



Mohammed Azzam

Kerrostalon jäykistävien seinien vaakakuormat

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

09.03.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Mohammed Azzam
Otsikko: Kerrostalon jäykistävien seinien vaakakuormat
Sivumäärä: 32 sivua + 1 liitettä
Aika: 09.03.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Rakennetekniikka
Ohjaajat: Ahmad Shahgordi, lehtori, Metropolia (AMK)

Opinnäytetyö käsittelee rakennuksen runkoon kohdistuvia vaaka- ja pystykuormia. Tämä työ keskittyy rakennuksiin kohdistuvien vaakakuormien laskemiseen ja erityisesti tuuli- ja lisävaakavoimien laskemiseen. Tarkoituksena oli laatia Excel-sovellus, jonka avulla pystyy tutkimaan rakennuksessa olevat jäykistävät seinät ja laskemaan tulevat kuormat jokaiselle seinälle.

Työn alussa perehdyttiin rakennukseen vaikuttaviin yleiskuormiin ja niiden laskentaan. Erityistä huomiota kiinnitettiin tuulikuorman ja siihen, miten se lasketaan. Huomioitavat kuormat tuulikuorman lisäksi on lisävaakavoimat, jotka syntyvät rakennuksen vinoudesta ja pystykuormien yhteisvaikutusta rakennusrunkoon.

Kirjallisessa osuudessa käsiteltiin tuuli- ja vaakakuormien laskentaprosessin vaiheet. Tarkoituksena oli selvittää laskentaan liittyvää teoriaa, jotta suunnittelija ymmärtää periaatteet ja osaa arvioida asuinkerrostalon rakenteiden käyttäytymistä kuormien vaikutuksesta.

Työn tuloksena on Excel-sovellus, joka laskee rakennukseen kohdistuvan tuulikuorman ja jakaa sen jäykistäville seinille.

Avainsanat: asuinkerrostalo, eurokoodi, tuulikuorma, vaakakuormat, lisävaakavoima.

Abstract

Author: Mohammed Azzam
Title: Residential Buildings' Bracing Walls' Horizontal Loads
Number of Pages: 32 pages + 1 appendices
Date: 9 March 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Ahmad Shahgordi, Senior Lecturer

The engineering thesis covers the horizontal and vertical loads affecting the building's structural frame. This study focuses on calculating horizontal loads affecting buildings, with a particular emphasis on wind loads and additional horizontal forces. The purpose is to develop an Excel application that enables the analysis of stabilizing walls in a building and the calculation of the loads applied to each wall.

The study begins by exploring the general loads affecting a building and their calculation methods. Special attention is paid to wind loads and their determination. In addition, the analysis considers additional horizontal forces arising from building inclination and the combined effects of vertical loads on the structural frame.

The written section outlines a step-by-step calculation process for wind loads and horizontal forces. The purpose of this part is to provide a clear theoretical foundation for load calculations, ensuring that a designer has the necessary understanding and capability to assess the structural behavior of a residential building under these loads.

The outcome of this study is an Excel application that calculates the wind load acting on a building and distributes it among the stabilizing walls.

Keywords: residential building, Eurocode, wind load, horizontal loads, additional horizontal force

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kuormat	2
2.1	Pystykuormat	3
2.1.1	Omat painot	3
2.1.2	Hyötykuormat	3
2.1.3	Lumikuorma	5
2.2	Vaakakuormat	7
2.2.1	Hyötykuormat	7
2.2.2	Maanpaine	7
2.2.3	Lisävaakavoimat	8
2.2.4	Tuulikuorma	8
3	Tuulikuormien määrittäminen eurokoodin ohjeiden mukaan	9
3.1	Tuulikuorma voimakertoimella C_f	12
3.2	Tuulikuorma pintapaineiden avulla	14
4	Kuormien jakautuminen jäykistäville seinille	18
4.1	Maston jäykkyys	18
4.2	Symmetrinen jäykistysjärjestelmä	19
4.3	Epäsymmetrinen jäykistysjärjestelmä	19
5	Laskenta	21
5.1	Kuormat	22
5.1.1	Lisävaakavoima	22
5.1.2	Tuulikuorma	25
5.2	Kuormien jakautuminen jäykistäville seinille	28
6	Pohdinta	29
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1: Seinien jäykkyydet ja kuormat	

1 Johdanto

Kuormitusten vaikutusten ymmärtäminen ja niiden vaikutus koko rakennuksen stabiiliteettiin on olennaista rakennuksen stabiiliteetin ja kestävyiden sekä turvallisuuden varmistamiseksi. Kun rakennetussa talossa ilmenee ongelmia, kuten katon painumista, syviä halkeamia julkisivussa tai muita vastaavia virheitä, on tärkeää ymmärtää, että useimmissa tapauksissa tällaiset ongelmat johtuvat vääristä suunnittelulaskelmista.

Tässä työssä perehdytään rakennuksen runkoon vaikuttavia kuormiin. Tutkimuksen tavoitteena on laatia Excel-sovellus vaakavoimien laskemiseen. Vaakavoimalla tarkoitetaan tässä työssä tuulikuorma ja rakenteiden vinoudesta aiheutuva lisävaakavoima. Opinnäytetyön tuloksena tuotettava laskentamalli tehdään Excel-sovelluksella. Laskentamallista saadaan selville eri jäykistäväseinän rasi-
tukset.

2 Kuormat

Rakennukseen vaikuttavat sekä pysty- että vaakasuuntaiset kuormat, jotka voidaan jakaa pysyviin, muuttuvaan ja onnettomuustilanteissa ilmeneviin kuormiin. Pysyvät kuormat muodostuvat rakenteiden omasta painosta sekä kiinteiden laitteiden ja huonekalujen aiheuttamasta kuormituksesta, joka ei muutu ajan myötä. Näihin kuuluvat esimerkiksi ulko- ja väliseinät sekä ylä-, ala- ja välipohjat. Muuttuvat kuormat puolestaan sisältävät kuormia, joiden vaikutus vaihtelee ajan ja käyttötilanteen mukaan. Näitä ovat esimerkiksi rakennuksen eri osiin, kuten välipohjiin, palkkeihin ja vesikattoon kohdistuvat hyötykuormat, lumikuormat sekä tuulen aiheuttamat rasitukset. Lisäksi ihmiset, kalusteet ja kevyet väliseinät voivat aiheuttaa vaihtelua rakenteisiin kohdistuviin kuormituksiin.

Kuormat voidaan luokitella myös eri tavoin niiden luonteen mukaan, kuten:

- Välittömät tai välilliset kuormat riippuen siitä, vaikuttavatko ne suoraan vai epäsuorasti rakenteisiin.
- Kiinteät tai liikkuvat kuormat sen perusteella, pysyykö kuorma paikallaan vai vaihtelee sen sijainti.
- Staattiset tai dynaamiset kuormat kuvaamaan, kohdistuuko voima tasaisena vai vaihtelevana impulssina.

Rakenteiden kuormitukset määritellään Eurokoodi EC1 -standardin mukaisesti, joka jakaa kuormat seuraaviin ryhmiin:

- SFS-EN 1991-1-1: Yleiset kuormat, kuten tilavuuspainot, oma paino ja hyötykuormat.
- SFS-EN 1991-1-2: Kuormat, jotka syntyvät rakenteiden altistuessa tulelle.
- SFS-EN 1991-1-3: Lumikuormat ja niiden vaikutukset rakenteisiin.
- SFS-EN 1991-1-4: Tuulen aiheuttamat kuormat ja niiden laskenta-perusteet.
- SFS-EN 1991-1-5: Lämpötilan vaihteluiden aiheuttamat kuormat.
- SFS-EN 1991-1-6: Kuormat, jotka syntyvät rakenteiden käyttöönoton aikana.
- SFS-EN 1991-1-7: Erityistilanteiden, kuten onnettomuuksien aiheuttamat kuormat.

- SFS-EN 1991-2: Siltoihin kohdistuvat liikennekuormat.
- SFS-EN 1991-3: Nostureiden ja koneiden tuottamat kuormitukset.
- SFS-EN 1991-4: Sillojen ja säiliöiden kuormat.

2.1 Pystykuormat

Rakennukseen kohdistuvat pystysuuntaiset kuormat koostuvat sen rakenteiden omasta painosta, käyttökuormista sekä katolle kertyvästä lumikuormasta.

2.1.1 Omat painot

Rakennuksen oma paino koostuu rakenteista ja kiinteistä osista aiheutuvasta pysyvästä kuormasta. Omaa painoa laskettaessa käytetään materiaalien tyypillisiä mittoja ja tilavuuspainoja. Tähän kuuluvat sekä kantavat että ei-kantavat rakenteet sekä pysyvästi asennetut laitteet.

Rakennusosan omapaino saadaan kaavasta 1.

$$G = \gamma \cdot V \quad (1)$$

missä,	
G	rakennuksen omapaino (kN)
γ	tilavuuspaino (kN/m ³)
V	rakennuksen tilavuus (m ³)

2.1.2 Hyötykuormat

Rakennusten hyötykuormat ovat seurausta tilojen normaalista käytöstä. Välipohjien, palkkien ja yläpohjien mitoituksessa hyötykuormat tulee huomioida liikkuvina kuormina. Pilareita ja seiniä mitoitettaessa oletetaan, että jokaisen kerroksen välipohjaa kuormittava kokonaishyötykuorma jakautuu tasaisesti.

