_{0,i}Q_{k,i}$
	$1,1K_{FI}G_{kj,sup}$	$0,9G_{kj,inf}$		

Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO eli rakenteen tai rakenneosien kestävyys / geotekninen kantavuus) määritetään taulukon 10 mukaan:

TAULUKKO 10. Kuormien mitoitusarvot (STR/GEO) (SARJA B) [6, s.5]

Rajatila	Pysyvät kuormat		Muuttuvat kuormat	
	Epäedulliset	Edulliset	Määrittävät	Muut samanaikaiset
Murto	$1,35K_{FI}G_{kj,sup}$	$0,9G_{kj,inf}$	$1,5K_{FI}Q_{k,1}$	$1,5K_{FI}\psi_{0,i}Q_{k,i}$
	$1,15K_{FI}G_{kj,sup}$	$0,9G_{kj,inf}$		

Kuormitusyhdistelmissä käytettävä kerroin K_{FI} määritellään taulukossa 12 esitetävän luotettavuusluokan RC mukaan. Luotettavuusluokka määritellään seuraamusluokan CC perusteella. Seuraamusluokkien kuvaukset on esitetty taulukossa 11:

TAULUKKO 11. Seuraamusluokkien määrittely [5, s.92]

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

TAULUKKO 12. Luotettavuusluokka [5, s.92]

Kuormakerroin K_{FI}	Luotettavuusluokka		
	RC1	RC2	RC3
K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Kun rakenteeseen vaikuttaa yhtä aikaa kaksi tai useampia muuttuvia kuormia, niiden yhdistelyssä käytetään yhdistelykertoimia ψ , joilla huomioidaan todennäköisyydet, että kuormat vaikuttavat yhtä aikaa. Suomessa käytettävien yhdistelykertoimien arvot on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Kertoimien ψ arvot rakennuksille [6, s.3]

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

5.2 Käyttörajatila

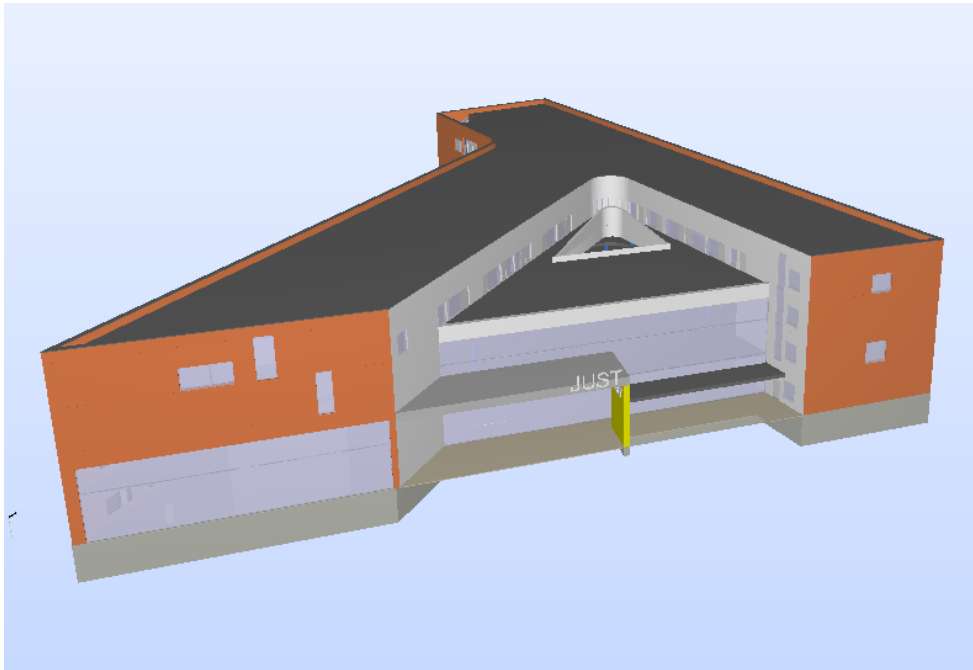
Käyttörajatilassa kuormien osavarmuusluvuille annetaan arvo 1,0, ellei standardeissa EN 1991...EN 1999 toisin edellytetä. Kuormitusyhdistelmissä käytettävät kuormien mitoitusarvot esitetään taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmissä käytettävät kuormien mitoitusarvot [5, s.86]

Yhdistelmä	Pysyvät kuormat G_d		Muuttuvat kuormat Q_d	
	Epäedulliset	Edulliset	Määräävä	Muut
Ominaisyhdistelmä	$G_{k,sup}$	$G_{k,inf}$	$Q_{k,1}$	$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$
Tavallinen yhdistelmä	$G_{k,sup}$	$G_{k,inf}$	$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$
Pitkäaikaisyhdistelmä	$G_{k,sup}$	$G_{k,inf}$	$\Psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$

6 LASKENTA

Laskettavana kohteena on Järvenpään uusi sosiaali- ja terveyskeskus. Rakennuksessa on neljä kerrosta, ja varaus yhdelle yläpuoliselle lisäkerrokselle. Rakennus on noin 19 metriä korkea ilman lisäkerrosta. Ensimmäisen kerroksen kerroskorkeus on 4,5 metriä ja muiden kerrosten 4,0 metriä.



