
Elementtirakenteisen kerrostalon jäykistäminen

Pasi Happonen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikanala			
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Pasi Happonen			
Työn nimi Elementtirakenteisen kerrostalon jäykistäminen			
Työn muoto Opinnäytetyö			
Päiväys	15.12.2011	58	
Ohjaaja(t) Lehtori Harry Dunkel			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timonen Oy			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia elementtirakenteisen kerrostalon jäykistämistä. Työn tarkoituksena oli tutustua rakennusten eri jäykistemenetelmiin, erityisesti kerrostalon jäykistämiseen. Työssä esiteltiin myös perusteita kuormien laskennasta ja rakenteiden mitoituksesta. Tavoitteena työssä oli luoda Excel-taulukko rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timosen käytettäväksi.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla teorioihin rakennuksen jäykistämisestä, Eurocoden mukaisesta kuormien laskennasta, sekä tutustumalla seinän mitoitukseen. Teorioiden tullessa tutuiksi, työ eteni laskentavaiheeseen. Laskentavaiheessa määriteltiin rakennukselle tulevat vaaka- ja pystykuormitukset, joita käyttäen mitoitettiin jäykisteinä toimivat seinät. Ensin laskenta suoritettiin käsin ja sen valmistuttua aloitettiin Excel-taulukon luominen. Taulukko luotiin laskemaan samat asiat, jotka oli laskettu käsin.</p> <p>Lopputuloksena työstä saatiin sekä käsin että taulukko laskenta rakennuksen jäykistämisestä ja seinien mitoituksesta. Lisäksi saatiin Excel-pohja, jota voidaan käyttää tulevilla kohteilla. Taulukon käytön on tarkoitus nopeuttaa rakennusten jäykistämisen laskentaa.</p>			
Avainsanat jäykistäminen, vaakavoima			

Field of Study Construction Engineering			
Degree Programme Construction Engineering			
Author(s) Pasi Happonen			
Title of Thesis The Stiffening of Prefabricated Residential Building			
Form of Thesis Bachelor's Thesis			
Date	15th Decenber 2011	58	
Supervisor(s) Harry Dunkel, Lecturer			
Project/Partners Sormunen & Timonen Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this study was to investigate the stiffening of a prefabricated block of flats. The goal was to study the various building stiffening methods, in particular, stiffening of a block of flats. Theories about load calculations and dimensioning of structures were also presented in the study. The goal was to create a working Excel spreadsheet for Sormunen & Timonen Oy to use. Sormunen & Timonen Oy concentrates to architectural and structural engineering.</p> <p>The work was started by getting acquainted with theories on stiffening of a building, Eurocode load calculations, as well as designing the walls using the Eurocode. As theories became familiar, the work proceeded to calculations. During the calculation phase, the vertical and horizontal loads were defined and used to measure the stiffening walls. First, the calculations were made manually and as it progressed, the creation of an Excel spreadsheet was started. The spreadsheet was created to calculate exactly the same things as those calculated manually.</p> <p>As a result of this thesis a manually calculation and a spreadsheet concerning the stiffening of building and the dimensioning of walls were successfully created. One of the Excel spreadsheets can be used for future applications. The use of the spreadsheet will hopefully accelerate the calculation of the stiffening of the buildings.</p>			
<p>Keywords stiffening, lateral force, horizontal loads</p>			

ALKUSANAT

Tämä insinööri työ tehtiin Rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timonen Oy:lle, dipl. ins. Harry Dunkelin ohjeistamana. Työssä esimerkkinä toimineen rakennuksen minulle tarjosi Rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Tominen Oy.

Insinööri työn aiheesta kiitän lehtori Ville Kuusela, työn valvonnasta kiitän lehtori/dipl. ins. Harry Dunkelia. Kiitän myös Rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timosta mahdollisuudesta tehdä insinööri työ heille.

Kuopiossa

PASI HAPPONEN

Sisälllys

1	JOHDANTO	7
2	RAKENNUKSEN JÄYKISTÄMINEN	8
2.1	Mastoseinät	9
2.2	Mastopilarit.....	9
2.3	Jäykistetornit	9
2.4	Miten vaakavoimien jakaantuminen jäykistysrakenteille.....	10
2.4.1	Jäykisterakenteen sijainti.....	10
2.4.2	Pilareiden sijainti tasossa	10
2.4.3	Seinien väliset liitokset tai seinän ja perustuksen välinen liitos	10
2.4.4	Väli- ja yläpohjatason liikuntasaumamat	10
3	VAAKAKUORMIEN JAKAANTUMINEN JÄYKISTYSOSIEN KESKEN.....	11
3.1	Vaakavoimien jakautuminen.....	11
3.2	Vaakavoimien kasaantuminen.....	15
4	KUORMAT	17
4.1	Pystykuormat	17
4.1.1	Pysyvät kuormat	17
4.1.2	Lumikuorma	17
4.1.3	Hyötykuormat	18
4.2	Vaakakuormat	19
4.2.1	Tuulikuorma	19
4.2.2	Matalat rakennukset	21
4.2.3	Korkeat rakennukset.....	23
4.2.4	Lisävaakavoima.....	24
4.2.5	Muut vaakakuormat	25
5	SEINÄN MITOITUS	26
5.1	Raudoittamattoman seinän puristuslujuus	26
5.2	Raudoittamattoman seinän leikkauslujuus	28
5.3	Vaakasauman mitoitus	29
6	TYÖN KÄSIN LASKENNAN TULOKSIA.....	34
6.1	Rakenteet.....	34
6.2	Jäykistäminen	35
6.2.1	Vaakavoiman jakautuminen pidemmällä sivulla	36
6.2.2	Vaakavoiman jakautuminen lyhyemmällä sivulla	37
6.2.3	Vaakavoiman jakautuminen lyhyemmällä sivulla Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
6.3	Kuormat.....	38
6.3.1	Pystykuormat.....	38
6.3.2	Vaakakuormat	38
6.3.3	Koko rakennuksen vaakavoimat.....	40
6.4	Seinien mitoitusta.....	41

6.4.1	<i>Seinä 1</i>	41
6.4.2	<i>Seinä 4</i>	44
6.4.3	<i>Seinä 8</i>	47
7	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	53
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on tutustua rakennusten jäykistämiseen, erityisesti kerrostalojen, sekä luoda teorioiden pohjalta excel-laskenta, jota voidaan käyttää tulevilla kohteilla. Työn alussa tutustun jäykistejärjestelmiin, eurocoden mukaisiin kuormien laskentaan ja rakenteiden mitoittamiseen. Teorioiden tullessa tutuksi siirryn laskentavaiheeseen, johon kuuluu esimerkki rakennuksen jäykistykseen laskeminen ensin käsin ja lopulta excel- taulukon luominen laskujen perusteella. Työssä käydään läpi perusteita rakennuksen jäykistämiseen, kuormien laskennasta ja tarkastellaan muutamien esimerkkien rakennuksen seinien kestävyys. Esimerkki rakennuksen minulle tarjoaa työn tilaaja rakennussuunnittelutoimisto Sormunen & Timonen.

Työssä on käytetty itse piirrettyjä kuvia sekä EN1991-1-1, EN1991-1-3, EN1991-1-4 ja RIL 201-1-2008 julkaisuissa olevia kuvia. RIL 201-1-2008 perustuu tietoihin EN1991-1-1, EN1991-1-3 ja, EN1991-1-4 pohjalta. Kuvien käyttöön on lupa SFS:ltä.

2 RAKENNUKSEN JÄYKISTÄMINEN

Rakennus voidaan jakaa kahteen osaan, runkoon ja täydentäviin osiin. Rungoksi kutsutaan perustusten yläpuolista, kuormia kantavaa ja rakennusta jäykistäviä osia. Täydentäviä osia ovat kaikki muut, pinnoitemateriaalit, ikkunat, ovet jne.

Ulkoiset kuormat voidaan aina jakaa vaaka- ja pystykomponenteiksi, joita rungon eri osat kantavat taivutettuina, vedettyinä, puristettuina, vääntökuormitettuina tai leikkauskuormitettuina sekä näiden yhdistelminä ja kuormat siirtyvä osasta toiseen päätyen lopulta perustuksien kautta rakennuksen maapohjaan. Staattisesti määräämättömien rakenteiden toisiinsa liittyvissä osissa kuormat ja niiden vaikutukset jakaantuvat aina osien jäykkyysien suhteissa periaatteella, että jäykempi rakenneosaa kantaa aina suuremman osuuden kuormasta kuin vähemmän jäykkä. Jäykkyys voi olla joko siirtymäjäykkyys tai kiertymäjäykkyys, rakenteen toimintatavan mukaan. Jäykistämisen suunnittelussa tulee aina toteuttaa kaksi perusvaatimusta, ilman suuria muodonmuutoksia tapahtuvan vaakasuorien kuormien siirtymisen varmistaminen ja jäykisteinä toimivien pystyrakenteiden stabiilisuuden säilyttäminen. /1/

Toimivaan rakennuksen jäykistämiseen tarvitaan vähintään 3 jäykisteosaa, joiden jatkeet eivät leikkaa samassa pisteessä. Rakenteet, joissa on ainoastaan kaksi jäykisteosaa tai rakenteet, jossa on kolme jäykisteosaa ja niiden jatkeet leikkaavat samassa pisteessä, eivät ole vakaita ja täten huonoja ratkaisuja jäykistykseen kannalta.