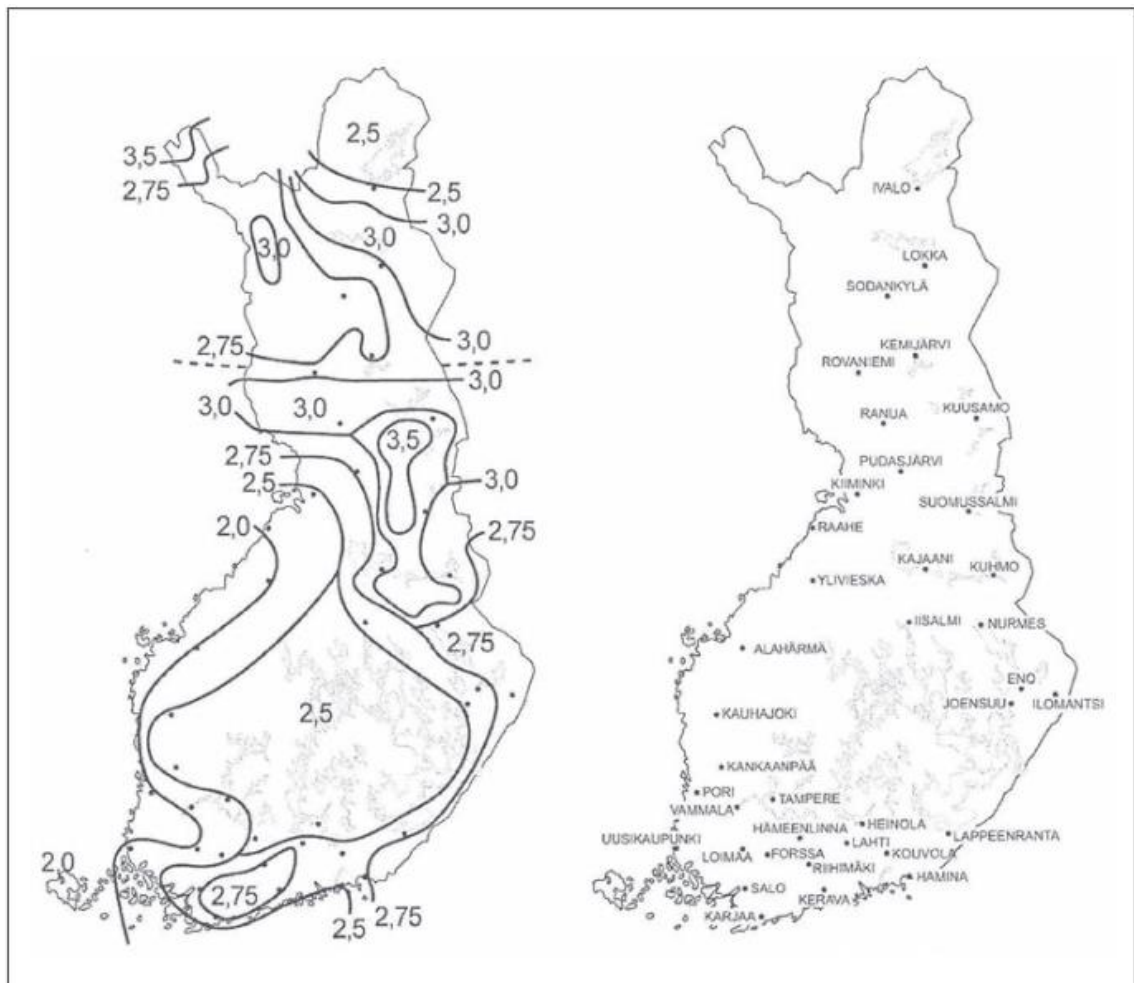
Kun määritellään hyötykuormia, rakennuksen tilat jaetaan niiden käyttötarkoituksen perusteella vastaaviin luokkiin, kuten on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Rakennuksen hyötykuormat (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 71)

Luokka	Käyttötarkoitus	Pinta-ala-kuorma q_k (kN/m ²)	Pistekuorma Q_k (kN) (portaat suluissa)	Vaakakuormat ks. huom. 5 (kN/m)
A	Asunto- ja majoitustilat – esim. asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien majoitustilat	välipohjat 2,0 portaat 2,0 parvekkeet 2,5	2,0 (2,0)	0,5
B	Toimistotilat	välipohjat 2,5 portaat 3,0 parvekkeet 2,5	2,0 (2,0)	0,5
C	Kokoontumistilat			
	C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat	välipohjat 2,5 portaat 3,0 parvekkeet 2,5	3,0 (2,0)	1,0
	C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat	välipohjat 3,0 portaat 3,0 parvekkeet 3,0	3,0 (2,0)	1,0
Luokka	Käyttötarkoitus	Pinta-ala-kuorma q_k (kN/m ²)	Pistekuorma Q_k (kN) (portaat suluissa)	Vaakakuormat ks. huom. 5 (kN/m)
	C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit	välipohjat 4,0 portaat 3,0 parvekkeet 4,0	4,0 (2,0)	1,0
	C4: Liikuntatilat, esim. tanssitalit, voimistelusalit ja näyttämöt	välipohjat 5,0 portaat 3,0 parvekkeet 5,0	4,0 (2,0)	1,0
	C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötaphtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit ml. katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatiealaturit	välipohjat 6,0 portaat 6,0 parvekkeet 6,0	4,0 (2,0)	3,0
D	Myymälätilat			
	D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat	välipohjat 4,0 portaat 3,0 parvekkeet 4,0	4,0 (2,0)	1,0
	D2: Tavaratalojen tilat	välipohjat 5,0 portaat 6,0 parvekkeet 5,0	7,0 (2,0)	1,0
E	Varasto- ja tuotantotilat			
	E1: Varastotilat. Tilat, joissa tavaraa säilytetään, mukaan luetuna tavarantoimitustilat	välipohjat 7,5 portaat 3,0	7,0 (2,0)	1,0
	E2: Teollisuuskäyttö	ks. 6.3.2	ks. 6.3.2	1,0
F	Liikennöintialueet Kevyiden ajoneuvojen liikennöinti- ja pysäköintialue. Kokonaispaino ≤ 30 kN ja enintään 8 paikkaa kuljettajan lisäksi	välipohjat 2,5 portaat 3,0	20 (2,0)	ks. liite B
G	Liikennöintialueet Keskiraskaiden ajoneuvojen liikennöinti- ja paikoitusalueet. Ajoneuvokuormat, kun $30 \text{ kN} < \text{kok.paino} \leq 160 \text{ kN}$, 2 akselilla	välipohjat 5,0 portaat 3,0	90 (2,0)	ks. liite B
H	Vesikatot Vesikatot, joille on pääsy vain normaalia kunnossapitoa ja korjaamista varten	0,4	1,0	
I	Vesikatot Vesikatot, joille on pääsy luokkien A...G mukaisesti.	kuormat luokkien A...G mukaisesti		
K	Vesikatot Erityistoimintoja varten olevat vesikatot, kuten helikoptereiden laskeutumisalueet		ks. kohta 6.3.4	

2.1.3 Lumikuorma

Sijainti, kaltevuus, katon muoto ja lumen kinostuminen vaikuttavat katolle tulevaan lumikuormaan. Lumikuorman ominaisarvo S_k saadaan kuvasta 1 rakennuksen maantieteellisen sijainnin. Lumikuorman ominaisarvo maassa esiintyy keskimäärin kerran 50 vuodessa, mikä vastaa vuotuista ylitystodennäköisyyttä 0,02. Mikäli rakennus sijaitsee alueella, jossa lumikuorman arvo vaihtelee, väliarvot määritetään interpoloimalla ne lähimpien käyrien perusteella.



Kuva 1. Lumikuorman ominaisarvot (kN/m^2) (RIL 201-1-2017 Osa 1.3, 98).

Katolle kertyvä lumi voi kasautua tietyille alueille, mikä riippuu useista tekijöistä, kuten katon muodosta, sen lämmöneristyskyvystä, pinnan karheudesta sekä katon alla syntyvästä lämpö määrästä. Lisäksi viereisten rakennusten sijainti,

ympäristön maastonmuodot ja paikalliset sääolosuhteet vaikuttavat lumikuorman jakautumiseen, mikä on tärkeä huomioida suunnittelussa.

Katolle tuleva lumikuorma lasketaan kaavalla (2).

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (2)$$

missä,

μ_i	lumikuorman muotokerroin
C_e	tuulensuojaisuuskerroin
C_t	lämpökerroin
s_k	maanpinnan lumikuorman ominaisarvo

Tuulensuojaisuuskerroin C_e määritellään taulukon 2 mukaan. Lämpökertoimen C_t avulla otetaan huomioon kattojen lumikuorman pienentyminen huonosti eristettyjen kattojen sulamisen vuoksi. Yleensä lämpökertoimena käytetään arvoa 1,0.

Taulukko 2. Tuulensuojaisuuskertoimen määrittäminen (SFS-EN 1991-1-3 2015, 30).