KUVA 10. Alustava arkkitehtisuunnitelma, Järvenpään uusi sosiaali- ja terveyskeskus.

6.1 Kuormat

6.1.1 Tuulikuorma

Kohde kuuluu maastoluokkaan III. Rakennus sijaitsee suhteellisen tasaisella maalla, joten pinnanmuotokertoimen arvona käytetään 1,0.

Tuulenpuuskien intensiteetti korkeudella 23 m:

$$I_v(23) = \frac{1}{1 * \ln\left(\frac{23}{0,3}\right)} = 0,23 \quad (16)$$

Tuulen perusarvo ML3:

$$v_b = 21 \text{ m/s} \quad (11)$$

Maastokerroin:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215 \quad (14)$$

Rosoisuuskerroin korkeudella 23 m:

$$c_r(23) = 0,215 * \ln\left(\frac{23}{0,3}\right) = 0,935 \quad (13)$$

Tuulennopeuden modifioimaton perusarvo korkeudella 23 m:

$$V_m(23) = 0,935 * 1 * 21 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19,628 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (12)$$

Puuskanopeuspaine korkeudella 23 m

$$q_p(23) = [1 + 7 * 0,23] * \frac{1}{2} * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(19,628 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,629 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (15)$$

Tuulen paineen arvona käytetään arvoa $0,63 \text{ kN/m}^2$. Laskennassa on otettu huomioon mahdollinen yläpuolinen lisäkerros.

6.1.2 Tasokuormat

Hyötykuormana käytetään kohteen määrittelemää arvoa 5 kN/m^2 .

Tasokuormat kuuluvat luokkaan A, asuin- ja majoitustilat. Tällöin yhdistelykertoimien arvot ovat seuraavat:

- $\psi_0 = 0,7$
- $\psi_1 = 0,5$
- $\psi_2 = 0,3$

6.1.3 Lumikuormat

Järvenpäässä lumen ominaiskuorma maassa on $2,75 \text{ kN/m}^2$, mikä on määritelty kuvan 9 mukaan. Muotokertoimen u_i arvona käytetään 0,8 ja tuulensuojakertoimen C_e arvona 1,0. Täten lumikuormaksi katolla saadaan:

$$s = 2,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 0,8 * 1 * 1 = 2,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (10)$$

6.1.4 Murtorajatilamitoitus

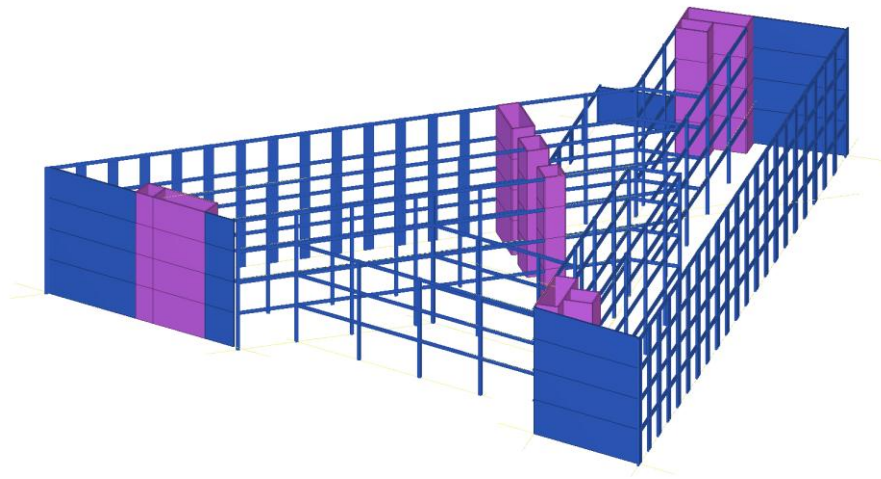
Rakennuksen seuraamusluokka on CC2, joten $K_{FI} = 1,0$.

Kuormitusyhdistelmät lasketaan jokaiselle tuulen suunnalle erikseen.