Vaakakuormat siirretään aina ensin pystyrakenteille levyosien avulla, kehäsauvojen jäykkyiden avulla ja/tai vinosauvojen ristikkovaikutuksen avulla. Vaakasuorina jäykisteinä toimivat väli- ja yläpohja ja pystysuorina jäykisteinä leikkausseinät, jäykistystornit ja jäykistysristikot. Huolimatta erilaisista rakenteista leikkausseinä ja jäykistysristikon toimintatapa on periaatteessa samanlainen, kun ajatellaan vaakakuormien siirtymistä pystyrakenteille. /1/

2.1 Mastoseinät

Mastoseinät ovat levyrakenteita, jotka ovat alareunasta koko pituudeltaan tuettuja ja joihin kuormitus vaikuttaa vaaka- ja pystysuunnassa. Kuormat siirtyvät mastoseinille laatastojen välityksellä. Elementtirakenteiset mastoseinät koostuvat yleensä yhden kerroksen korkuisista elementeistä, jotka on sijoitettu asennustoleranssien tarkkuudella päällekkäin. Mastoseinät tulisi suunnitella siten, että ne ottavat mahdollisimman paljon laataston pystykuormaa, jotta vetorasituksia maston eri seinäelementtien välillä ei syntyisi. Jos vetorasitusta syntyy, on elementtiin laitettava riittävä vetoraudotus. Mastoseinät mitoitetaan periaatteessa samalla tavoin kuin pilaritkin. Suurimpana erona on rakenteen nurjahduspituus. Maston nurjahdus voi tapahtua yksittäisen seinälevyn tai koko jäykisterakenteen nurjahduksen. /2/

2.2 Mastopilarit

Mastopilareiden käyttäminen asuin- ja toimistorakennuksissa on vähäistä, niiden käyttö keskittyy varasto- ja toimistohallien jäykistämiseen. Yleensä pilareiden mitoitukseen käytetään tietokoneohjelmia, jotta voidaan ottaa huomioon toisen kertaluvun momentti. Voimakkaasti puristusrasitetut pilarit voidaan tehdä hoikemmiksi käyttämällä lujempaa betonia. Voimakkaasti taivutusrasitetut ja suhteellisen pienen pystykuorman omaavien pilareiden betonin lujuuden nostaminen fck 50(K60) ei ole kannattavaa. Jos pilari toimii asennusaikana yhden kerroksen korkuisena mastona, määrää lopputilanne yleensä pilarin mitoituksen. Jos pilari toimii kahden kerroksen korkuisena mastona rakennusvaiheessa, yleensä rakennus aikaiset kuormitukset määräävät mitoituksen ja pilarista tulee ylimitoitettu lopputilanteessa. /2/

2.3 Jäykistetornit

Jäykistetornia voidaan pitää mastoseinien ja mastopilareiden yhdistelmänä. Pelkästään yksi jäykistetorni ei riitä koko rakennuksen jäykistämiseen, sillä se ei estä kiertymistä tarpeeksi. Jos rakennuksessa on useita jäykistetorneja, ne tulisi sijoittaa rakennuksen eri puolille, jotta niistä saataisiin suurin mahdollinen hyöty. Jäykistetornit ovat yleisiä kerros- ja toimistorakennusten jäykistämisessä. Jäykistetornien lisäksi on hyvä käyttää joko mastoseiniä tai mastopilareita. /2/

2.4 Miten vaakavoimien jakaantuminen jäykistysrakenteille

2.4.1 Jäykisterakenteen sijainti

Jäykisterakenteet sijoitetaan suhteellisten jäykkyyksien perusteella niin, että jokainen osa kuormittuu mahdollisimman tasaisesti. Vaakatasossa jäykistysosilla on kiertokeskiö jonka kautta kulkeva vaakavoima ei aiheuta vääntöä. Usein ei ole mahdollista järjestää jäykistysosia niin, että vaakavoimien resultantit aina kulkisivat kiertokeskiön kautta. /1/

2.4.2 Pilareiden sijainti tasossa

Tarvittaessa pilarit voidaan suunnitella ottamaan osa vaakakuormista, mutta tätä ei yleensä oteta huomioon, koska kyseinen osuus on pieni ja leikkausseinä tavallisesti ylimitoitetaan käytännön syistä, /1/.

2.4.3 Seinien väliset liitokset tai seinän ja perustuksen välinen liitos

Seinä on jäykistävä leikkausseinä vain siinä tapauksessa että se on suunniteltu taivutuksen tai leikkauksen kestäväksi, /1/.

2.4.4 Väli- ja yläpohjataso liikuntasaumot

Liikuntasauvoja tarvitaan pakkovoimien haitallisten vaikutuksien estämiseksi ja elementtirakenteisissa tasoissa niitä tulisi olla 60...80 metrin välein, /1/.

3 VAAKAKUORMIEN JAKAANTUMINEN JÄYKISTYSOSIEN KESKEN

3.1 Vaakavoimien jakautuminen

Kiinteästi tasoon liittyvät seinät, tornit ja pilarit ovat jäykistysrakenteina suhteellisesti jäykempiä kuin jäykkänurkkaiset kehät tai sideristikot. Kunkin jäykistysosan suhteellinen jäykkyys määrittelee osan ottaman voiman ja välipohjatason vaakasiirtymätilan. Jos oletetaan, että jokaisella osalla on sama kimmokerroin, niiden suhteelliset jäykkyydet ovat verrannollisia ko. osan jäyhyysmomenttiin $I_c = bd^3/12$, kun taivutusmuodonmuutokset ovat määrääviä. Jos $d/h > 2$, leikkausmuodonmuutokset ovat määrääviä ja suhteellinen jäykkyys on verrannollinen seinän poikkileikkausalaan bd . Leikkausmuodonmuutokset ovat määrääviä silloin kun jäykisteosat ovat huomattavan pitkiä verrattuna osien korkeuteen. Jotta leikkausmuodonmuutokset ovat määräävä tekijä, tulee jokaisen jäykistejärjestelmän osan täyttää ehto $d/h > 2$. Leikkausmuodonmuutokset voivat olla määrääviä isoissa rakennuksissa, jossa ei ole lyhyitä jäykistäviä seinä. /1/

Välipohjatason kiertokeskiö SC on pysty akseli, jonka suhteen tason oletetaan kiertyvän rungon vaakakuormien vaikutuksesta. Jokaisen jäykistysosan suhteellinen siirtymä on verrannollinen välipohjatason kiertokeskiöstä jäykistysosan vastaavaan keskiöön mitattuun etäisyyteen a . /1/

Jäykistysosan kiertokeskiö, SC_i on osan poikkileikkauksessa oleva piste, jonka sijainti riippuu poikkileikkauksen muodosta. Sen kautta kulkeva vaakavoima ei aiheuta vääntöä jäykistysosaan. Useimmiten kiertokeskiö on sama kuin poikkileikkauksen vääntökeskiö. Symmetrisissä poikkileikkauksissa keskiö sijaitsee poikkileikkauksen painopisteessä.

Kun seinät ovat keskenään yhden suuntaisia ja lisäksi vaakakuorman suuntaisia, masto- ja leikkausseinät saavat osuuden H_n vaakakuormasta H on

$$H_n = \left(\frac{I_n}{\sum I_i} \pm \frac{e * I_n * a_n}{\sum I_i * a_i^2} \right) * H \quad (3.1)$$

jossa

H_n seinä jossa

H_n seinän n reaktion n reaktio

I_n seinän n jäyhyysmomentti tarkastelusunnassa $\frac{b_n * d_n^3}{12}$ (3.2)

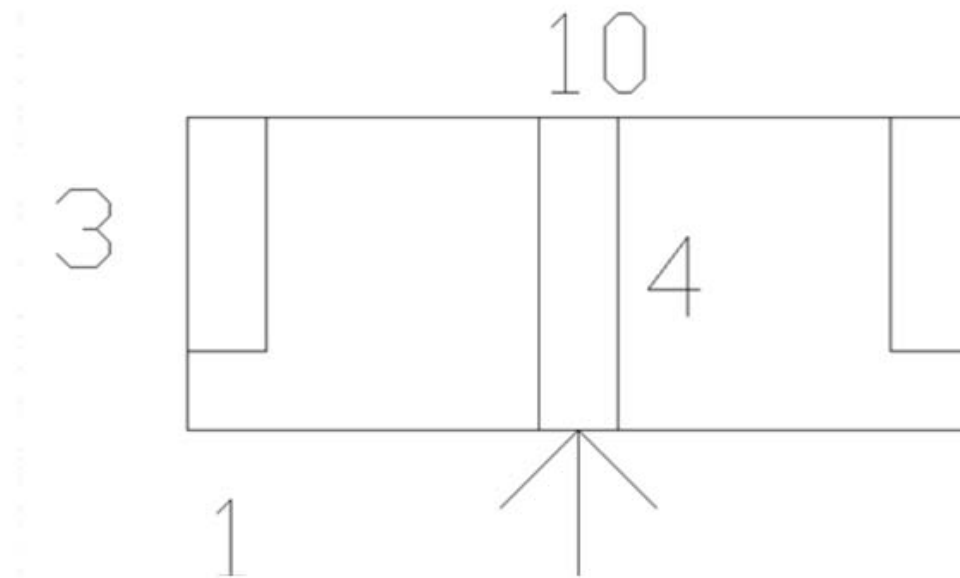
e vaakakuorman resultantin etäisyys kiertokeskiöstä SC

$$e_{SC} = \frac{a_1 * I_1 + \dots + a_{n-1} * I_{n-1} + a_n * I_n}{\sum I_n} \quad (3.3)$$

a_n etäisyys kiertokeskiöstä jäykistysosan n keskiöön, <0 kiertokeskiöstä vasemmalle.

Kierokeskiön paikka etsitään staattisen momentin avulla. Kun kokonaisvoima jakaantuu osien kesken niiden oletettujen jäykkyyksien suhteessa, staattiset momentit lasketaan

jäyhyysmomenttien $I_i = \frac{b_i * d_i^3}{12}$ suhteen. /1/



Kuva 1 Symmetrinen jäykistejärjestelmä /Pasi Happonen/

Esimerkki kuinka yhden jäykisterankenteen siirtäminen vaikuttaa kiertokeskiöön ja voimien jakaantumiselle.

$$I_1 = \frac{1 \cdot 3^2}{12} = 0,75$$

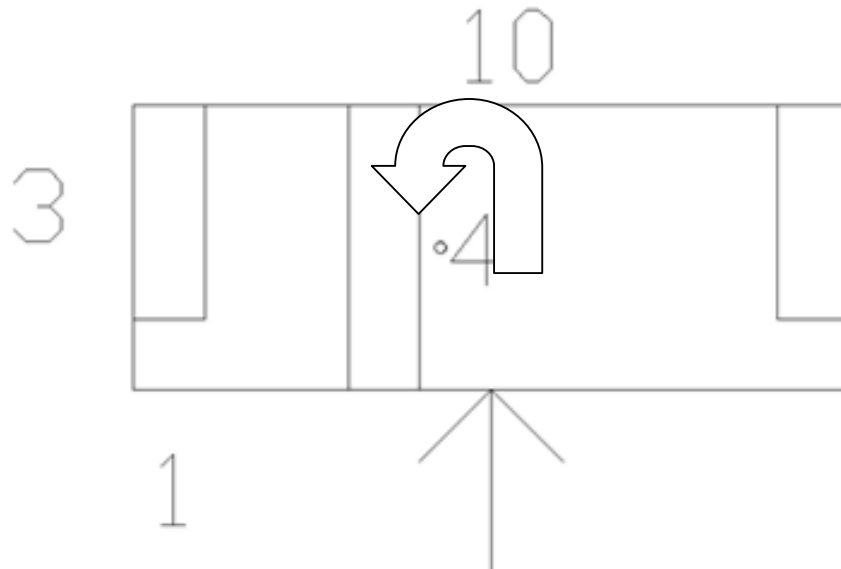
$$I_2 = \frac{1 \cdot 4^3}{12} = 1,33$$

$$I_3 = \frac{1 \cdot 3^3}{12} = 0,75$$

$$\frac{H_1}{H} = \frac{0,75}{2,83} = 0,265$$

$$\frac{H_2}{H} = \frac{1,33}{2,83} = 0,47$$

$$\frac{H_3}{H} = \frac{0,75}{2,83} = 0,265$$



Kuva 2 Epäsymmetrinen jäykistejärjestelmä /Pasi Happonen/

Keskimmäistä seinää siirretään 1,5 vasemmalle.

$$I_1 = \frac{1 \cdot 3^2}{12} = 0,75$$

$$I_2 = \frac{1 \cdot 4^3}{12} = 1,33$$

$$I_3 = \frac{1 \cdot 3^3}{12} = 0,75$$

SCpaikka

$$e_{sc} = \frac{0,75 \cdot 0,5 + 1,33 \cdot 6,5 + 0,75 \cdot 9,5}{2,83} = 5,71$$

$$e = 5 - 71 - 5 = 0,71$$

$$a_1 = 3,79$$

$$a_2 = 0,79$$

$$a_3 = 5,21$$

$$\sum I_i a_i^2 = 31,96$$

$$\frac{H_3}{H} = \frac{0,75}{2,83} + \frac{0,71 * 0,75 * 5,21}{31,96} = 0,35$$

$$\frac{H_2}{H} = \frac{1,33}{2,83} - \frac{0,71 * 1,33 * 0,79}{31,96} = 0,447$$

$$\frac{H_1}{H} = \frac{0,75}{2,83} - \frac{0,71 * 0,75 * 3,79}{31,96} = 0,20$$

Keskimmäisen seinän siirtämisestä johtuen kuormat eivät enää jakaudu jäykkyksien suhteen. Kiertokeskiöstä katsottuna voiman puolella olevat rakenteet saavat suurempaa kuormaa kuin aikaisemmin. Päinvastaisella suunnalla olevat rakenteet saavat pienempää kuormaa.