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen ^a	0,8
Normaali ^b	1,0
Suojainen ^c	1,2

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

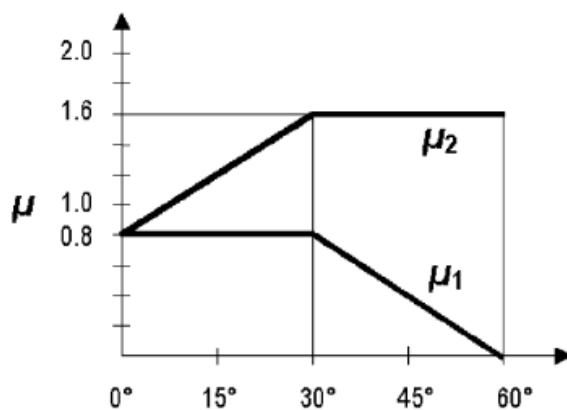
^b Normaali maasto: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.

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

Pulpetti-, harja- ja sahakattojen muotokerroimet esitetään taulukossa 3 ja kuvassa 2.

Taulukko 3. Lumikuorman muotokerroimet (RIL 201-1-2017 Osa 1.3, 102).

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1, μ_2	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_3	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6



Kuva 2. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1-2017 Osa 1.3, 102).

Kinostumien ja ero muotokertoimet esitetään SFS-EN 1991-1-3 2015.

2.2 Vaakakuormat

Rakennukseen vaikuttaa erilaisia vaakakuormia. Vaakakuormiin kuuluu tuulikuorma, maanpaine, hyötykuorma sekä lisävaakavoimat.

2.2.1 Hyötykuormat

Rakennukseen kohdistuu erilaisia vaakasuuntaisia hyötykuormia, kuten ajoneuvojen jarrutuksesta syntyvät voimat, törmäyskuormat sekä nostureiden liikkeistä aiheutuvat vaakavoimat, jotka on arvioitava tapauskohtaisesti rakenteiden suunnittelussa.

2.2.2 Maanpaine

Rakenteisiin kohdistuu vaakasuuntaisia voimia maantäytön seurauksena. Maanpaineen mitoituksessa on tärkeää ottaa huomioon maan ominaispaino sekä pohjaveden vaikutukset. Lisäksi on huomioitava maanpinnalla vaikuttavat kuormitukset, kuten liikenne ja varastoidut materiaalit. Tässä työssä näitä vaikutuksia ei kuitenkaan tarkastella.

2.2.3 Lisävaakavoimat

Rakennuksen vinoudesta ja asennustoleranssien takia rakennusrunkoon, pystykuorma aiheuttavat rakennukseen lisävaakavoimia. Lisävaakavoimien vaikutukset tulee ottaa huomioon mitoituksessa. Lisävaakavoima aiheuttaa leikkausrasitusta ja momenttia jäykistysrakenteille. Lisävaakavoimasta syntyvät rasitukset ovat suuremmat alimman kerroksen jäykistysrakenteilla. Lisävaakavoimat jaetaan jäykistysrakenteille niiden jäykkyyksien suhteessa.

Vinoudesta aiheutuva vaakavoima lasketaan kaavalla 3 (SFS-EN 1992-1-1, kohta 5.2, kaava 5.1.)

$$\theta_i = \theta_0 \alpha_h \alpha_m P_d \quad (3)$$

Vinouden perusarvo θ_0 :

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

korkeudesta aiheutuva kerroin α_h :

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0, \text{ missä } L = \text{rakennuksen korkeus}$$

Rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin α_m :

$$\alpha_m = \sqrt{\left(0,5 \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)\right)}, \text{ missä } m = \text{pystyrakenneosien määrä}$$

2.2.4 Tuulikuorma

Tuulikuorma vaikuttaa rakenteiden ulkopintoihin ja välillisesti sisäpintoihin. Tuulen paine aiheuttaa kohtisuoria voimia verhousosiin pintaan ja myös kitkavoimat kohdatessa suuria rakenteen pintoja. Tuulikuorma vaihtelee ajan mukana.

3 Tuulikuormien määrittäminen eurokoodin ohjeiden mukaan

Rakennusten tuulikuormat lasketaan Eurokoodin EN 1991-1-4 ja sen liitteiden mukaisesti. Laskentaprosessi perustuu tarkasti määriteltyihin kaavoihin ja ehtoihin, jotka on esitelty standardissa ja täydentävissä julkaisuissa, kuten RIL 201-1-2008. Tuulikuormat vaihtelevat ajan mukaan ja aiheuttavat painetta rakennusten ulko- ja sisäpintoihin sekä kitkavoimia suurille pinnoille.

Laskentamenetelmä riippuu rakennuksen ominaisuuksista. Matalille rakennuksille, joiden korkeus on pienempi kuin leveys, voidaan käyttää yksinkertaistettua laskentaa voimakertoimen avulla. Tällöin tuulen vaikutus arvioidaan harjalla valitsevan paineen perusteella.

Tuulikuorma määritellään tuulennopeuden mukaan. Suomessa tuulennopeuden perusarvo manneralueella koko maassa käytetään arvoa 21 m/s. Tuulisemmillä alueella on määritetty himan suuremmat arvot.

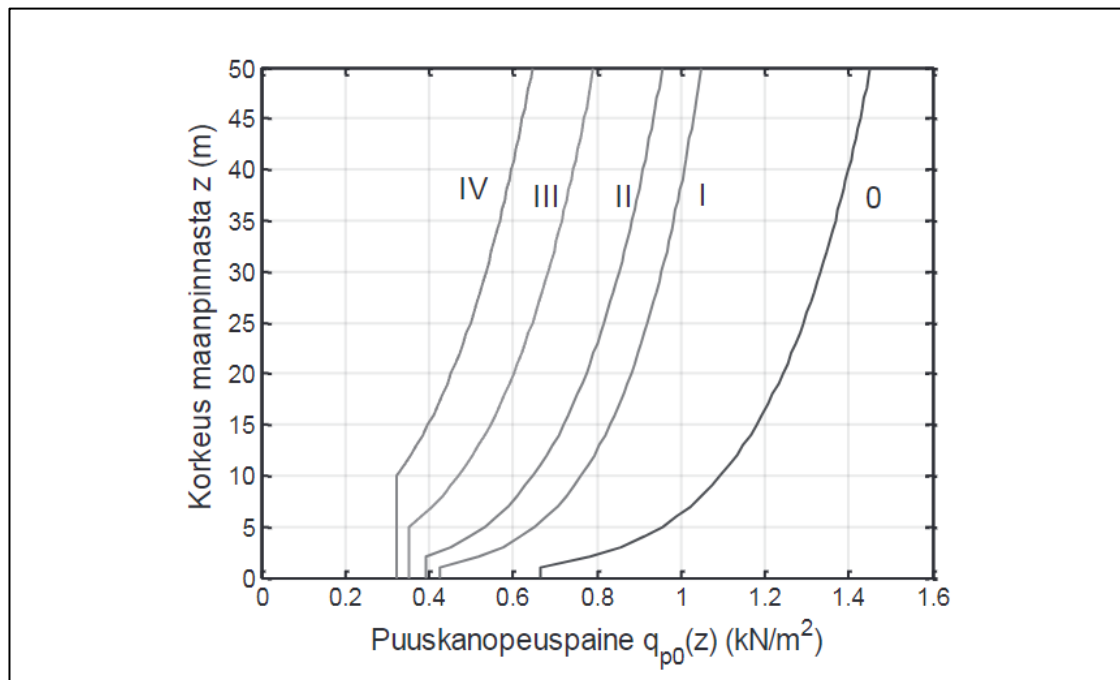
Maaston pinnanmuodot ja rosoisuus vaikuttavat merkittävästi tuulen nopeuteen ja paineen. Eurokoodi EN 1991-1-4 luokittelee maastotyypit rosoisuuden perusteella viiteen eri maastoluokkaan: 0, I, II, III ja IV.



Kuva 3. Maastoluokat (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 131)

Tuulikuorman laskenta alkaa määrittämällä tuulen puuskanopeuspaine rakennuksen maastoluokan ja harjakorkeuden perusteella joko kuvan 4 tai taulukon 4 avulla. Tässä työssä käytetään yksinkertaistettua menetelmää, joka soveltuu matalille rakennuksille, joiden leveys on suurempi kuin korkeus. Tässä

menetelmässä tuulenpaine pysyy samana eri korkeuksilla ja vastaa rakennuksen harjakorkeudella mitattua arvoa.



Kuva 4. Nopeuspaineen ominaisarvot $q_{p0}(z)$ eri maastoluokissa ($=q_{p0}(z)$ tasaisessa maastossa), kun tuulennopeuden perusarvo $v_b = 21 \frac{m}{s}$. (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 136)

Taulukko 4. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$ [kN/m²] erimaastoluokissa ($= q_p(z)$ tasaisessa maastossa, $c_0 = 1$ ja $\gamma_D = 1$). (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 137)

z (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

Laskenta jatkuu, kun puuskanopeus on määritetty, kahdella eri tavalla.