6.2 Laskentamalli

6.2.1 Alustava malli

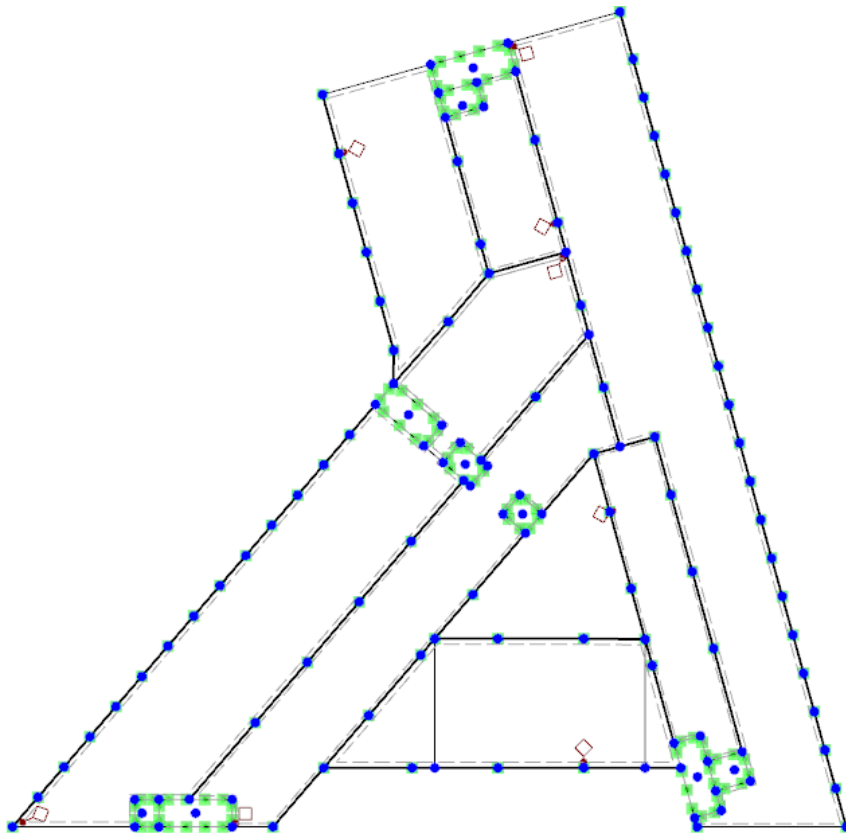
Laskentamallin alustava runko luotiin Tekla Structures 19.0. -ohjelmalla, koska mallinnus Teklan puolella on paljon yksinkertaisempaa. Rungosta mallinnettiin pilarit, palkit ja kantavat seinät niiden oikeilla mitoilla. Alustavaan Tekla -malliin ei luotu tasoja tai aukotuksia, jotta laskentamalli pysyisi tarpeeksi yksinkertaisena. Mallinnuksen jälkeen rungosta tehtiin siirtomalli RFEM -ohjelmaa varten.



KUVA 11. Tekla-malli kohteesta.

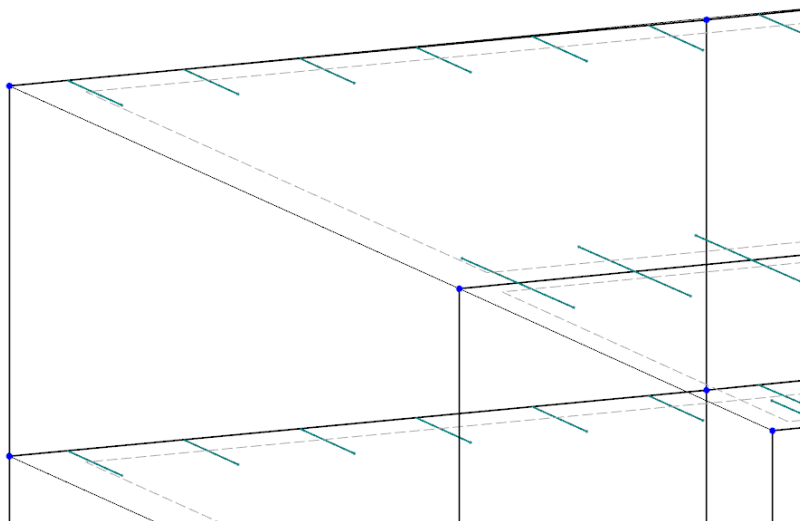
6.2.2 Alustava RFEM -laskentamalli

RFEM -ohjelman puolella Tekla -malli siirrettiin suoraan RFEM -laskentamalliksi käyttämällä Direct Import työkalua. Tekla Structures -ohjelmassa tehty siirtomalli sisälsi rakenneosien poikkileikkaukset ja materiaalitiedot, joten niiden muokkaamiselta säilyttiin RFEM -ohjelman puolella.