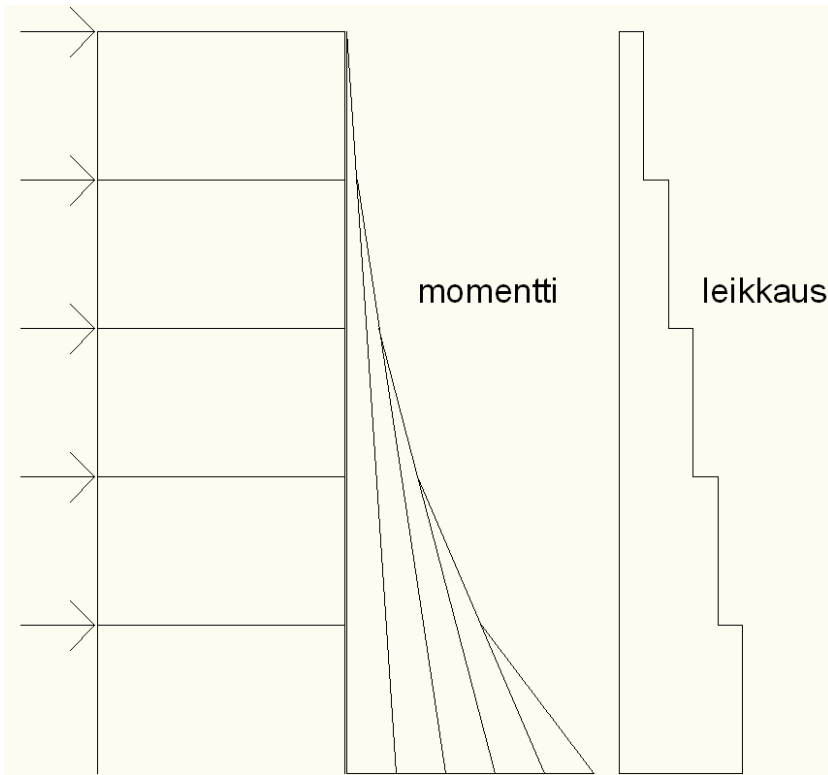
Jos jäykistysosan poikkileikkausmuoto on muu kuin suorakaide, esimerkiksi I-, T-, U- tai L-muoto, lasketaan jäyhyysmomentti kyseisen muodon mukaisesti, kun levyosat liittyvät kiinteästi toisiinsa, eli kun levyosien liitos kykenee siirtämään pystysuoria leikkausvoimia. /1/

Tällaisen osan kiertokeskiönä käytetään vääntökeskiötä, jota määritellään poikkileikkauksen pisteinä, jonka kautta kulkeva voima ei aiheuta vääntöä poikkileikkaukseen. Kaksoissymmetrisissä muodoissa vääntökeskiö ja painopiste ovat samassa paikassa. Ei suorakaiteen muotoiset jäykistysosat voidaan myös jakaa voimien suuntaisiin komponentteihin jolloin kukin osa ottaa vain itsensä suuntaisia vaakavoimia vastaan. Tällöin jäykisteosan tehokkuus kumpaankin suuntaan on pienempi kuin tarkastellessa ei suorakaiteen muotoisia osia. /1, s. 182-183./

3.2 Vaakavoimien kasaantuminen

Vaakavoimista johtuvat rasitukset ovat suurimmillaan rakennuksen alimmilla jäykisterakenteilla. Niin momentti kuin leikkausvoimakin kasaantuvat koko rakennuksen korkeudelta. Leikkausvoima koostuu koko rakennukselle tulevasta tuulikuormasta, sekä kullekin kerrokselle tulevasta lisävaakavoimasta. Alimmalle jäykisterakenteelle

tuleva momentti lasketaan käyttäen kerroskorkeuksia ja kullekin kerrokselle erikseen tulevia vaakavoimia. $F_1 \cdot k_1 + F_2 \cdot (k_1 + k_2) + F_3 \cdot (k_1 + k_2 + k_3) + F_n \cdot (k_1 + k_2 + \dots + k_n)$. /1, s.191./



Kuva 3 Momentin ja leikkauksen kasvaminen /Pasi Happonen/

4 KUORMAT

4.1 Pystykuormat

4.1.1 Pysyvät kuormat

Pysyviä pystykuormia ovat rakenteiden omat painot sekä maan massat. Väliaikaisia rakenteita ja maamassa käsitellään yleensä hetkellisinä kuormina.

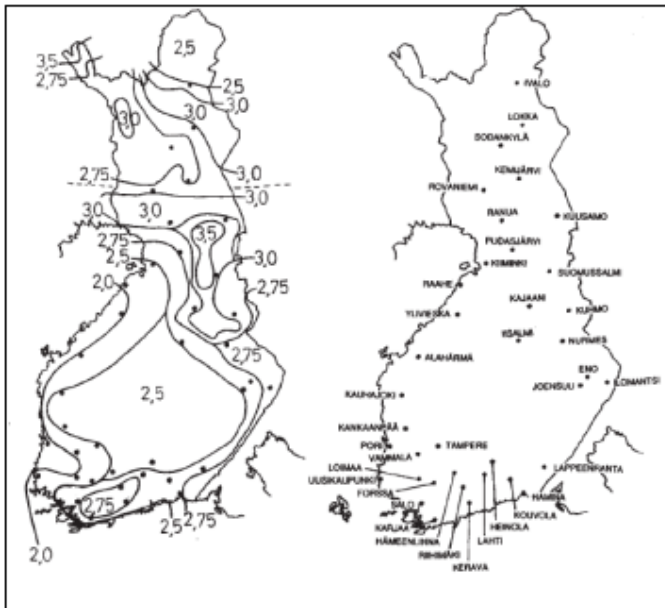
4.1.2 Lumikuorma

Lumi aiheuttaa yleensä pystykuormitusta. Lumikuormaan vaikuttavia tekijöitä ovat alueen lumikuorma maassa, alueen tuuli olosuhteet, kattorakenteiden lämmöneristävyyden, kattorakenteiden kaltevuudet sekä mahdolliset muut kinostumista edistävät rakenteet (esim. IV-konehuone). Katolle tuleva lumikuorma määritetään kaavasta

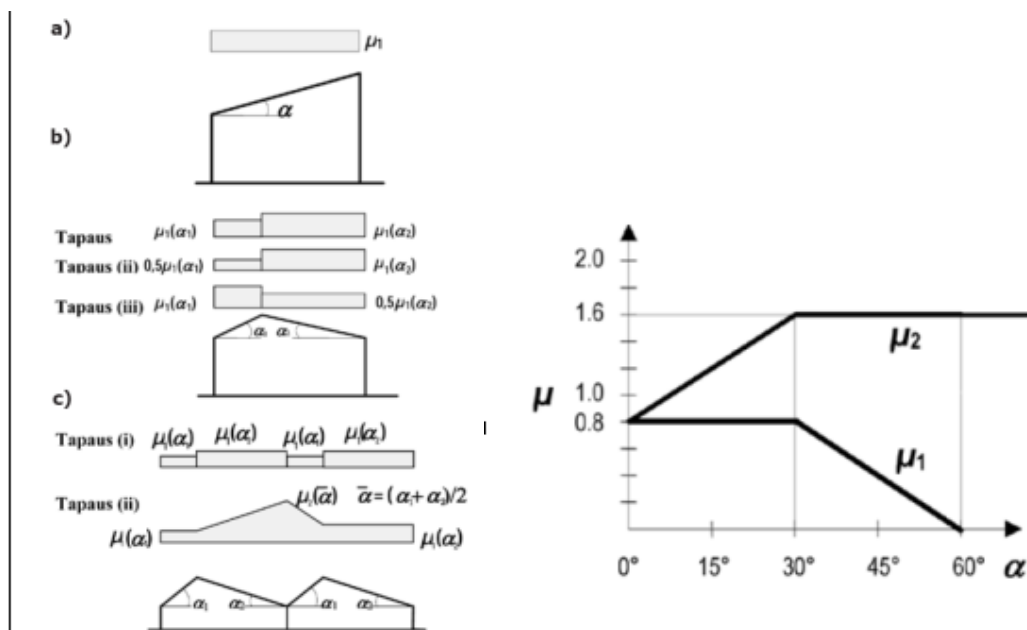
$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (4.1)$$

jossa

μ_i	lumikuorman muotokerroin
s_k	maassa olevan lumikuorman ominaisarvo
C_e	tuulensuojaisuuskerroin, 0,8 kun maastotyyppi on tuulinen, muuten arvo 1,0
C_t	lämpökerroin, tavallisesti arvo 1,0, jos katon lämmöneristävyyden on vähäistä, voidaan kerrointa C_t pienentää tarkemman selvityksen perusteella. /3/



Kuva 4 Lumikuorma maassa /3/



Kaavio 1 Kattojen lumikuorman muotokerroimet ja lumikuorman muotokerroin /3/

4.1.3 Hyötykuormat

Hyötykuormat johtuvat rakennuksen käytöstä. Henkilökäyttö, huonekalut, siirrettävät kohteet (varastoitavat tavarat, säiliöiden sisältö, siirrettävät väliseinät jne.), ajoneuvot. Henkilöiden kokoontumiset, huonekalujen kasaantuminen sekä tavaroiden pinoaminen ovat harvemmin tapahtuvia suurempaa hyötykuormaa aiheuttavia asioita, mutta

nämäkin on otettava huomioon. Liikennekuormia vaikuttavat yleensä autosuojissa, paikoitus- sekä pihatasoilla. /4/

Taulukko 1 yleisimpiä hyötykuormia /4, tietoa kerätty eri kohdista/

Tila	tasainen kuorma	pistekuorma
Asuintilat		
Lattiat	2	2
Portaat	2	2
Parvekkeet	2,5	2
Toimistotilat		
	2,5	2
Kokoontumistilat		
Pöytäalueet	2,5	3
Esteettömät alueet	4	4
Tungokselle alttiit tilat	6	4

Taulukossa on esitetty joitakin yleisimmistä tiloista ja niiden hyötykuormista.