3.1 Tuulikuorma voimakertoimella C_f

Voimakerroinmenetelmällä jaetaan rakennukset kahteen tyyppiin, matalille ja korkeille rakennuksille (RIL-201-1-2017, s. 140). Voimakeroinmenetelmässä määritetään kokonaistuulivoimaa yhden voimakertoimen avulla, joka riippuu rakennuksen hoikkuudesta ja muodosta. Tämä kerroin ottaa huomioon kitkan vaikutukset.

Pientaloissa, oletetaan, että tuulenpaine on sama kaikissa korkeusasemissa. Rakennukseen kohdistuva tuulen kokonaisvoima F_w saadaan kaavasta 4. Tuulivoimaresultantti oletetaan vaikuttavan 0,6 h korkeudella maanpinnasta.

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z) * A \quad (4)$$

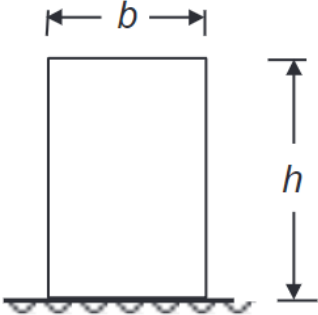
missä,

$c_s c_d$	rakennekerroin
c_f	voimakeroin
$q_p(z_e)$	puuskanopeuspaine korkeudella z (m)
A (m ²)	rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

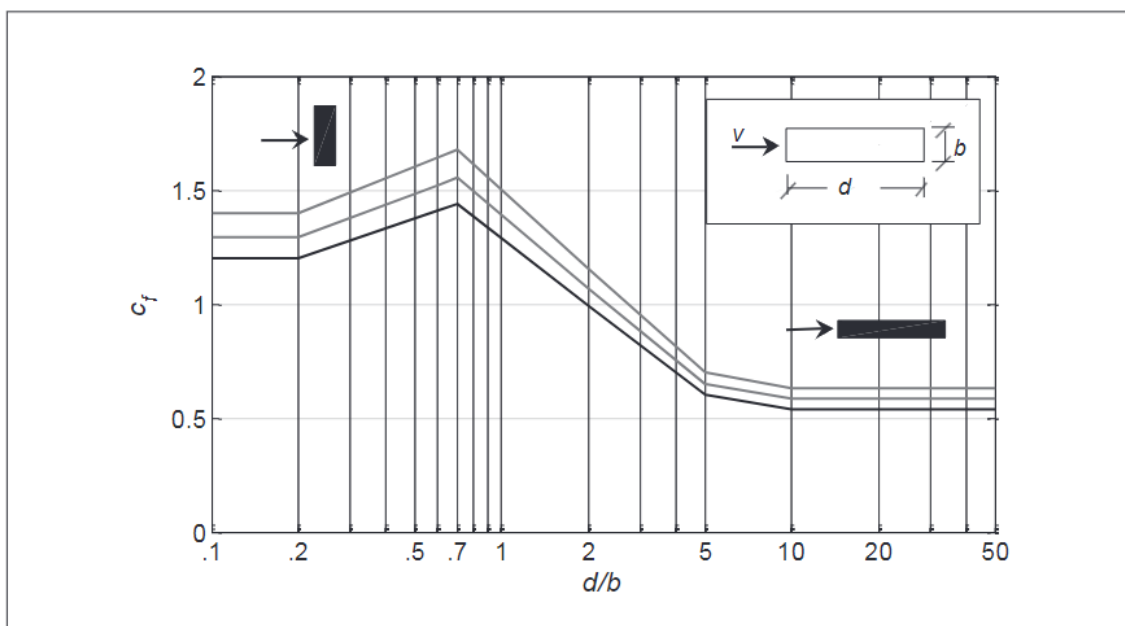
$c_s c_d$ -rakennekertoimille käytetään arvo 1,0. Tarkempia arvoja voi hakea eurokoodista.

Voimakertoimen C_f määrittämiseksi, tulee määrittää tehollisen hoikkuuden tau-lukon 5 avulla.

Taulukko 5. Tehollinen hoikkuus (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 140)

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus λ
	<p>kun $h < 15$ m, $\lambda = 2 h/b$ kun $h \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 h/b$</p> <p>Välialueella $15 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$ sovelletaan interpolointia.</p> <p>Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille $\lambda > 10$.</p>

Voimakerroin c_f määritetään joko graafisesti kuvasta 5 tai numeerisesti taulukosta 6. Sivun b on se, johon tuuli osuu suoraan, kun taas d on tuulen suuntainen sivu.

Kuva 5. Voimakertoimet C_f (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 141)

Taulukko 6. Voimakertoimen C_f määrittämiseen (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 141)

λ	Sivusuhte d/b								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

3.2 Tuulikuorma pintapaineiden avulla

Painekertoimella laskettaessa rakennus jaetaan osapintoihin kuvan 6 avulla ja tämän jälkeen tarkastellaan osapintoihin kohdistuvia ulkoisia ja sisäisiä painekuormia. Tuulikuorma voi laskea käyttäen rakennuksen ulkopintoihin vaikuttavien painekertoimien C_{pe} ja sisäpintoihin vaikuttavien pintakertoimien C_{pi} avulla. Osapintaan vaikuttavat ulko- ja sisäpuoliset paineet saadaan kaaviosta 5 ja 6. Eri pintojen painekertoimet löytyvät taulukosta 7.

$$w_e = c_{pe} \times q_p(h) \quad (5)$$

missä,

w_e = osapintaan vaikuttava ulkopuolinen paine

c_{pe} = osapinnan ulkoisen paineen kerroin

$q_p(h)$ = modifioitu tuulen nopeuspaine

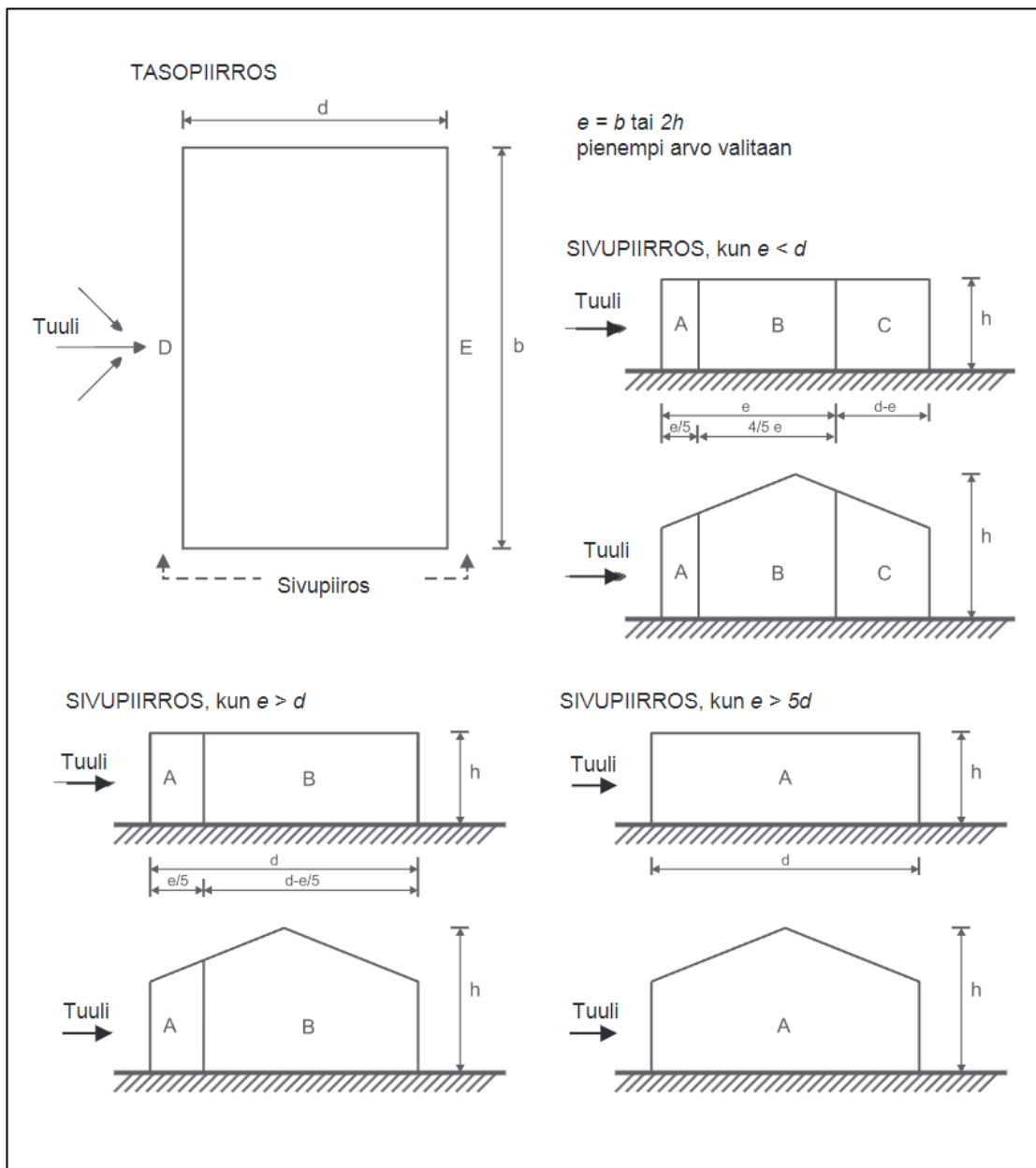
$$w_i = c_{pi} \times q_p(h) \quad (6)$$

missä,

w_i = osapintaan vaikuttava sisäpuolinen paine

c_{pi} = osapinnan sisäisen paineen kerroin

$q_p(h)$ = modifioitu tuulen nopeuspaine



Kuva 6. Ulkopuolisen paineen vaikutusalueet seinille (RIL 201-1-2017, 150)

Taulukko 7. Ulkopuolisen paineen kertoimet seinille (RIL 201-1-2017, 150)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≥ 5 *)	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0		-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0		-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0		-0,3

Ulkopuoliset painekertoimet kuormitusaloille 1 m^2 ($c_{pe,1}$) ja ($c_{pe,10}$). Väliarvot interpoloidaan lineaarisesti. Negatiivinen merkki kertoo tuulen aiheuttavan pinnasta poispäin olevaa imua ja positiivinen merkki kertoo tuulen aiheuttavan pinta-alaan kohti olevaa painetta.