KUVA 12. Siirretty malli RFEM -ohjelmassa.

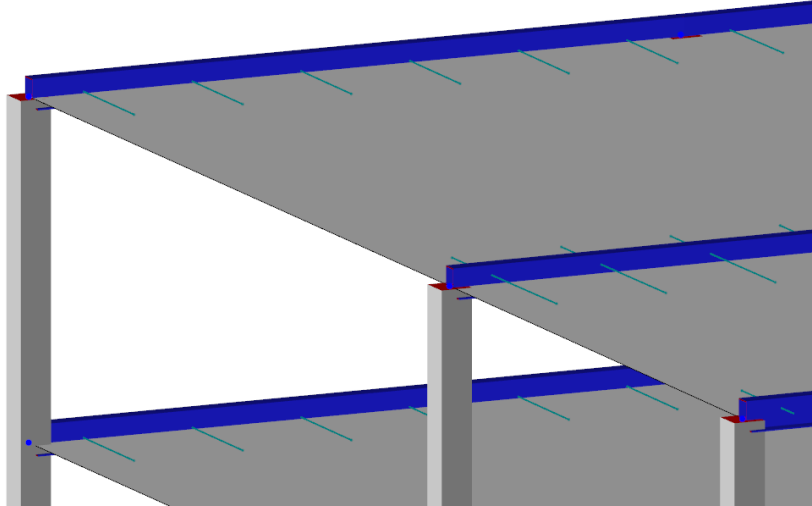
RFEM:iin siirretty malli koostuu pisteistä, viivoista, sekä viivoille määritellyistä poikkileikkaustiedoista. Mikäli malli oltaisi tehty suoraan RFEM -ohjelmalla, olisi malliin täytynyt tehdä jokainen piste ja viiva erikseen.



KUVA 13. RFEM -rautalankamalli.

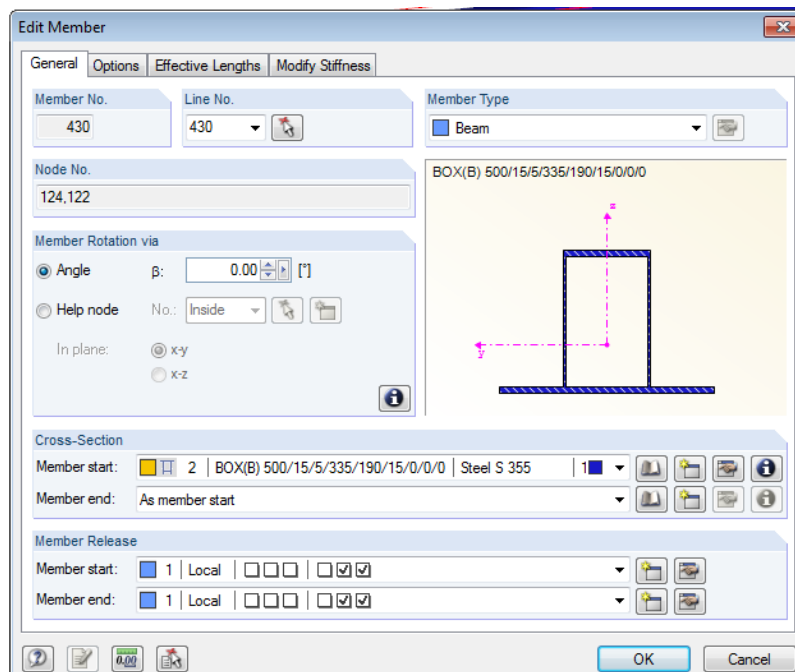
Teklassa luotu alustava malli ei ollut täydellinen, joten tarvittavat lisäykset ja muutokset tuli tehdä RFEM:in puolella. RFEM -ohjelmassa esimerkiksi palkeille määriteltiin tar-

kasti, millaisesta poikkileikkauksesta on kyse ja minkälaiset liitokset palkin päissä on. Yläpohja ja välipohjat mallinnettiin laskentamalliin yhtenäisinä laattoina oikeilla poikkileikkausarvoilla. Laattojen reunoille määritettiin vapautukset laataston kantosuunnan mukaan, jotta pystykuormat jakautuisivat kantaville rakenteille oikein.



KUVA 14. RFEM -malli poikkileikkaustiedoilla.