Taulukosta näkee, että normaalien asuinrakennusten hyötykuormat ovat noin puolet kokoontumistiloihin jäytettävistä kuormista.

4.2 Vaakakuormat

4.2.1 Tuulikuorma

Tuulikuormat vaihtelevat ajan kuluessa, tästä johtuen laskennassa käytetään paineita ja voimien joukkoja jotka ovat samat kuin tuulenpuuskan suurimmat arvot.

Rakennukselle tulevaan tuulikuormaan vaikuttaa huomattavasti millaisessa ympäristössä rakennus on, avoimella maastolla tuulikuorma on suurempi kuin tiheään rakennetulla kaupunki alueella.

Maastoluokka 0: meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalua

Maastoluokka I: järvi tai alua, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä

Maastoluokka II: alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään 20-kertaisuuden etäisyydellä toisistaan.

Maastoluokka III: alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunki alueet, metsä)

Maastoluokka IV: alue, jolla on vähintään 15% alasta on takennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m

Tuulikuorma aiheuttaa painetta rakennusten ulkopinnoille, rakenteen huokoisuudesta johtuen myös rakenteen sisäpinnoille.

Rakenteen ulkopintoihin vaikuttava tuulen paine w_e [kN/m²] saadaan lausekkeesta

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} \quad (4.2)$$

jossa

w_e yksittäiseen pintaan korkeudella z_e vaikuttava ulkopuolinen paine

$q_p(z_e)$ puuskanopeuspaine

c_{pe} ulkoisen paineen painekerroin

z_e ulkoisen paineen nopeuspainekerroin

Rakenteen sisäpintoihin vaikuttava tuulen paine w_i [kN/m²] saadaan lausekkeesta

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} \quad (4.3)$$

w_i yksittäiseen pintaan korkeudella z_i vaikuttava ulkopuolinen paine

$q_p(z_i)$ puuskanopeuspaine

c_{pi} sisäpuolisen paineen painekerroin

z_i sisäpuolisen paineen nopeuspainekerroin ($=z_e$)

4.2.2 Matalat rakennukset

Rakennus on matala kun rakennuksen korkeus on pienempi kuin sen leveys ($h < b$).

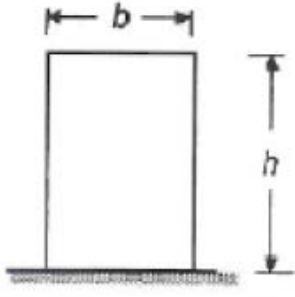
Oletetaan että rakenteille tulevat tuulikuormat ovat kaikkialla yhtä suuret kuin rakennuksen harjalla vallitseva tuulikuorma.

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(h) * A_{ref} \quad (4.4)$$

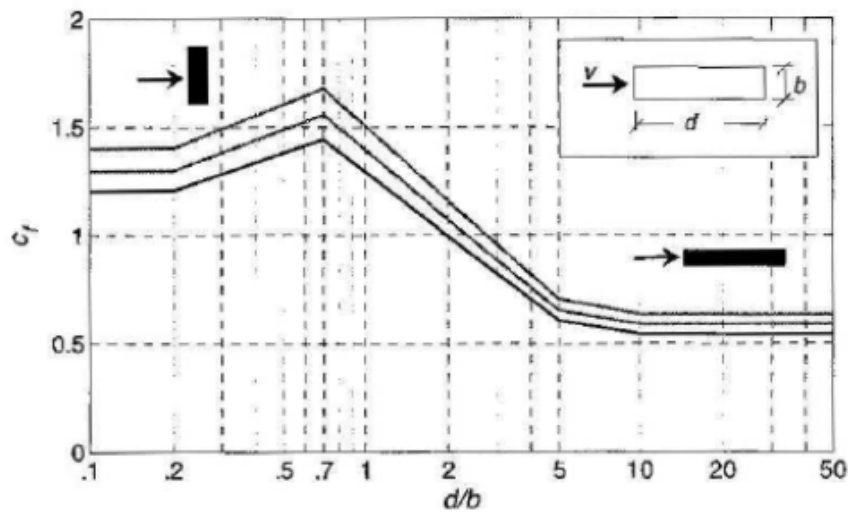
jossa

F_w	kokonaistuulivoima (kN)
$c_s c_d$	rakennekerroin
c_f	voimakerroin
$q_p(h)$	maaston pinnan muodon mukaan modifioitu nopeuspaine, joka määritetään rakennuksen harjan korkeudelle $z=h$
A_{ref}	tuulikuorman vaikutusala ($A_{ref}=b*h$), missä b on rakennuksen leveys ”tuulen näkemänä”

Matalilla rakennuksilla rakennekertoimelle $c_s c_d$ voidaan käyttää varmalla puolella olevaa arvoa 1. /5/

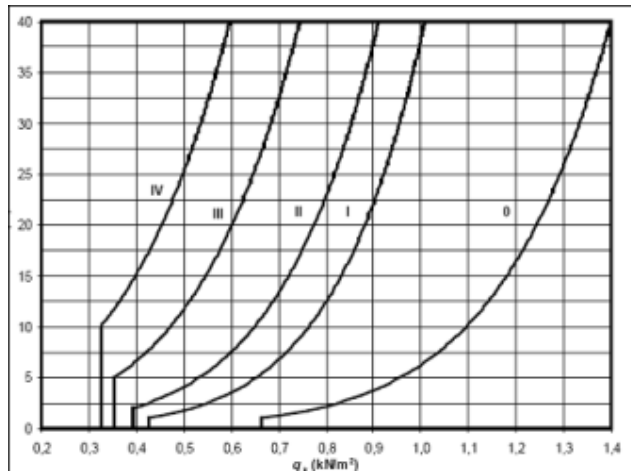
Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtsuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus λ
	kun $h < 15$ m, $\lambda = 2 h/b$ kun $h \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 h/b$ Välialueella $15 \text{ m} < h < 50$ m sovelletaan interpolointia. Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille $\lambda > 10$.

Kuva 5 Tehollinen hoikkuus λ suorakulmaisen poikkileikkauksen omaaville matalille ja korkeille rakennuksille. /6/



Kuva 6 Voimakerroin c_f terävsärmäisen suorakaidepoikkileikkauksen omaaville matalille ja korkeille rakennuksille. /6/

	voimakerroin c_f								
	sivusuhte d/b								
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,20	1,20	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



Kaavio 2 Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa /5 /

4.2.3 Korkeat rakennukset

Matalille rakennuksille käytetään yksinkertaistusta $c_s c_d = 1$, korkeiden rakennusten kohdalla tämä voi johtaa mitoituksessa tarpeettoman suureen kokonaistuulivoima arvoon. Korkeille rakennuksille on muuten sama laskentakaava, mutta rakennekerrointa tarkastellaan tarkemmin. /7/

$$F_w(z) = c_s c_d * c_f * q_p(z) * b \quad (4.5)$$

jossa

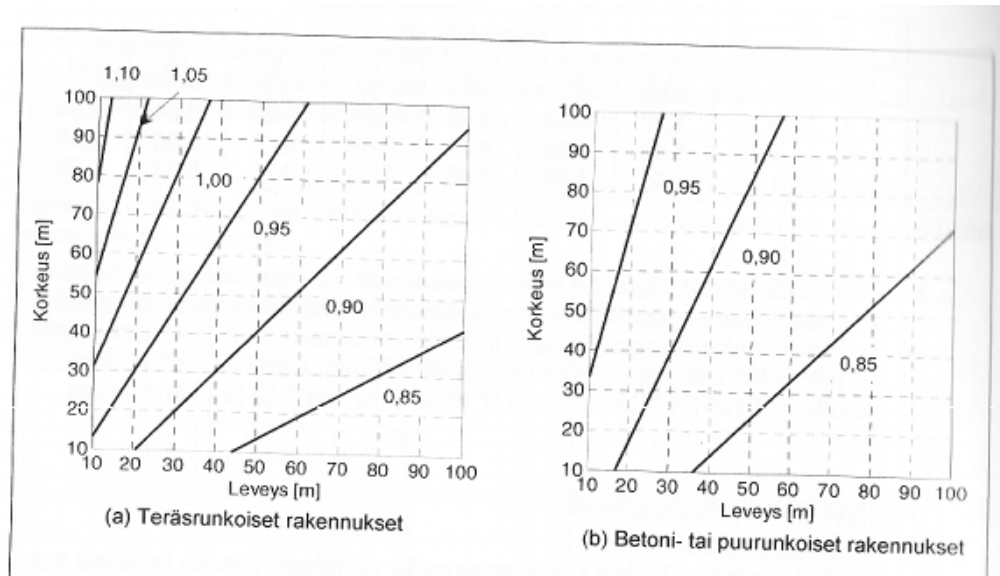
F_w kokonaistuulivoima (kN)

$c_s c_d$ rakennekerroin

c_f voimakerroin

$q_p(h)$ maaston pinnan muodon mukaan modifioitu nopeuspaine

b rakennuksen leveys /5/



Kaavio 3 Rakennekerroin /5/

4.2.4 Lisävaakavoima

Rakennuksen vinoudesta, sijaintivirheistä sekä kuormien epäedullisista vaikutussuunnista johtuen rakennusrunkoon syntyy ”ylimääräisiä” vaakavoimia, jotka on otettava huomioon mitoituksessa. Lisävaakavoima aiheuttaa leikkausrasitusta ja momenttia jäykisterakenteille. Lisävaakavoimasta syntyvät rasitukset ovat suurimmat alimman kerroksen jäykisterakenteilla, kerrosten momentit kasaantuvat niille.