Sisäpuolisen paineen kerroin c_{pi} riippuu rakennuksen vaipan aukkojen koosta ja niiden sijainnista. Mikäli yhden sivun aukkojen pinta-ala on kaksi kertaa tai enemmän verrattuna muilla sivuilla olevien aukkojen pinta-alaan, pidetään tätä sivu määräävänä. (RIL 201-1-2011, 157.) Määräävä sivun sisäpuolisen paineen kertoimet määritetään kaavoilla 7 ja 8.

Kaksinkertainen aukkojen pinta-ala:

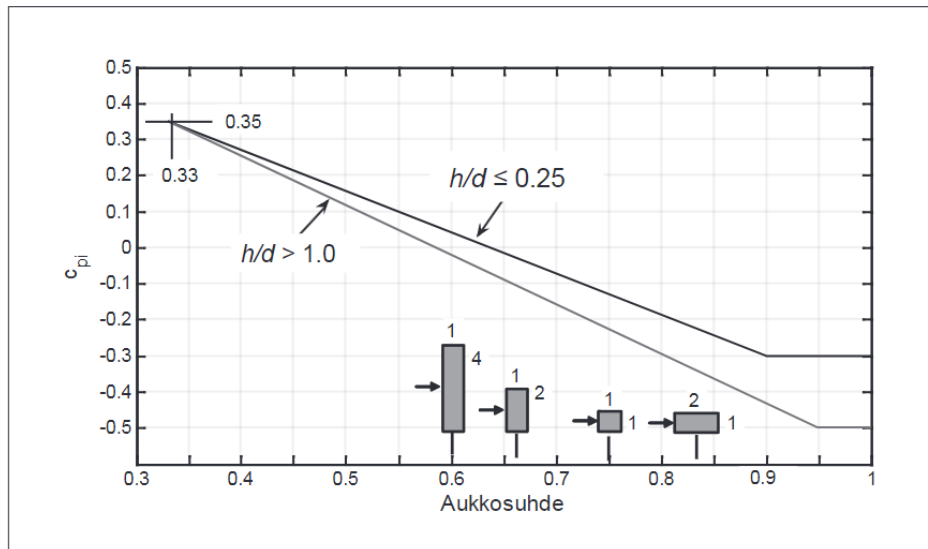
$$c_{pi} = 0,75 \times c_{pe} \quad (7)$$

Vähintään kolminkertainen aukkojen pinta-ala:

$$c_{pi} = 0,9 \times c_{pe} \quad (8)$$

Rakennuksissa, missä ei ole määräävää sivua, sisäpuolisen paineen kerroin määritetään aukkosuhteen μ (kaava 9) ja suhteen h/d avulla, missä d on tuulen-suuntaista sivunpituutta ja h edustaa sen harjakorkeutta (kuva 7).

$$\mu = \frac{\sum \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } c_{pe} < 0}{\sum \text{kaikkien aukkojen pinta-ala}} \quad (9)$$

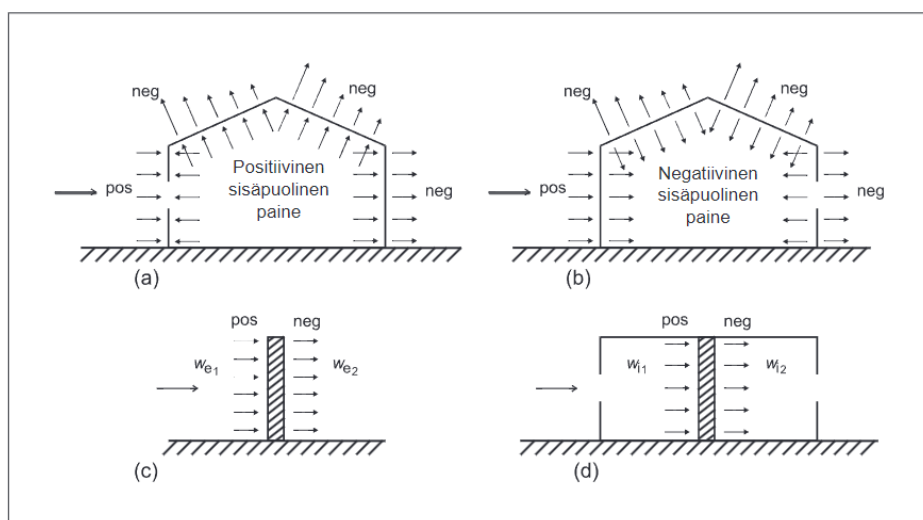


Kuva 7. Sisäisen paineen kerroin aukkosuhteen funktiona aukkojen ollessa tassisesti jakautuneita (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 162)

Rakennuksissa, jotka ovat lähes neliömäisiä ja joiden aukkosuhdetta ei voida määrittää tarkasti, käytetään $c_{pi} = -0,3$ tai $c_{pi} = +0,2$.

Nettopainekertoimien laskennassa tulee ottaa huomioon tuulen paineen vaikutussuunta eri osapinnoissa (kuva 8). Nettopainekerroin $C_{p,net}$ lasketaan kaavalla 10.

$$C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi} \quad (10)$$



Kuva 8. Seinien pintoihin vaikuttava paine (RIL 201-1-2017,139)

Yksittäiselle rakenneosalle kohdistuva tuulikuorma $q_{w,k}$ lasketaan kaavalla 11.

$$q_{w,k} = C_{p,net} \times q_p(z_e) \quad (11)$$

missä,

$q_{w,k}$	Tuulen ominaiskuorma
$C_{p,net}$	tuulen nettopaine kerroin
$q_p(z_e)$	puuskanopeuspaine korkeudella z (m)

4 Kuormien jakautuminen jäykistäville seinille

Jäykistävät seinät ovat olennainen osa rakennuksen jäykistysjärjestelmää, jossa ne yhdessä muiden rakenneosien kanssa varmistavat rakenteen kestävyuden ulkoisia kuormituksia, kuten tuuli- ja maanjäristysvoimia, vastaan. Seinät ottavat vastaan rasituksia jäykkyyksiensä suhteessa.

Kiertokeskiön sijainti määritetään seinien jäykkyyksien ja staattisten momenttien perusteella. Seinän kantamaan kuormaan vaikuttavat sekä sen jäykkyys että etäisyys rakennuksen kiertokeskiöstä. Kiertokeskiö, jota kutsutaan myös vääntökeskiöksi, on piste, jonka ympäri rakennuksen välipohjataso kiertyy. Mikäli ulkoisen kuormituksen resultantti kohdistuu kohtisuoraan kiertokeskiöön, kuormitus ei aiheuta kiertymä.

4.1 Maston jäykkyys

Tässä työssä rakennusosan jäykkyys määritellään yksinkertaisesti kaavalla 12

$$k_{x,y} = \frac{3E_c I_{x,y}}{\beta H^3} \quad (12)$$

missä

E_c	on betonin kimmokertoimen
$I_{x,y}$	on jäykistävien seinien jäyhyysmomentti
β	on jäykkyyden korjauskerroin
H	on jäykistävien seinien korkeus

seinän jäyhyysmomentti lasketaan kaavalla (13)

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (13)$$

jäykkyyden korjauskerroin saadaan kaavalta (14)

$$\beta = 1 + 0.75 \left(\frac{h}{H}\right)^2 \quad (14)$$

missä

h on jäykistävien seinien pituus
 H on jäykistävien seinien korkeus

4.2 Symmetrinen jäykistysjärjestelmä

Kun seinät ovat sijoitettu symmetrisesti, voima ei aiheuta kiertymä. Seinän osuus kokonaiskuormasta lasketaan kaavalla

$$Q_y = \frac{k_y}{\sum k_y} F_y \quad (15)$$

missä

Q_y on seinälle tuleva kuorma
 k_y on seinän y-suuntainen jäykkyys
 $\sum k_y$ on jäykistävien seinien jäykkyyksien summa

4.3 Epäsymmetrinen jäykistysjärjestelmä

Välipohjataso kiertyy kiertokeskiönsä ympäri silloin, kun rakennuksen jäykistysjärjestelmä ei ole symmetrinen. Tämä kiertyminen aiheuttaa rakenteisiin lisäkuormituksia, jotka on arvioitava tapauskohtaisesti.