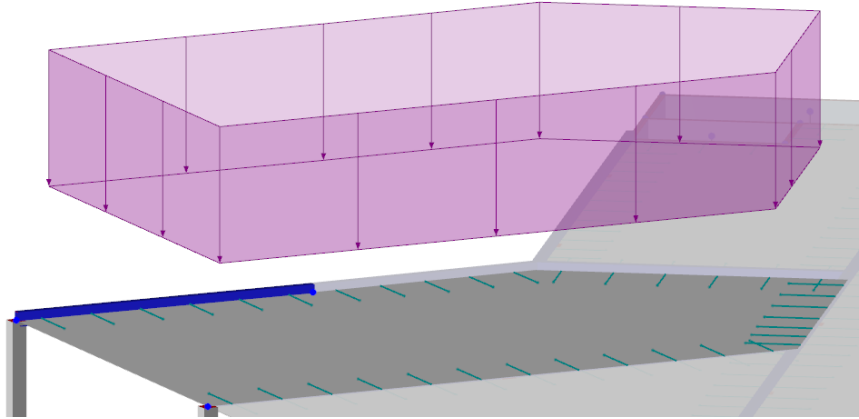
Rakenteiden liitokset määriteltiin nivelliitoksina eri rakenneosien Member Release -kohdassa. Ainoastaan jäykistävät porras- ja hissikuilut määriteltiin alapäästään jäykästi kiinnitetyiksi.



KUVA 15. Palkin tietojen muokkaus.

6.2.3 Kuormitukset RFEM -laskentamallissa.

RFEM -mallissa rakennukselle määriteltiin kaikki tarvittavat kuormitukset. Tasoille mallinnettiin pysyvät-, lumi- ja hyötykuormat tasaisena kuormana.



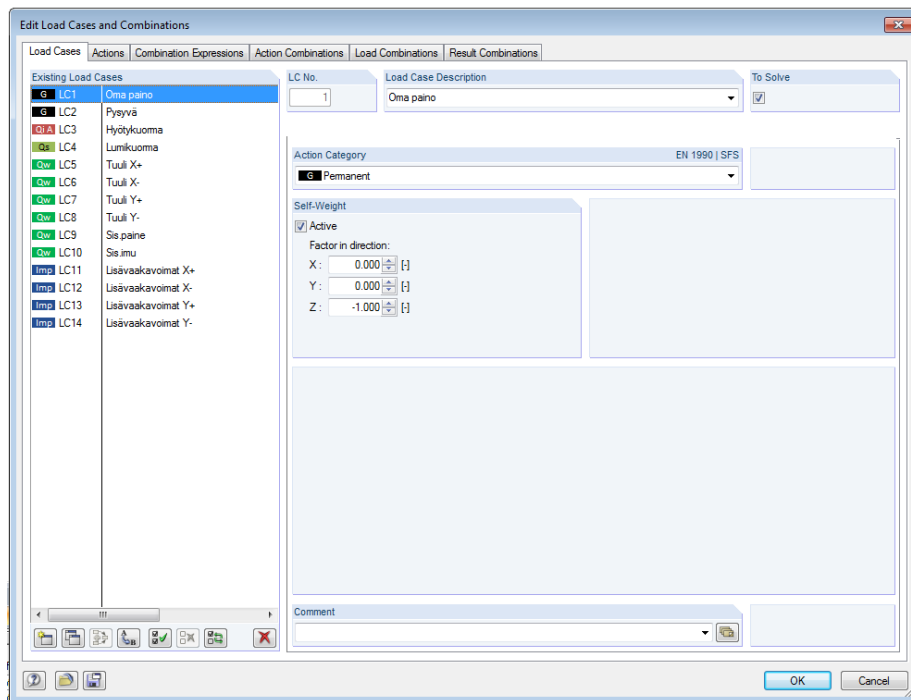
KUVA 16. Tasokuorma.

Tuulikuormat määritettiin viivakuormina laatastoille kerroskorkeuksien mukaan. Kuormia laskettaessa otettiin huomioon mahdollinen lisäkerros.

TAULUKKO 15. Tuulikuormat viivakuormana.