Lisävaakavoimat jaetaan jäykisterakenteille niiden jäykkyyksien suhteessa. /6, s. 72-73/

Rakennuksen lyhyemmässä suunnassa:

$$F_{Hd1} = \frac{N_d}{150} \quad (4.6)$$

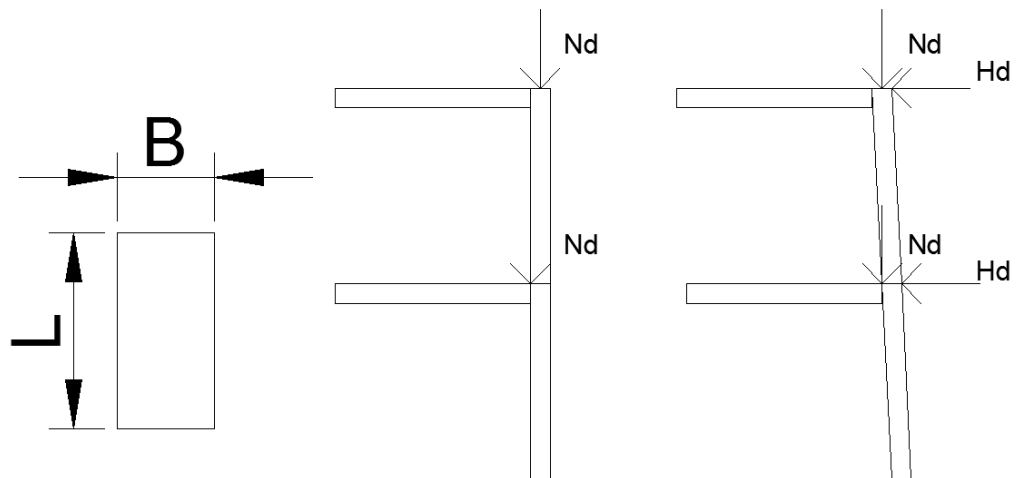
Rakennuksen pidemmässä suunnassa:

$$F_{Hd2} = \frac{B}{L} * \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} \quad (4.7)$$

jossa

F_{Hd1} ja F_{Hd2} lisävaakavoimien laskenta-arvot

N_d	Lisävaakavoiman aiheuttava pystykuorman laskenta-arvo
B	rakennuksen leveys
L	rakennuksen pituus



Kuva 7 lisävaakavoima /Pasi Happonen/

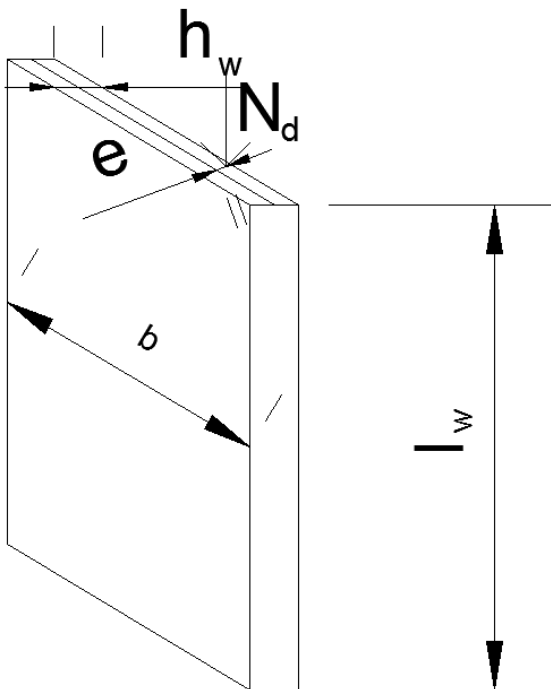
4.2.5 Muut vaakakuormat

Toispuoleinen maanpaine luetaan pysyväksi vaakavoimaksi. Poikkeuksen rakenteiden käyttöaikana siirrettävien maamassojen aiheuttama maanpaine sekä maansiirtotöiden yhteydessä vaikuttava maanpaine, jotka määritellään muuttuviksi ja liikkuviksi kuormiksi. Teollisuushalleissa ja varastorakennuksissa on huomioitava mahdollisten nostolaitteiden aiheuttamat jarrutuskuormat vaakavoimina.

5 SEINÄN MITOITUS

5.1 Raudoittamattoman seinän puristuslujuus

Seinää pidetään raudoittamattomana, jos siinä ei ole teräsbetoniseinän edellyttämää minimiteräsmäärää. Seinälle tuleva normaalivoima ei voi olla sellainen, että seinään aiheutuisi huomattavaa vetoa.



Kuva 8 Seinä /Pasi Happonen/

Suurakaidepoikkileikkauksen normaalivoimakestävyys N_{Rd} saadaan kaavasta

$$N_{Rd} = \eta f_{cd.pl} * b * h_w * \left(1 - \frac{2e}{h_w}\right) \quad (5.1)$$

jossa,

- $\eta f_{cd,pl}$ on puristuslujuuden tehollinen mitoitusarvo
- b on poikkileikkauksen kokonaisleveys
- h_w on poikkileikkauksen kokonaiskorkeus
- e on normaalivoiman N_{Ed} epäkeskisyyden korkeussuunnassa (h_w).

Epäkeskisyyden miniarvona voidaan käyttää arvoa $h_w/30$.

Puristuslujuuden mitoitusarvo saadaan kaavasta

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (5.2)$$

jossa,

- γ_c on betonin osavarmuusluku, normaalitilanteessa 1-luokan rakenteessa 1,35 ja 2-luokan rakenteessa 1,5. 1-luokan betonin lujuus on pienempi kuin 2-luokan, tämä johtuu tarkemmasta laadunvalvonnasta.
- α_{cc} on kerroin jolla otetaan huomioon puristuslujuuteen vaikuttava pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikuttamistavasta aiheutuvat epäedulliset tekijät. Suomessa käytetään arvoa 0,85

Epäkeskisyyden saadaan kaavasta

$$e_{tot} = e_0 + e_i \quad (5.3)$$

jossa,

- e_0 on ensimmäisen kertaluvun mukainen epäkeskisyyden, johon sisältyvät tarvittaessa välipohjien vaikutukset (esim. mahdolliset kiinnitysmomentit, jotka välittyvät laatasta seinään) ja vaakasuuntaisten kuormien vaikutukset.

e_i on lisäepäkeskisyys, joka kattaa mittaepätarkkuuksien vaikutukset

$$e_i = \theta_i * \frac{l_0}{2} \quad (5.4)$$

$$\theta_i = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m \quad (5.5)$$

jossa,

θ_0 on perusarvo = 1/200

α_h on pituuteen tai korkeuteen perustuva pienennyskerroin

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \quad (5.6)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * (1 + \frac{1}{m})} \quad (5.7)$$

l on pituus tai korkeus

m on jäykistejärjestelmän vaakavoimaan vaikuttavien pystyrakenteosien määrä. /7/

5.2 Raudoittamattoman seinän leikkauslujuus

Raudoittamattomissa betonirakenteissa voidaan betonin vetolujuus murtorajatilassa ottaa huomioon leikkaustarkasteluissa, mikäli haurasmurtumisen mahdollisuus voidaan laskennallisesti tai kokeellisesti osoittaa mahdottomaksi ja riittävä kestävyys voidaan varmistaa. Poikkileikkauksessa, johon vaikuttaa leikkausvoima V_{Ed} ja normaalivoima N_{Ed} , joka vaikuttaa puristettuna olevalla alueella A_{cc} käytetään mitoitusjännitysten itseisarvona

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{cc}} \quad (5.8)$$

$$\tau_{cp} = 1,5 * \frac{V_{Ed}}{A_{cc}} \quad (5.9)$$

Seuraavan ehdon voimassa olo tarkistetaan

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd} \quad (5.10)$$

missä,

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim} \quad f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cp} * f_{ctd,pl}} \quad (5.11)$$

$$\sigma_{cp} > \sigma_{c,lim} \quad f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cp} * f_{ctd,pl} - \left(\frac{\sigma_{cp} - \sigma_{c,lim}}{2}\right)^2} \quad (5.12)$$

missä,

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd,pl} - 2 * \sqrt{f_{ctd,pl} * (f_{ctd,pl} + f_{cd,pl})} \quad (5.13)$$

missä

f_{cvd} on leikkauksen ja puristuksen kuormittaman betonin mitoituslujuus

$f_{cd,pl}$ on puristetun betonin mitoituslujuus

$f_{ctd,pl}$ on vedetyn betonin mitoituslujuus

Betonista rakenneosaa voidaan pitää halkeilemattomana murtorajatilassa, jos se on kokonaan puristettu tai jos betonin päävetojännityksen itseisarvo on enintään arvon $f_{ctd,pl}$ suuruinen. /7/

5.3 Vaakasauman mitoitus

Kun vaakasaumaa mitoitetaan on tarkistettava ehto

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{W} < \sigma_{c2} = -\frac{N_g}{A} \quad (5.14)$$