Rakennuksen järjestelmään kohdistuu nyt momentti:

$$M = F_y * e_x - F_x * e_y \quad (16)$$

missä

F_y X-akselin suuntainen vaakavoima
 F_x Y-akselin suuntainen vaakavoima

e_x voimakeskipisteen etäisyys kiertokeskiöstä x-akselilla
 e_y voimakeskipisteen etäisyys kiertokeskiöstä y-akselilla

Lähtökohtana määritellään kiertokeskiön sijainti. Kiertokeskiön määrittämiseksi tarvitaan tietoa jokaisen seinän jäykkyydestä sekä seinän poikkileikkauksen painopisteen etäisyydestä origosta.

$$x_o = \frac{\sum k_y x}{\sum k_y} \quad (17)$$

$$y_o = \frac{\sum k_x y}{\sum k_x} \quad (18)$$

Momentti saa välipohjatason kiertymään. Kiertymä lasketaan kaavalla 19.

$$\varphi = \frac{M}{\sum k_x y_1^2 + \sum k_y x_1^2} \quad (19)$$

missä:

$$x_1 = x - x_o \quad (20)$$

$$y_1 = y - y_o \quad (21)$$

Välipohjatason kiertokeskiön siirtymät lasketaan kaavalla 22 ja 23.

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x} \quad (22)$$

$$v_y = \frac{F_y}{\sum k_y} \quad (23)$$

Jäykkyyksien ja siirtymien tunnistamisen jälkeen, osamastojen kuormitukset saadaan laskettu kaavoilla 24 ja 25.

$$Q_x = k_x * v_x - k_x * y * \varphi \quad (24)$$

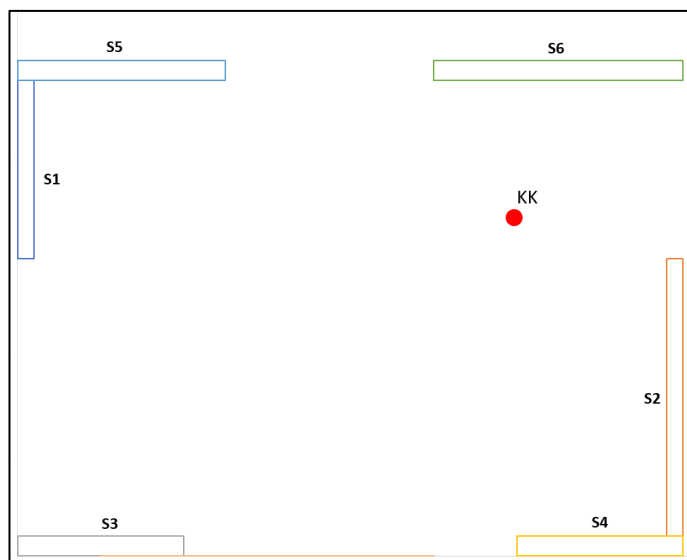
$$Q_y = k_y * v_y - k_y * x * \varphi \quad (25)$$

5 Laskenta

Rakennus on kaksikerroksinen asuinrakennus, joka sijaitsee Hämeenlinnassa. Jokaisen kerroksen korkeus on 3,5 metriä. Rakennuksen jäykistävät seinät sijaitsevat kuten kuvassa. Rakennus on suunniteltu betonirakenteiseksi, ja sen seinät ovat 200 mm paksua betonia. Betonimateriaalin kimmokerroin on 30 GPa. Rakennuksen tarvittavat mitat ja jäykistävät seinät määritellään Excel-sovelluksessa kuva 7 mukaan.

Rakennuksen mitat									
Kerrosten lukumäärä	2								
Kerroksen korkeus h_k =	3,5 m								
Katon korkeus=	0 m								
Rakennuksen pituus x-suunnassa L_x =	8 m								
Rakennuksen pituus y-suunnassa L_y =	5 m								
Kokokorkeus H =	7 m								
Jäykistävät seinät									
Seinä	Mat. no	Materi	h_x (m)	h_y (m)	b (m)	H (m)	x_i	V_i	V (m ³)
Seinä 1	1	Betoni		1,8	0,2	3,5	0	3	1,26
Seinä 2	1	Betoni		2,8	0,2	3,5	7,8	0,2	1,96
Seinä 3	1	Betoni	2		0,2	3,5	0	0	1,4
Seinä 4	1	Betoni	2		0,2	3,5	6	0	1,40
Seinä 5	1	Betoni	2,5		0,2	3,5	0	4,8	1,75
Seinä 6	1	Betoni	3		0,2	3,5	5	4,8	2,10

Kuva 7. Rakennuksen mitat ja jäykistävät seinät



Kuva 8. Jäykistävien seinien sijainnit

5.1 Kuormat

5.1.1 Lisävaakavoima

Lisävaakavoima lasketaan yhdelle kerrokselle pystykuormien laskemisen jälkeen kaikille oleville kerroksille kyseestä olevasta kerroksesta ylöspäin. Kuormat lasketaan murtorajatilassa. Rakennuksen seuraamusluokka on CC2 joten $K_{fi} = 1$. Rakennuksen katolle on määritetty lumikuorma arvoltaan $2,2 \text{ kN/m}^2$, ja hyötykuorma jätetään huomioimatta. Ontelolaatat (HCS), jotka ovat 5 metriä pitkiä ja sijoitettu y-suunnassa. Ontelolaattojen päälle valetaan 100 mm paksu tasoitekerros (screed) tasoittamaan ja vahvistamaan rakennetta.

Lumikuorma:

Lumikuorma katolla oli määritelty $2,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$.

$$q_{d,lumi} = 1,5 * K_{fi} * \psi_{0,1} * q_{k,lumi} * L * B = 1,5 * 1 * 0,7 * 2,2 \text{ kN/m}^2 * 8 \text{ m} * 5 \text{ m} = 92,4 \text{ kN}$$

Yläpohja omapaino:

Ontelolaatan ja lattiatasoitteen painot yhdessä.

$$g_{k,yp} = 2,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,1 \text{ m} * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{d,yp} = 1,15 * K_{fi} * (g_{k,yp} * L * B) = 1,15 * 1 * \left(5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 8 * 5\right) = 230 \text{ kN}$$

Välipohjan omapaino:

Ontelolaatan ja lattiatasoitteen painot yhdessä.

$$g_{k,vp} = 0,1 \text{ m} * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 0,1 \text{ m} * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 4,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_{d,vp} = 1,15 * K_{fi} * (g_{k,vp} * L * B) = 1,15 * 1 * \left(4,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 8 * 5\right) = 230 \text{ kN}$$

Välipohjalle tuleva hyötykuorma:

$$q_{k,vp} = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{d,vp} = 1,5 * K_{fi} * (q_{k,vp} * L * B) = 1,5 * 1 * \left(2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 8 * 5\right) = 120 \text{ kN}$$

Pystyrakenteet:

$$g_{d,s} = 1,15 * K_{fi} * 2 * \left((2 + 2 + 2,5 + 3 + 1,8 + 2,8) \text{ m} * 3,5 \text{ m} * 0,2 \text{ m} * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) = 56,75 \text{ kN}$$

Yhteensä:

$$P_d = g_{d,vp} + g_{d,yp} + g_{d,s} + q_{d,vp} + q_{d,lumi} = 230kN + 230kN + 56,75kN + 120kN + 92,4kN = 729,15kN$$

Pysyvät kuormat		
<u>Vesikatto:</u>		
Ontelolaatat P20 gk =	2,6	kN/m ²
Pintabetoni gk =	2,4	kN/m ²
<u>Kerrokset:</u>		
Ontelolaatat P37K gk =	2,6	kN/m ²
Pintabetoni gk =	2,4	kN/m ²
<u>Jäykistävät seinät:</u>		
V _{puu s.} =	0,00	m ³
V _{bet.s.} =	9,87	m ³
V _{teräs s.} =	0,00	m ³
g _{k,s} =	24,675	kN
<u>Hyötykuormat</u>		
Käyttöluokka ja kuormitettu rakennusosa, q _k [kN/m ²]	Luokka A (asuin ja majoitustilat/väliäpöytä)	
Käyttöluokka ja kuormitettu rakennusosa, Q _k [kN]	-	
q _{k,vp} =	2	kN/m ²
Q _k =	0	kN
<u>Lumikuorma</u>		
Kunta	Hämeenlinna	
Katon kaltevuus α° =	0	
μ =	0,8	
Lumikuorman ominiaisarvo s _k =	2,5 kN/m ²	
q =	2,00 kN/m ²	
<u>Pystykuormat, MRT:</u>		
Yhden kerroksen pintaala (A)	40 m ²	
Pysyvät kuormat G _d =	516,75 kN	
Hyötykuorma Q _d =	120,00 kN	
Lumikuorma Q _{d,l} =	84,00 kN	
Pystykuorma P _{ed} =	720,75 kN	

Kuva 9. Pystykuormat Excel-sovelluksessa

Vinouden perusarvo θ_0 :

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

korkeudesta aiheutuva kerroin α_h :