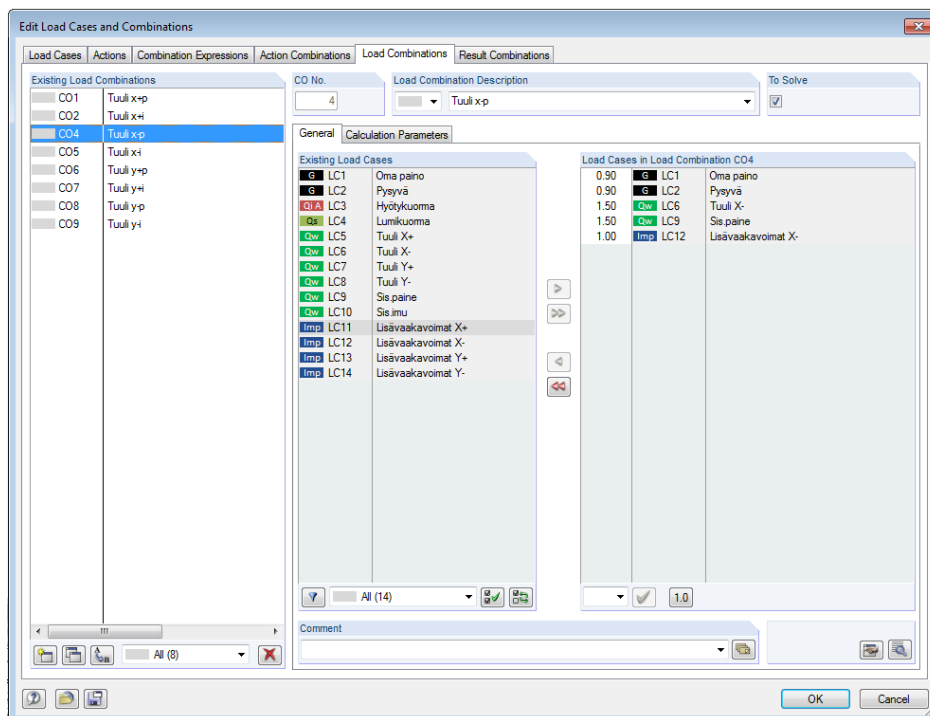
Tuuli	1	1,2	0,8	0,5	0,3	0,2	
Kerros							
1krs	2,68	3,21	2,14	1,34	0,80	0,54	kN/m
2-3krs	2,52	3,02	2,02	1,26	0,76	0,50	kN/m
4krs	3,78	4,54	3,02	1,89	1,13	0,76	kN/m

Tuulikuormat syötettiin jokaiselle tuulen suunnalle erikseen standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisten kertoimien mukaan. Kertoimilla kerrotut viivakuormat on esitetty yllä olevassa taulukossa 15. Lisävaakavoimat määriteltiin vaikuttamaan samaan suuntaan tuulen kanssa.



KUVA 17. Kuormitustapaukset.

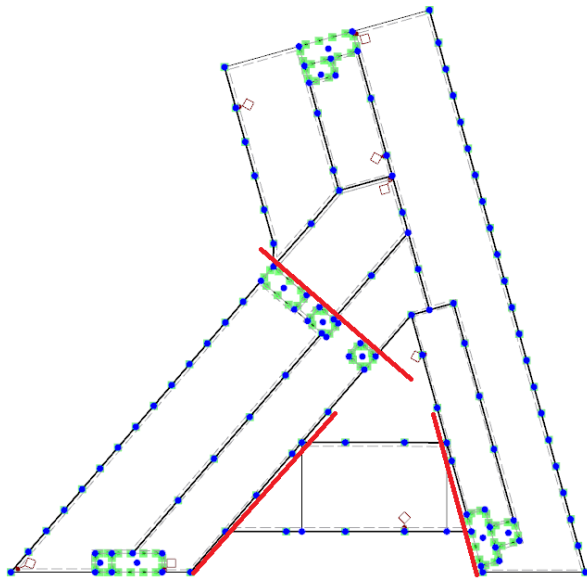
Kun tarvittavat kuormitukset oli syötetty omille kuormitustapauksille, kuormitustapauksista luotiin tarvittavat kuormitusyhdistelmät. Rakennuksen vakavuuden kannalta määrävin kuormitusyhdistelmä saavutetaan, kun stabiloivaa pystykuormaa on mahdollisimman vähän.



KUVA 18. Kuormitusyhdistelmiä.

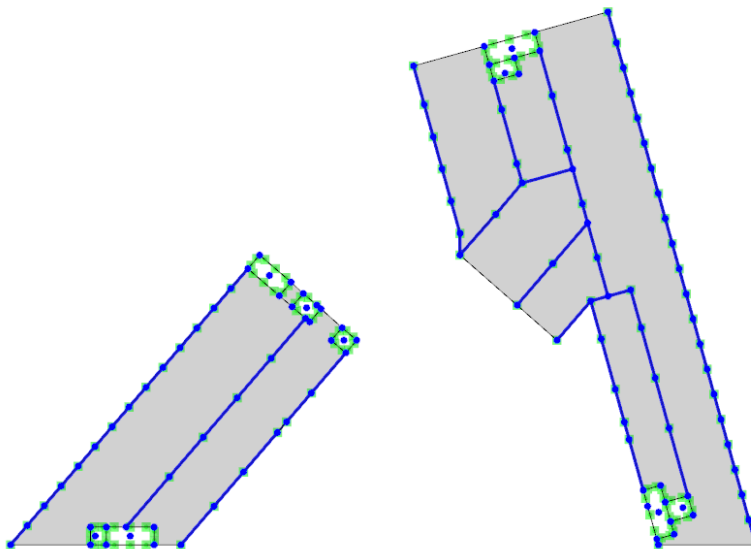
6.2.4 Lopullinen RFEM -laskentamalli

Suunniteltavaan kohteeseen kaavailtiin alustavasti kolmea liikuntasaumaa, joilla rakennus jaettaisiin kolmeen lohkoon. Näistä kaksi lohkoa jäykistettäisiin lohkoissa sijaitsevilla porras- ja hissikuiluilla, ja kolmannen pienemmän osan vaakasuuntaiset kuormat siirrettäisiin lisäraudoituksella vieressä oleville isommille lohkoille.