jossa

σ_{c1} betonin reunajännitys kaatavasta momentista $\pm \frac{M_k}{W}$

M_k vaakavoimista aiheutuva kaatavamomentti seinälle

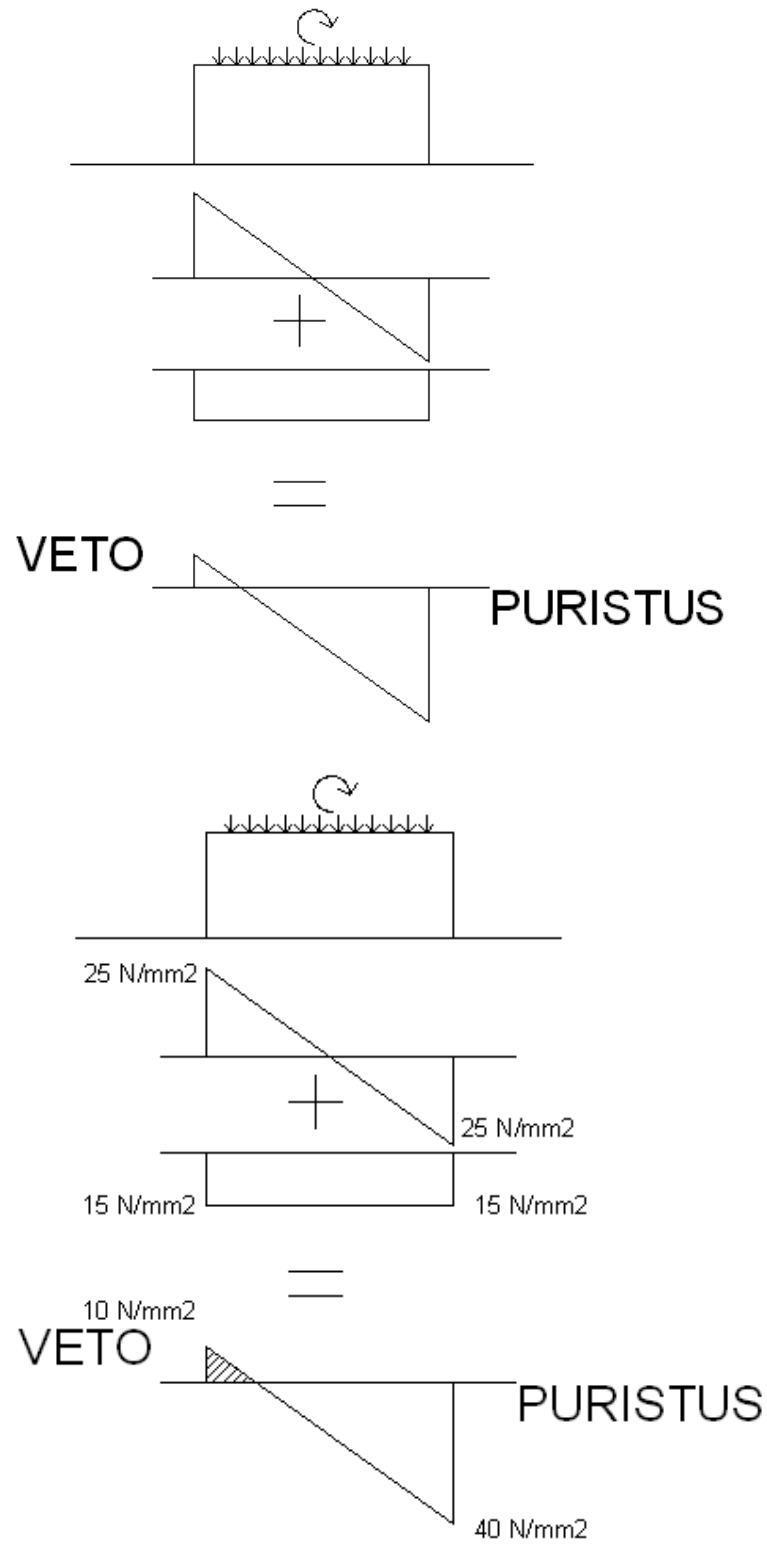
W $\frac{h * d^2}{6}$

σ_{c2} betonin jännitys pysyvästä pystykuormasta $-\frac{N_g}{A}$

N_g normaalivoima, joka vaikuttaa seinän saumassa

A leikkauksen pinta-ala pituusyksikköä kohden

Momentti aiheuttaa seinän toiselle sivulle puristusta ja toiselle vetoa. Seinän omapaino sekä yläpuolelta tulevat kuormat aiheuttavat seinän alapinnalle puristusta. Mikäli momentista johtuva vetorasitus on suurempi kuin pystykuorman aiheuttama puristus, sauma tarvitsee teräksen apua kestääkseen, Jos pystykuormasta aiheutuva puristus on suurempi kuin vetorasitus, koko seinän alareuna on puristettu ja ei terästä tarvita ottamaan vetorasitusta.



Kuva 9 Pystykuorman ja momentin vaikutus saumaan /Pasi Happonen/

Tässä esimerkissä normaalivoima aiheuttaa tasaista 15 N/mm^2 kuormitusta ja momentti 25 N/mm^2 jännitystä reunoille. Kun molemmat kuormitukset yhdistetään, saadaan vedon maksimiarvoksi 10 N/mm^2 . Lasketaan seinän kohta, jossa veto muuttuu puristukseksi. Reunajännitys *nollakohdan etäisyys *seinän paksuus= voima, jonka teräs tulee ottaa vastaan.

Vaakavoimat siirtyvät elementtien välillä ensisijaisesti kitkan avulla. Maksimikitkavoima vaakavoimia siirtämään saadaan kaavasta

$$V_{uc} = \mu_c * N_c > Q_k \quad (5.15)$$

jossa

μ_c kitkakerroin käyttörajatilassa, betonille 0,27

N_c Normaalivoiman minimiarvona voidaan käyttää rakenteiden painosta laskettua stabiloivaa pystykuormaa. Seinän ja välipohjan kuormat.

Q_k seinälle tuleva osuus vaakavoimien summasta

Jos betoni ei kykene siirtämään kaikkea voimaa itse, ylimenevälle osalle tarvitaan $Q_k - V_{uc}$ verran apuja.

Leikkausjännitys vaakasauman puristetussa osassa on pienempi kuin saumabetonin vetolujuuden laskenta-arvo (f_{ctd}). Seinän poikkileikkaus on kokonaan puristettu murtorajatilassa, jolloin leikkausjännitys saa arvon

$$\tau = \frac{V_d}{b * h} < f_{ctd} \quad (5.16)$$

V_d Q_d

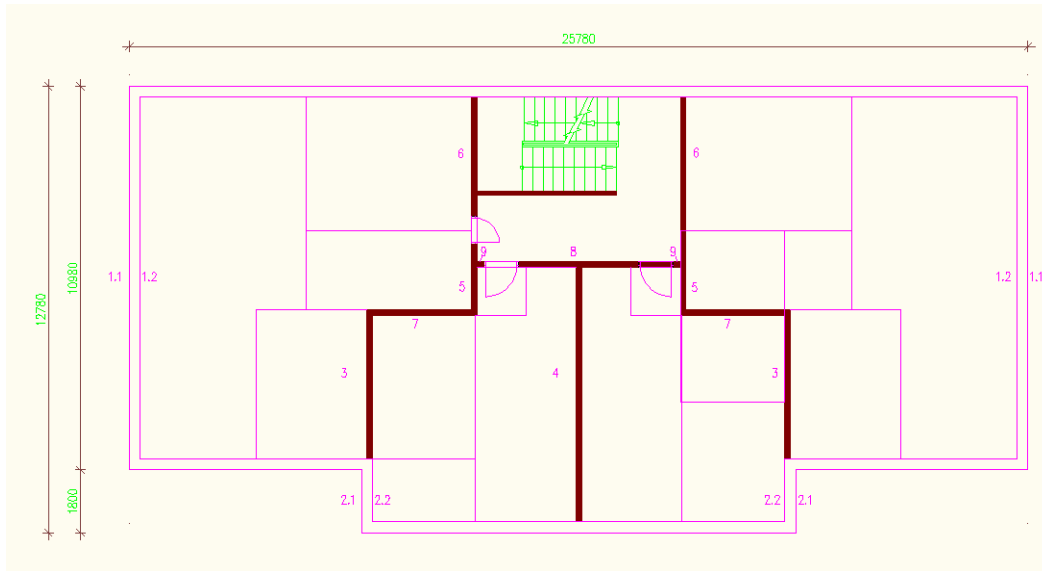
b seinän pituus

h seinän leveys

f_{ctd} saumabetonin leikkauslujuus

Mikäli kitkavoima ei riitä, siirretään osa vaakavoimista esim. saumaan sijoitetuilla vaarnatapeilla. Voima, jonka vaarnatapit ottavat vastaan saadaan kaavasta $f_{ctd} = \tau \cdot l/2$

6 TYÖN KÄSIN LASKENNAN TULOKSIA



Kuva 10 Esimerkki rakennuksen pohja /Pasi Happonen/

6.1 Rakenteet

Rakennuksen seinät ovat kolmea eri tyyppiä, kantavaa sandwich-elementtiä, ei kantavaa sandwich-elementtiä sekä betonisia väliseinäelementtejä. Kantava sandwich-elementti koostuu 80 mm:n ulkokuoresta, 150 mm:n eristeestä ja 160 mm:n kantavasta sisäkuoresta. Ei-kantava sandwich-elementti on muuten samanlainen, mutta sisäkuori on 100 mm. Väliseinäelementit ovat 160 mm paksuja. Rakennuksessa on välipohjana 220 mm paksua betonia. Laskennassa on käytetty betonin tiheytenä 25kN/m^3 ja eristeen 1kN/m^3 .

US1 (kantava)	80 betoni
	150 eriste
	160 betoni

$$(0,08m * 25 \frac{kN}{m^3} + 0,15m * 1 \frac{kN}{m^3} + 0,16m * 25 \frac{kN}{m^3}) = 6,15 \frac{kN}{m^2}$$

US2 (ei kantava) 80 betoni

150 eriste

100 betoni

$$(0,08m * 25 \frac{kN}{m^3} + 0,15m * 1 \frac{kN}{m^3} + 0,16m * 25 \frac{kN}{m^3}) = 4,65 \frac{kN}{m^2}$$

VS (kantava) 160 betoni

$$(0,16m * 25 \frac{kN}{m^3}) = 4,0 \frac{kN}{m^2}$$

VP 220 betoni

$$0,22 * 25 \frac{kN}{m^3} * 305,5m^2 = 1680kN$$

Rakennusta jäykistävät kerrosten väliset laatastot, kantavat ulkoseinät (1 ja 2) sekä kantavat väliseinät (3-9). Laskentaa helpottaakseni seinät on katkaistu osiin ovien kohdilta. Aukkojen yläpuolisia betoniosia ei ole huomioitu jäykistäviksi rakenteiksi. Lisäksi kaksi väliseinää numero 9 on jätetty huomioimatta, koska ne ovat pilareita ja niiden jäykisteominaisuudet ovat heikot.

6.2 Jäykistäminen

Laskennallisista syistä valitaan (0,0) koordinaatiksi rakennuksen vasemman päädyn sekä alalaidan seinän ulkokuorien ulkopinnan risteyskohta. Kullekin seinälle tulevan voiman laskemiseen tulee tietää seinän asema tasolla, leveys ja pituus sekä paikka, johon tuleva vaakavoima vaikuttaa. Koordinaatistoa hyväksi käyttäen on saatu kullekin jäykistejärjestelmässä mukana olevalle seinälle arvoja.

seinä	h	y alku	y loppu	x alku	x loppu	a
1	160	1800	12780	230	230	12,66
2	160	0	1800	6890	6890	6
1	160	1800	12780	25550	25550	-12,66
2	160	0	1800	18890	18890	-6
3	160	1800	6080	18890	18890	-6
3	160	1800	6080	6890	6890	6
4	160	0	7280	12890	12890	0
5	160	6080	8100	9890	9890	3
5	160	6080	8100	15890	15890	-3
6	160	9360	12780	9890	9890	3
6	160	9360	12780	15890	15890	-3
7	160	6310	6310	6660	9660	0,08
7	160	6310	6310	6660	9660	0,08
8	160	7670	7670	10740	14180	-1,28

Luvuista saadaan selville jokaisen seinän paksuus, pituus sekä asema tasolla. Vaakavoiman paikaksi tulee rakennuksen puoliväli, joka löytyy pisteestä (12890, 0) ja (0, 6390). Laskentaa varten tulee tietää rakennuksen kauimmainen piste (oikean puoleisin piste katsottuna rakennuksen pituus suunnassa ja päädystä katsottuna). Näillä tiedoilla voidaan laskea kunkin seinän osuus vaakavoimasta.

6.2.1 Vaakavoiman jakautuminen pidemmällä sivulla

$$I_i = \frac{b_i * d_i^3}{12}$$

$$I_1 = \frac{0,16 * 10,98^3}{12} = 17,65 \quad I_4 = \frac{0,16 * 7,28^3}{12} = 5,144$$

$$I_2 = \frac{0,16 * 1,8^3}{12} = 0,078 \quad I_5 = \frac{0,16 * 2,02^3}{12} = 0,110$$

$$I_3 = \frac{0,16 * 4,28^3}{12} = 1,045 \quad I_6 = \frac{0,16 * 3,42^3}{12} = 0,533$$

$$\sum I = 2 * (I_1 + I_2 + I_3 + I_5 + I_6) + I_5 = 43,977$$

$$\sum I_i * a_i^2 = \dots = 5750$$

$$e_{SC} = \frac{a_1 * I_1 + \dots + a_5 * I_5 + a_6 * I_6 + a_6 * I_6}{\sum I_n} = \frac{566,87}{43,977} = 12,89$$

$$e = \frac{25780}{2} - 12890 = 0$$

$$H_n = \left(\frac{I_n}{\sum I_i} \pm \frac{e * I_n * a_n}{\sum I_i * a_i^2} \right) * H$$

$$\frac{H_1}{H} = \left(\frac{17,65}{43,98} \pm \frac{0 * 17365 * 12,66}{5750} \right) = 0,40$$

e:n arvoksi saadaan 0, eli vaakavoima jakaantuu seinien jäykkyyksien suhteen

$$\frac{H_2}{H} = \left(\frac{0,078}{43,98} \right) = 0,0018$$

$$\frac{H_4}{H} = \left(\frac{5,14}{43,98} \right) = 0,117$$

$$\frac{H_5}{H} = \left(\frac{0,11}{43,98} \right) = 0,0025$$

$$\frac{H_3}{H} = \left(\frac{1,045}{43,98} \right) = 0,024$$

$$\frac{H_6}{H} = \left(\frac{0,533}{43,98} \right) = 0,012$$

Seinille tulevien reaktioiden summaksi saadaan 99,96%.