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0, \text{ missä } L = \text{rakennuksen korkeus}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{7}} = 0,756$$

Rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin α_m :

$$\alpha_m = \sqrt{\left(0,5 \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)\right)}, \text{ missä } m = \text{pystyrakenneosien määrä}$$

$$\alpha_m = \sqrt{\left(0,5 \times \left(1 + \frac{1}{2}\right)\right)} = 0,87$$

Vinoudesta aiheutuva vaakavoima:

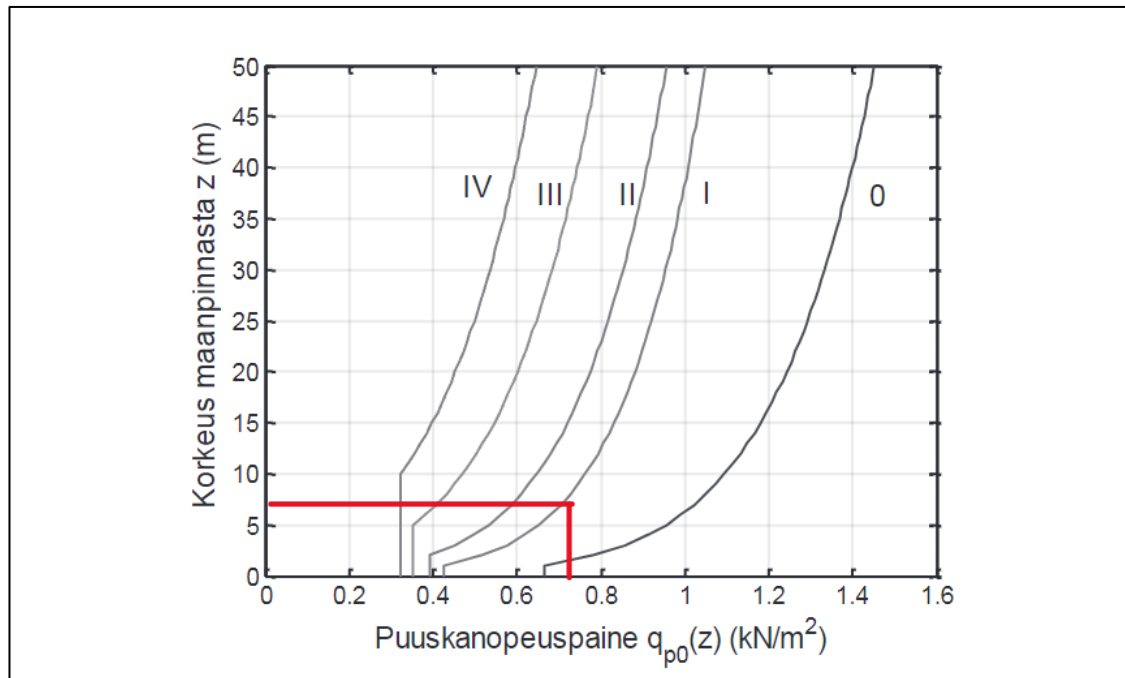
$$\theta_x = \theta_0 \alpha_h \alpha_m P_d = \frac{1}{200} * 0,756 * 0,87 * 729,15 \text{ kN} = 2,4 \text{ kN}$$

Rakenteiden vinoudesta aiheutuva lisävaakavoima:			
$m_y =$	4		Info!
$m_x =$	2		
$\theta_0 =$	0.005		Info!
$\alpha_h =$	0.756		Info!
$\alpha_{m.y} =$	0.79		Info!
$\alpha_{m.x} =$	0.87		Info!
$\theta_x =$	2.4	kN	Info!
$\theta_y =$	2.2	kN	Info!

Kuva 10. Lisävaakavoima Excel-sovelluksessa

5.1.2 Tuulikuorma

Rakoennus on Hämeenlinnassa ja kohde kuuluu maastoluokkaan I. Tuulikuorma vaikuttaa sekä x- että y-suunnassa, mutta rakenteen symmetrian vuoksi voidaan olettaa, että vain x-suunnassa tuulikuorma vaikuttaa rakennuksen jäykistäviin seiniin.



Kuva 3. Nopeuspaineen ominaisarvot $q_{p0}(z)$ eri maastoluokissa ($=q_{p0}(z)$ tasaisessa maastossa), kun tuulennopeuden perusarvo $v_b = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 136)

Nopeuspaine korkeudella 7 m kaaviosta (Kuva 3):

$$q_{p0}(h) = 0,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kokonaistuulivoima:

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

Tuulikuorma kohdistuu lyhyelle sivulle

Rakennuksen mitat:

$$b = 5 \text{ m}$$

$$d = 8 \text{ m}$$

$$h = 7 \text{ m}$$

Tehollinen hoikkuus λ taulukosta 2

$$h < 15 \text{ m, joten } \lambda = 2 * \frac{h}{b}$$

$$\lambda = 2 * \frac{7}{5} = 2,8$$

Voimakerroin c_f taulukosta 5

Taulukko 5. Voimakertoimen c_f määrittämiseen (RIL 201-1-2017 Osa 1.4, 141)

	Sivusuhte d/b								
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Sivusuhte:

$$\frac{d}{b} = \frac{8}{5} = 1,6$$

$$\text{Interpoloidaan } c_f \text{ arvo: } y = y_1 + (x - x_1) \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

$$\lambda_1 = 1 \text{ ja } \frac{d}{b} = 1,6 \rightarrow c_{f1} = 1,28 + (1,6 - 1) * \frac{(0,99 - 1,28)}{(2 - 1)} = 1,106$$

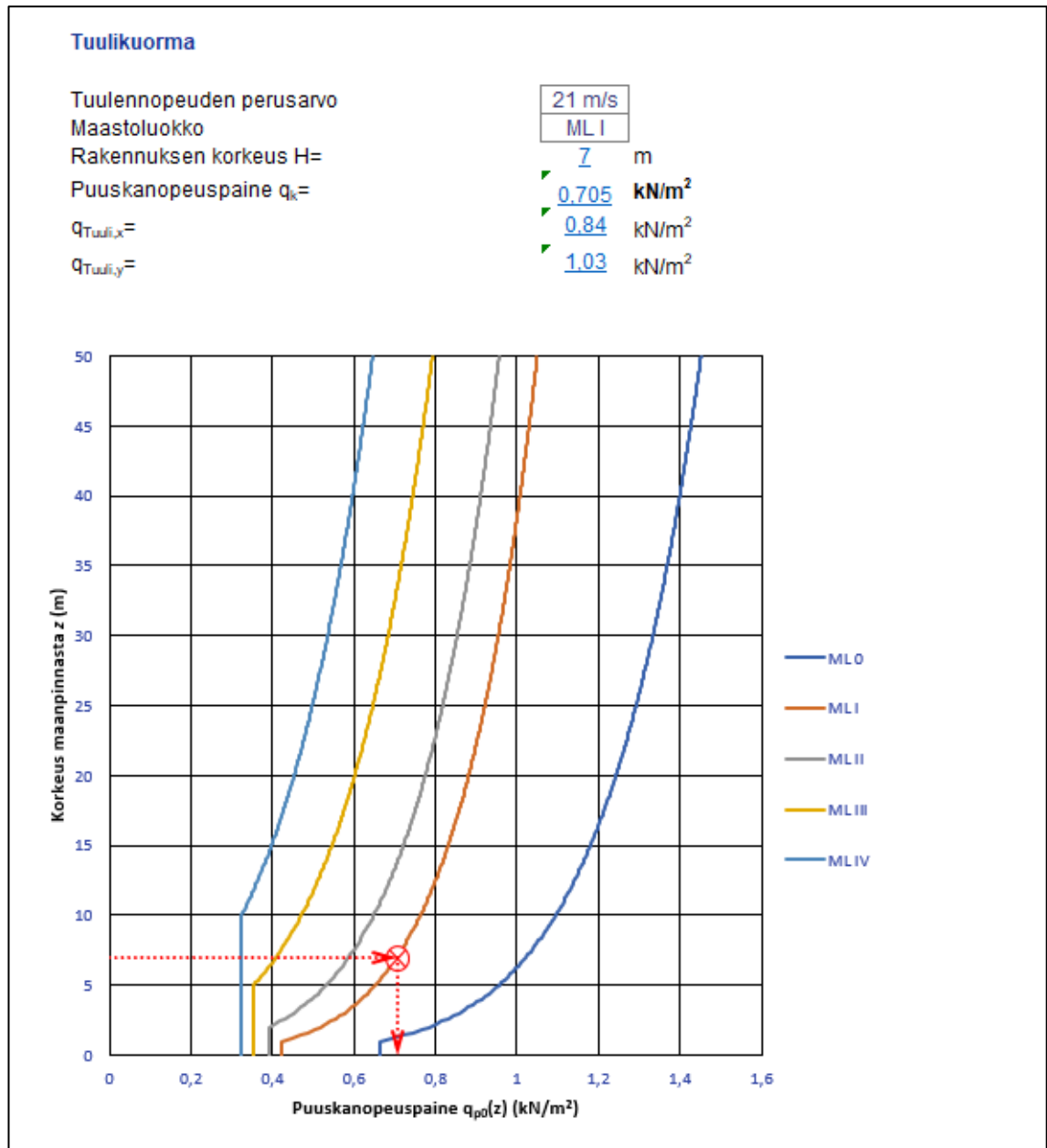
$$\lambda_2 = 3 \text{ ja } \frac{d}{b} = 1,6 \rightarrow c_{f2} = 1,38 + (1,6 - 1) * \frac{(1,07 - 1,38)}{(2 - 1)} = 1,194$$

$$\lambda = 2,8 \text{ ja } \frac{d}{b} = 1,6 \rightarrow c_f = 1,106 + (2,8 - 1) * \frac{(1,194 - 1,106)}{(3 - 1)} = 1,185$$

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z)$$

$$c_s c_d = 1$$

$$F_{w,x} = 1,185 * 0,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,84 \text{ kN/m}^2$$



Kuva 11. Tuulikuorman määrittäminen Excel-sovelluksessa

5.2 Kuormien jakautuminen jäykistäville seinille

Tässä työssä määritellään 1. kerroksen seinien vaakakuormat.