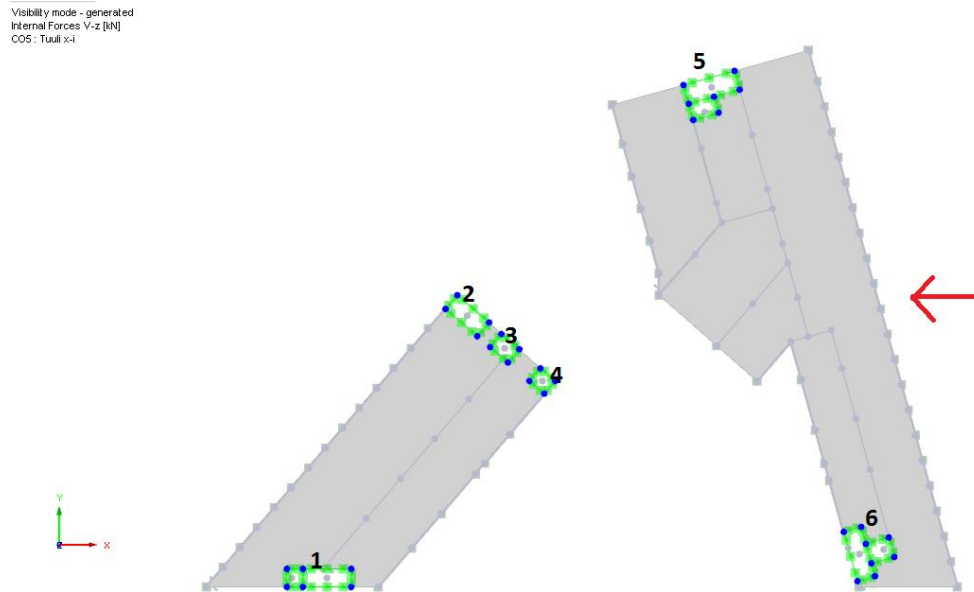
KUVA 19. Alustavat liikuntasaumat.

Laskentamalli jaettiin kahteen erilliseen lohkoon, ja lohkojen välissä olevan osan vaakakuormat lisättiin erotettuihin lohkoihin.



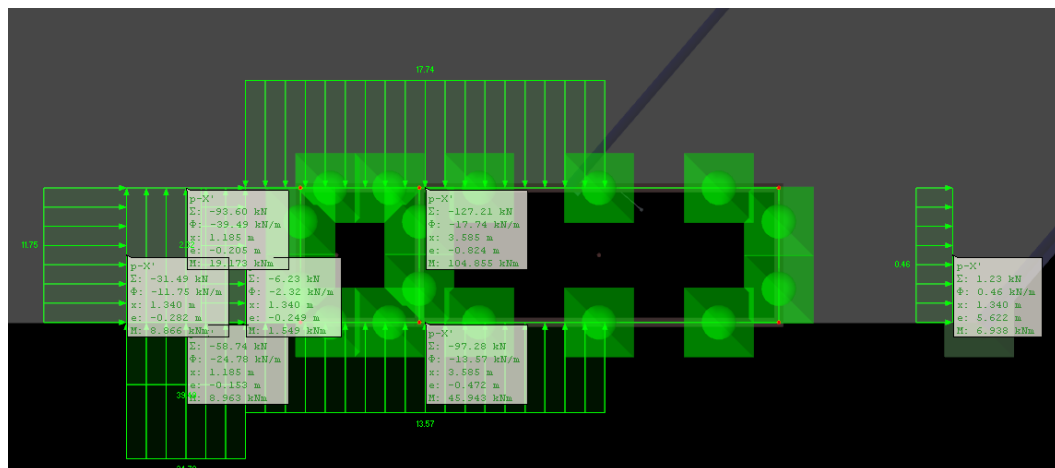
KUVA 20. Irroitettut lohkot.

Kun laskentamalli oli jaettu liikuntasauvojen kohdalta, ja väliosaan kohdistuvat vaakasuuntaiset voimat oli lisätty kuormituksiin, pystyttiin jäykistävien osien vaakasuuntaiset rasitukset laskemaan halutuilla kuormitusyhdistelmillä.