6.2.2 Vaakavoiman jakautuminen lyhyemmällä sivulla

$$/_7 = \frac{0,16 * 3,00^3}{12} = 0,36$$

$$/_8 = \frac{0,16 * 3,44^3}{12} = 0,54$$

$$\sum I = 2 * I_7 + I_8 = 1,26$$

$$\sum I_i * a_i^2 = \dots = 0,57$$

$$e_{SC} = \frac{a_7 * I_7 * a_7 * I_7 + a_8 * I_8}{\sum I_n} = 5885$$

$$e = \frac{12780}{2} - 5885 = 505$$

$$H_n = \left(\frac{I_n}{\sum I_i} \pm \frac{e * I_n * a_n}{\sum I_i * a_i^2} \right) * H$$

$$\frac{H_7}{H} = \left(\frac{0,36}{1,26} \pm \frac{0,505 * 0,36 * 0,584}{0,57} \right) = 0,1$$

$$\frac{H_8}{H} = \left(\frac{0,54}{1,26} \pm \frac{0,505 * 0,54 * -0,775}{0,57} \right) = 0,8$$

6.3 Kuormat

6.3.1 Pystykuormat

Hyötykuorma: kerroksen ala on 305,5 m². Rakennuksen ollessa asuinrakennus, hyötykuorman laskenta-arvoksi saadaan 2 kN/m². Asuinkerroksilta tulee hyötykuormaa 611 kN.

Oletetaan rakennuksen olevan Kuopiossa, jolloin maassa olevaksi lumikuormaksi saadaan 2,5 kN/m². Rakennuksessa on tasakatto, katon muotokertoimeksi tulee 0,8 ja tästä johtuen katolla oleva lumikuorma saa arvon 2 kN/m².

Rakenteiden kuormat:

Välipohja: 1680 kN

US1: 6,15 kN/m²*3m*25.560=471,58 kN

VS: 4,0 kN/m²*3m*36,16m=434 kN

6.3.2 Vaakakuormat

Tuuli: maastoluokka III, esikaupunki alue. Rakennus on matala, leveys on suurempi kun korkeus.

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(h) * A_{ref}$$

$$1 * 1,5 * 0,55 * 1 = 0,825 \text{ kN/m}^2$$

Yhdelle kerrokselle tuleva tuulikuorma

$$3\text{m} * 25,78\text{m} * 0,825\text{kN/m}^2 = 63,8 \text{ kN}$$

$$3\text{m} * 12,78\text{m} * 0,825\text{kN/m}^2 = 31,65 \text{ kN}$$

Lisävaakavoima: Tarkastellessa jäykisterakenteita rakenteiden omapaino toimii eduksi. Tästä johtuen vaarallisin kuormitustapaus on rakennuksen ollessa valmis, mutta sen ollessa tyhjiällä. Rakenteiden omanpainon toimiessa eduksi on niiden osavarmuuskertoimena 0,9.

seinä	0,9*omapaino	0,9*vp
1	182,3	213,8
2	29,9	26,2
1	182,3	213,8
2	29,9	26,2
3	46,2	133,7
3	46,2	133,7
4	78,6	193,1
5	21,8	26,7
5	21,8	26,7
6	36,9	49,0
6	36,9	49,0
7	32,4	73,3
7	32,4	73,3
8	37,2	44,6

Seinien kuorma 815 kN ja välipohjan 1512,3 kN

Ylimmälle kerrokselle tulee ainoastaan kuormaa yläpohjalta.

Rakennuksen lyhyemmässä suunnassa:

$$F_{Hd1} = \frac{N_d}{150} = \frac{1512,3}{150} = 10,1kN$$

Rakennuksen pidemmässä suunnassa

$$F_{Hd2} = \frac{B}{L} * \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} = \frac{12780}{25780} * \frac{1512,3}{150} = 5,0kN \geq \frac{1512,3}{250} = 6,05kN$$

Muille kuin ylimmälle kerrokselle

Rakennuksen lyhyemmässä suunnassa:

$$F_{Hd1} = \frac{N_d}{150} = \frac{815 + 1512,3}{150} = 15,5kN$$

Rakennuksen pidemmässä suunnassa

$$F_{Hd2} = \frac{B}{L} * \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} = \frac{12780}{25780} * \frac{2327,3}{150} = 7,69kN \geq \frac{2327,3}{250} = 9,31kN$$

6.3.3 Koko rakennuksen vaakavoimat

H_g Pysyvistä kuormasta johtuva lisävaakavoima

H_q Muuttuvasta kuormasta johtuva lisävaakavoima

W_k Tuulesta johtuva lisävaakavoima

Q_k Leikkausvoima

M_k Momentti

↑ pidemmässä suunnassa							
	H_g	H_q	ΣH	W_k	$F = \Sigma H + W_k F_d$		kk (m)
5	10,1	0	10,1	63,8055	73,9055	106,1618	15
4	15,5	0	15,5	63,8055	79,3055	111,7508	12
3	15,5	0	15,5	63,8055	79,3055	111,7508	9
2	15,5	0	15,5	63,8055	79,3055	111,7508	6
1	15,5	0	15,5	63,8055	79,3055	111,7508	3
						Qk	391,1275
						Mk	3487,748

⇒ lyhyemmässä suunnassa							
	H_g	H_q	ΣH	W_k	$F = \Sigma H + W_k F_d$		kk (m)
5	6,05	0	6,05	31,65	37,7	53,73675	15
4	9,31	0	9,31	31,65	40,96	57,11085	12
3	9,31	0	9,31	31,65	40,96	57,11085	9
2	9,31	0	9,31	31,65	40,96	57,11085	6
1	9,31	0	9,31	31,65	40,96	57,11085	3
						Qk	201,54
						Mk	1794,3

6.4 Seinien mitoitusta

Valitaan seinät 1, 4 ja 8 tarkempaa tarkastelua varten. Nämä seinät ottavat suurimman osan rakennuksen kuormista. Jos jonkin seinän kapasiteetit ylittyvät, se on yksi näistä seinistä.

6.4.1 Seinä 1

Raudoittamattoman seinän puristuslujuus

Ensimmäisen kerroksen seinälle 1 tulevat kuormat. Kuorma tulee viiden kerroksen seinistä sekä neljästä välipohjasta ja yhdestä yläpohjasta.

$$4 \cdot 1,15 \cdot 10,89 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 6,15 \text{ kN/m}^2 = 925 \text{ kN}$$

$$5 \cdot 1,15 \cdot 43,2 \text{ m}^2 \cdot 5,5 \text{ kN/m}^2 = 1366 \text{ kN}$$

$$5 \cdot 1,5 \cdot 43,2 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ kN/m}^2 = 648 \text{ kN}$$

Yhteensä 2939 kN

$$N_{Rd} = 22,037 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 10890 \text{ mm} \cdot 160 \text{ mm} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 9 \text{ mm}}{160 \text{ mm}}\right) = 34077 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,35} = 22,037 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

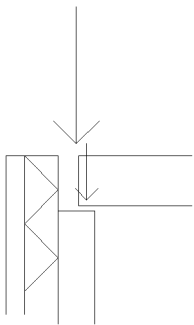
Epäkeskisyys saadaan kaavasta

$$e_{tot} = 6,15 \text{ mm} + 2,625 \text{ mm} = 8,775 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

jossa,

$$e_0 = e_{f1} + \left(1 - \frac{f_1}{f_1 + f_2}\right) \cdot (e_{f1} - e_{f2})$$

$$e_0 = 0 \text{ mm} + \left(1 - \frac{2543,3}{2543,3 + 402,9}\right) \cdot (45 \text{ mm} - 0 \text{ mm}) = 6,15 \text{ mm}$$



Kuva 11 Periaatekuva seinän 1 kuormituksesta /Pasi Happonen/

$$e_i = 0,0025 \cdot \frac{2100}{2} = 2,625 \text{ mm}$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} * \frac{2}{3} * 0,739 = 0,0025$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{10,89}} = 0,604; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{11}\right)} = 0,739$$

Seinän puristuskerstävyys on 34 000 kN ja seinälle tuleva kuorma on 3 000 kN. Seinän käyttöaste jää alle 10 %.

Leikkauslujuus

$$4 * 10,89 \text{m} * 3 \text{m} * 6,15 \text{kN/m}^2 = 804 \text{ kN}$$

$$5 * 43,2 \text{m}^2 * 5,5 \text{kN/m}^2 = 1188 \text{ kN}$$

Yhteensä 1992 kN

$$\sigma_{cp} = \frac{1992000 \text{N}}{160 \text{mm} * 10890 \text{mm}} = 1,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{cp} = 1,5 * \frac{0,4 * 391100 \text{N}}{160 \text{mm} * 10890 \text{mm}} = 0,135 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Seuraavan ehdon voimassa olo tarkistetaan

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd} > 0,135 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 2,125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,\text{lim}} \quad f_{cvd} = \sqrt{1,63^2 + 1,14 * 1,63} = 2,125$$

$$\sigma_{c,\text{lim}} = 22,03 - 2 * \sqrt{1,63 * (1,63 + 22,03)} = 9,61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Seinä kykenee ottamaan 2,125 N/mm² leikkausta ja kuormasta tuleva leikkaus on 0,135 N/mm². Noin 6 % kapasiteetista on käytössä.

Vaakasauma

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{W} < \sigma_{c2} = -\frac{N_g}{A}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{(0,4 * 3487,7) * 10^6 \text{ Nmm}}{160 * 10890^2} < \sigma_{c2} = -\frac{1992000 \text{ N}}{160 * 10890 \text{ mm}^2}$$

$$0,441 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maksimikitkavoima vaakavoimia siirtämään saadaan kaavasta

$$V_{uc} = \mu_c * N_c > Q_k$$

$$V_{uc} = 0,27 * 1992000 = 537840 \text{ N} > 143700 \text{ N}$$

26,7 % kitkan kumoamasta vetorasituksesta on käytössä.