Rakennuksen mitat:

Leveys X-suunnassa on 8 m
 Leveys Y-suunnassa on 5 m
 Kokokorkeus on 7 m
 Kerroksen korkeus on 3,5 m

Ensimmäisen kerroksen kokonaisvaakavoimat molemmissa suunnissa:

$$F_x = 1,5 * F_{w,x} + \theta_x = 1,5 * 0,84 \frac{kN}{m^2} * 5m * \left(\frac{3,5m}{2} + \frac{3,5m}{2} \right) + 2,4kN = 24,3kN$$

Poikkileikkauksen jäykkyys:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$\beta = 1 + 0,75 \left(\frac{h}{H} \right)^2$$

$$k_x = \frac{3E_c I_y}{\beta H^3}$$

$$k_y = \frac{3E_c I_x}{\beta H^3}$$

Välipohjan siirtymä:

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x}$$

$$v_y = \frac{F_y}{\sum k_y}$$

Kiertokeskiö:

$$x_o = \frac{\sum k_y x}{\sum k_y}$$

$$y_o = \frac{\sum k_x y}{\sum k_x}$$

$$x_1 = x - x_o$$

$$y_1 = y - y_o$$

Momentti kiertokeskiön suhteen:

$$e_y = y_o - b/2$$

$$e_x = x_o - b/2$$

$$M = F_x * e_y$$

$$M = F_y * e_x$$

Välipohjan kiertymä:

$$\varphi = \frac{M}{\sum k_x y^2 + \sum k_y x^2}$$

Kuormien jakautumisen laskelmat tehtiin luottavissa Excel-pohjaisella. Laskelmien välivaiheet laskelmat on esitetty liitteessä 1.

6 Pohdinta

Rakennuksen rakenteiden kestävyuden varmistaminen on olennainen osa turvallista ja pitkäikäistä rakentamista. Tässä työssä keskitytään erityisesti kerrostalon jäykistävien seinien vaakakuormiin laskentaan. Vaakakuormat, kuten tuulia ja lisävaakavoimat, vaikuttavat merkittävästi rakennuksen rakenteisiin, ja niiden oikeaoppinen määrittäminen on tärkeää rakennuksen vakauden kannalta.

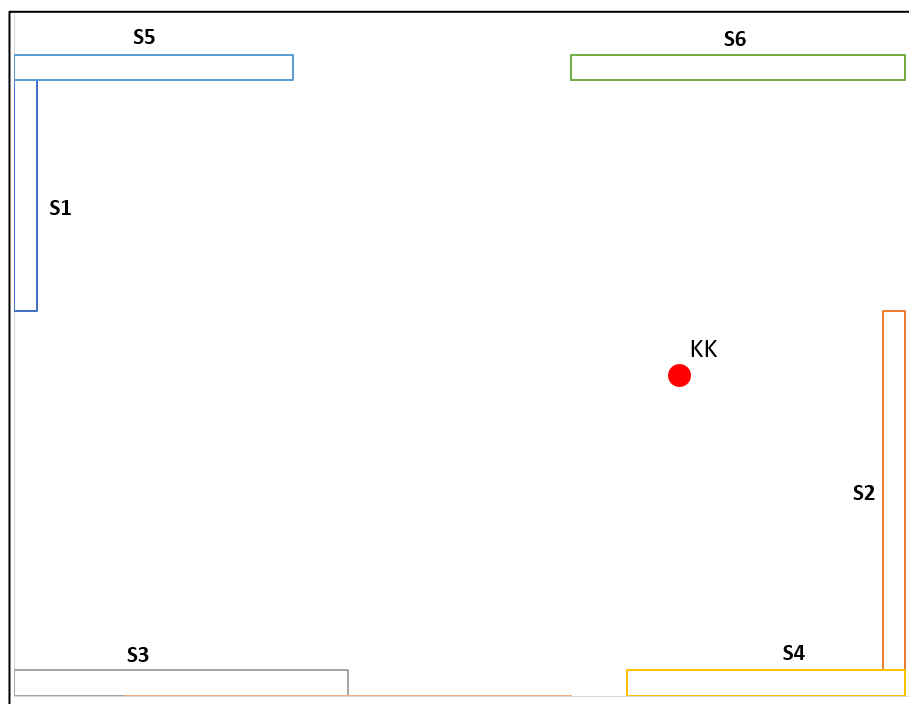
Työn tavoite oli kehittää Excel-pohjainen laskentasovellus, jonka avulla voidaan arvioida jäykistävien seinien kuormitusta. Tämä lähestymistapa on hyödyllinen, sillä se tarjoaa systemaattisen ja toistettavan tavan laskea kuormia ilman monimutkaisia käsin tehtäviä laskelmia. Excel-sovelluksen käyttö mahdollistaa erilaisten skenaarioiden kokeilun, mikä voi auttaa suunnittelijoita löytämään optimaaliset rakenteelliset ratkaisut.

Työssä hyödynnettiin eurokoodin ohjeita kuormien laskemisessa. Tämä on merkittävä etu, sillä eurokoodit tarjoavat standardoidun ja hyväksytyt lähestymistavan kuormitusten arviointiin. Työssä käsiteltiin laajasti tuulikuorman vaikutuksia ja niiden jakautumista jäykistävälle seinille. Tämä oli tärkeää, sillä tuuli on yksi

merkittävimmistä vaakakuormista, ja sen vaikutus voi vaihdella rakennuksen sijainnin, korkeuden ja ympäristön mukaan.

Lisäksi työssä pohdittiin symmetristä ja epäsymmetristä jäykistysjärjestelmää. Symmetrisessä järjestelmässä kuormat jakautuvat tasaisemmin, mikä vähentää rakenteellista rasitusta, kun taas epäsymmetrisessä järjestelmässä voi syntyä kiertymistä, joka on huomioitava suunnittelussa. Tämä tuo esille rakennesuunnittelun monimutkaisuuden ja sen, kuinka tärkeää on tarkastella kuormituksia sekä yksittäisten seinien että koko rakennuksen näkökulmasta.

Tässä työssä seinien 3 ja 4 mitat muutettiin samanpituisiksi kuin seinien 5 ja 6. Tämä muutos tekee järjestelmästä symmetrisen x-akselin suhteen, jolloin kiertokeskiö siirtyy keskelle. Tämän seurauksena rakenteeseen ei synny kiertymistä, mikä tarkoittaa, että momentti on nolla ja rakenteellinen rasitus vähenee.



Kuva 12. Välipohjataso uusi kiertokeskiö

Lopputuloksena tuotettu Excel-sovellus tarjoaa käytännöllisen työkalun suunnittelijoille. Se mahdollistaa nopean ja tehokkaan kuormitusten arvioinnin, mikä voi

auttaa vähentämään suunnitteluvirheitä ja varmistamaan rakenteiden kestävyys-
den. Jatkokehityksenä voitaisiin tutkia, kuinka laskentasovellus voisi ottaa hu-
mioon myös dynaamisia kuormia, kuten maanjäristyksiä, tai kehittää entistä tar-
kempia mallinnusmenetelmiä.

Kaiken kaikkiaan työ antaa hyvän perustan jäykistävien seinien vaakakuormien
ymmärtämiselle ja niiden laskennalle. Sen sovellusmahdollisuudet ovat laajat, ja
Excel-pohjainen ratkaisu voi toimia hyödyllisenä työkaluna niin opiskelijoille kuin
ammattilaisillekin rakennesuunnittelun alalla.

Lähteet

- 1 Elementtisuunnittelu.fi. Asuinkerrostalon esimerkkilaskelmat BES 2010. <<https://www.elementtisuunnittelu.fi/laskentaesimerkithttps://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/170636.html.stx>>. Luettu 15.10.2024.
- 2 SFS-EN 1991-1-1+AC. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Suomen standardisoimisliitto. Luettu 25.10.2024.
- 3 RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.
- 4 Granroth, Sami. 2018. Tuulikuormien mallintaminen flow design-ohjelma. <<https://oulurepo oulu.fi/bitstream/handle/10024/12027/nbnfioulu-201810102909.pdf;jsessionid=2DD5951DB674643C597B8B8042BC658E?sequence=1>>. Päivitetty 15.4.2018. Luettu 12.11.2024.