KUVA 21. Tuuli suunnasta -x.

Esimerkiksi tuulen vaikuttaessa suunnasta -x, jäykistävästä seinistä muodostettujen porras- ja hissikuilujen yhteenlasketut tulokset saadaan helposti poimittua laskennan tulokista.



KUVA 22. Seinien vastaanottamia voimia.

TAULUKKO 16. Jäykistävien seinien x-suuntaisia kokonaisrasituksia.

Tuuli suunnasta -X					
1 [kN]	2 [kN]	3 [kN]	4 [kN]	5 [kN]	6 [kN]
39,49	111,79	27,37	26,4	89,34	252,04
31,49	30,82	-7,45	-16,74	55,93	50,18
58,74	-2,18	-5,72	-0,07	223,72	15,94
6,23	-28,17	-24,31	-10,24	243,8	118,15
17,74				174,64	200,47
13,57				19,05	301,54
-1,23				166,98	32,48
				13,04	-14,51
					-17,11
166,03	112,26	-10,11	-0,65	986,5	939,18
7,6 %	5,1 %	-0,5 %	0,0 %	45,0 %	42,8 %

Yllä olevasta taulukosta 16 nähdään, että tuulen vaikuttaessa suunnasta $-x$, kuilut 5 ja 6 ottavat suurimman osan vaakasuuntaisista kuormista vastaan. Jotta voidaan varmistua siitä, että jäykistävät rakenneosat ottavat vastaan kaikki vaakasuuntaiset voimat, tulee jäykistävien osien rasitukset laskea yhteen ja verrata tulosta kokonaisvaakavoimiin. Ylläolevan taulukon yhteenlaskettu rasitusten summa on 2193,21 kN. Rakennukseen kohdistuva kokonaisvaakavoima voidaan lukea helposti ohjelman antamista laskennan tuloksista.

	A	B	C	D
	Description	Value	Unit	Comment
	☒ CO5 - Tuuli x-i			
	Sum of loads in X	-2196.10	kN	
	Sum of support forces in X	-2196.07	kN	Deviation: 0.00 %
	Sum of loads in Y	-21.29	kN	
	Sum of support forces in Y	-21.29	kN	Deviation: 0.00 %
	Sum of loads in Z	-76532.00	kN	

KUVA 23. Laskennan kokonaisrasitukset.

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että kyseisellä kuormitusyhdistelmällä kokonaisvaakavoima x-suunnassa on yhteensä 2196,10 kN. Täten ero jäykistävien seinien rasituksissa ja kokonaisvaakavoiman välillä on noin 3 kN. Kyseinen ero on hyvin pieni, ja se voidaan selittää kohteen pilareille muodostuvista erittäin pienistä vaakavoimista. Täten voidaan todeta, että vaakavoimat ovat jakautuneet jäykistäville rakenneosille oikein ja laskenta on onnistunut.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaan RFEM -laskentamalli, jonka avulla pystytään määrittelemään vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille. Laskentamallia voidaan käyttää muuhunkin laskentaan ja rasiusten määrittämiseen projektin edetessä. Opinnäytetyönä tehty malli on tehty aikaisen vaiheen suunnitelmien pohjalta, joten runkoon ja jäykistäviin osiin tulee varmasti muutoksia projektin edetessä. Valmista mallia on helppo päivittää suunnitelmien tarkentuessa, mikä helpottaa ja nopeuttaa suunnitteluprosessia.

LÄHTEET

1. Saarinen, S., Kinnunen, J., Tiira, S. 1986. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 3, by 202. 2. painos. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys ry.
2. Saarinen, E. 1986. RIL 125 Teräsbetonirakenteet. Vaasa: Vaasa Osakeyhtiön kirjapaino.
3. Elementtisuunnittelu.fi. Rakennuksen jäykistys. Verkkosivut. Luettu 28.3.2014. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys>
4. RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
5. SFS-EN 1990. 2002. Eurocode: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
6. NA SFS-EN 1990. 2007. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1990, Rakenteiden suunnitteluperusteet.
7. SFS-EN 1991-1-1. 2002. Eurocode1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
8. NA SFS-EN 1991-1-1. 2007. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1, Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat.
9. SFS-EN 1991-1-3. 2004. Eurocode1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
10. NA SFS-EN 1991-1-3. 2007. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-3, Eurocode1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat.
11. SFS-EN 1991-1-4. 2004. Eurocode1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4: Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
12. NA SFS-EN 1991-1-4. 2007. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-4, Eurocode1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Tuulikuormat.
13. SFS-EN 1997-1 + AC. 2004. Eurokoodi 7. Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.