Saumabetonin vetolujuus

$$\tau = \frac{V_d}{b * h} < f_{ctd}$$

$$\tau = \frac{156440 \text{ N}}{160 \text{ mm} * 10890 \text{ mm}} = 0,089 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1,63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

6.4.2 Seinä 4

Raudoittamattomanseinän puristuslujuus

Ensimmäisen kerroksen seinälle 4 tulevat kuormat. Kuorma tulee viiden kerroksen seinistä sekä neljästä välipohjasta ja yhdestä yläpohjasta.

$$4 * 1,15 * 7,28 \text{ m} * 3 \text{ m} * 4 \text{ kN/m}^2 = 402 \text{ kN}$$

$$5 \cdot 1,15 \cdot 39 \text{m}^2 \cdot 5,5 \text{kN/m}^2 = 1234 \text{ kN}$$

$$5 \cdot 1,5 \cdot 39 \text{m}^2 \cdot 2 \text{kN/m}^2 = 585 \text{ kN}$$

Yhteensä 2 221 kN

$$N_{Rd} = 22,037 \frac{N}{\text{mm}^2} * 7280 \text{mm} * 160 \text{mm} * \left(1 - \frac{2 * 5,3 \text{mm}}{160 \text{mm}}\right) = 23968 \text{kN}$$

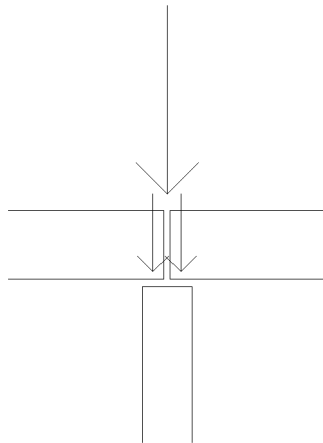
$$f_{cd} = 22,037 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Epäkeskisyys saadaan kaavasta

$$e_{tot} = 2,877 \text{mm}$$

e:n minimiarvona käytetään $h_w/30 = 5,33 \text{ mm}$

e_0 kuormat tulevat symmetrisesti, joten $e_0 = 0$



Kuva 12 Periaatekuva seinän 4 kuormituksesta /Pasi Happonen/

$$e_i = 0,00274 * \frac{2100}{2} = 2,877 \text{ mm}$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} * 0,741 * 0,739 = 0,00274$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{7,28}} = 0,741; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * (1 + \frac{1}{11})} = 0,739$$

Seinän puristuskerstävyys on 23 900 kN ja seinälle tuleva kuorma on 2 230 kN. Seinän käyttöaste jää alle 10 %.

Leikkauslujuus

$$4 * 7,28 \text{ m} * 3 \text{ m} * 4 \text{ kN/m}^2 = 350 \text{ kN}$$

$$5 * 39 \text{ m}^2 * 5,5 \text{ kN/m}^2 = 1073 \text{ kN}$$

Yhteensä 1423 kN

$$\sigma_{cp} = \frac{1423000 \text{ N}}{160 \text{ mm} * 7280 \text{ mm}} = 1,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{cp} = 1,5 * \frac{0,117 * 391100 \text{ N}}{160 \text{ mm} * 7280 \text{ mm}} = 0,058 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Seuraavan ehdon voimassa olo tarkistetaan

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd} > 0,058 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 2,136 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim} \quad f_{cvd} = \sqrt{1,63^2 + 1,22 * 1,63} = 2,15$$

$$\sigma_{c,lim} = 22,03 - 2 * \sqrt{1,63 * (1,63 + 22,03)} = 9,61 \frac{N}{mm^2}$$

Seinä kykenee ottamaan 2,15 N/mm² leikkausta ja kuormasta tuleva leikkaus on 0,058 N/mm². Kapasiteetista on alle 3 % käytössä.

Vaakasauma

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{W} < \sigma_{c2} = -\frac{N_g}{A}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{408 * 10^6 \text{ Nmm}}{160 * 7280^2} < \sigma_{c2} = -\frac{1423000N}{160 * 7280 \text{ mm}^2}$$

$$0,288 \frac{N}{mm^2} < 1,22 \frac{N}{mm^2}$$

Maksimikitkavoima vaakavoimia siirtämään saadaan kaavasta

$$V_{uc} = \mu_c * N_c > Q_k$$

$$V_{uc} = 0,27 * 1423000 = 384210N > 45760N$$

Saumabetonin vetolujuus

$$\tau = \frac{V_d}{b * h} < f_{ctd}$$

$$\tau = \frac{45760N}{160mm * 7280mm} = 0,039 \frac{N}{mm^2} < 1,63 \frac{N}{mm^2}$$

6.4.3 Seinä 8

Raudoittamattomanseinän puristuslujuus

Ensimmäisen kerroksen seinälle 4 tulevat kuormat. Kuorma tulee viiden kerroksen seinistä sekä neljästä välipohjasta ja yhdestä yläpohjasta.

$$4 * 1,15 * 3,44 \text{ m} * 3 \text{ m} * 4 \text{ kN/m}^2 = 190 \text{ kN}$$

$$5 * 1,15 * 9 \text{ m}^2 * 5,5 \text{ kN/m}^2 = 285 \text{ kN}$$

$$5 * 1,5 * 9 \text{ m}^2 * 2 \text{ kN/m}^2 = 135 \text{ kN}$$

Yhteensä 610 kN

$$N_{Rd} = 22,037 \frac{N}{\text{mm}^2} * 3440 \text{ mm} * 160 \text{ mm} * \left(1 - \frac{2 * 6,74 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} \right) = 11107 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 22,037 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$e_{tot} = 4,3 \text{ mm} + 2,44 \text{ mm} = 6,74 \text{ mm}$$

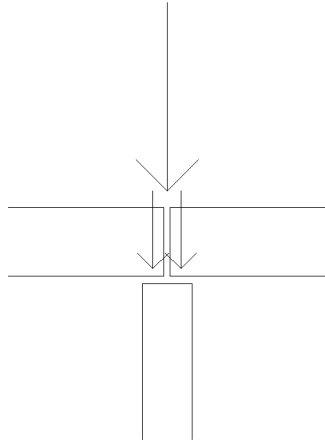
Epäkeskisyys saadaan kaavasta

e:n minimiarvona käytetään $h_w/30 = 5,33 \text{ mm}$

$$e_0 = e_{f1} + \left(1 - \frac{f_1}{f_1 + f_2} \right) * (e_{f1} - e_{f2})$$

$$e_0 = 0 \text{ mm} + \left(1 - \frac{576,5}{576,5 + 33,1} \right) * (45 \text{ mm} - 0 \text{ mm}) = 2,44 \text{ mm}$$

Seinän toiselta puolelta tulee kuormaa 8,85 m² alalta ja toiselta 5,3 m². Kuormat kumoavat toisiaan siten että toiselle puolelle jää epäkeskistä kuormaa 3,55 m² alueelta. Suoraan ylhäältä tulevaa kuormaa on 576,5 kN ja 33,1 kN 45 mm epäkeskisesti.



Kuva 13 Periaatekuva seinän 8 kuormituksesta /Pasi Happonen/

$$e_i = 0,0041 * \frac{2100}{2} = 4,3mm$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} * 1 * 0,817 = 0,0041$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{3,44}} = 1,08; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * (1 + \frac{1}{3})} = 0,817$$

Seinän puristuskerstävyys on 11 100 kN ja seinälle tuleva kuorma on 610 kN. Seinän käyttöaste jää alle 6 %.

Leikkauslujuus

$$4 * 3,44m * 3m * 4kN/m^2 = 165 \text{ kN}$$

$$5 * 9m^2 * 5,5kN/m^2 = 248 \text{ kN}$$

Yhteensä 413 kN

$$\sigma_{cp} = \frac{413000N}{160mm * 3440mm} = 0,75 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{cp} = 1,5 * \frac{0,8 * 185640N}{160mm * 3440mm} = 0,405 \frac{N}{mm^2}$$

Seuraavan ehdon voimassa olo tarkistetaan

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd} > 0,405 \frac{N}{mm^2} \leq 1,97 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim} \quad f_{cvd} = \sqrt{1,63^2 + 0,75 * 1,63} = 1,97$$

$$\sigma_{c,lim} = 22,03 - 2 * \sqrt{1,63 * (1,63 + 22,03)} = 9,61 \frac{N}{mm^2}$$

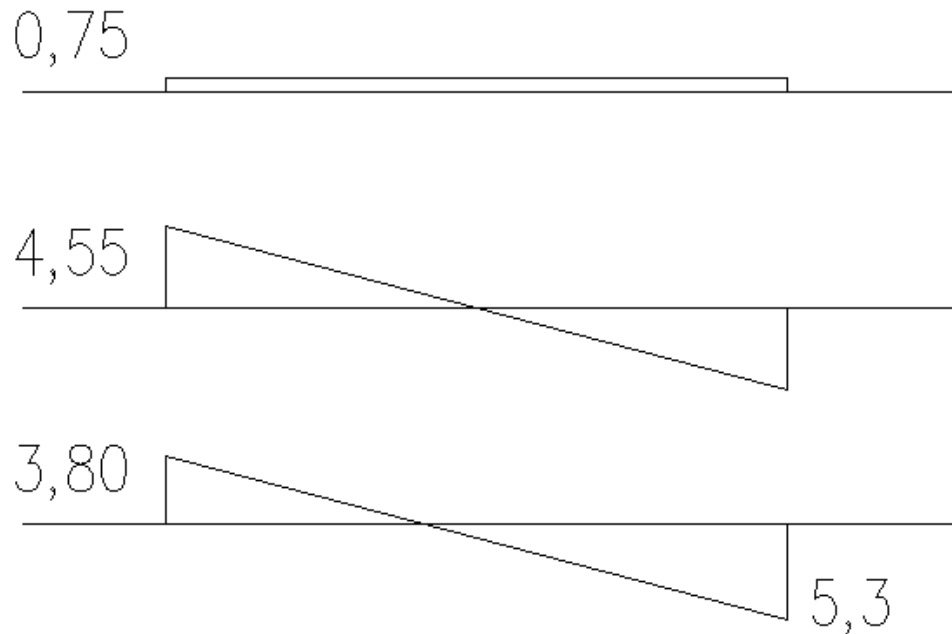
Seinä kykenee ottamaan 1,97 N/mm² leikkausta ja kuormasta tuleva leikkaus on 0,405 N/mm². Kapasiteetista on 21 % käytössä.

Vaakasauma

$$\sigma_{c1} = \frac{M_k}{W} < \sigma_{c2} = -\frac{N_g}{A}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{1436 * 10^6 Nmm}{\frac{160 * 3440^2}{6}} < \sigma_{c2} = -\frac{413000N}{160 * 3440mm^2}$$

$$4,55 \frac{N}{mm^2} < 0,75 \frac{N}{mm^2}$$



Kaavio 4 seinän 8 alalaidan jännitys /Pasi Happonen/

Momentista johtuva vetorasitus seinien reunassa jää $3,8 \text{ kN/mm}^2$ kun pystykuorman vaikutus on vähennetty. Alue, jolla seinän alapinta on vedetty, saadaan laskettua

$$\frac{3,8 + 5,3}{3440} = 0,00264 > 3,44 - 0,00264 * x = 0$$

$$x = 1305 \text{ mm}$$

$$\frac{1305 \text{ mm} * 160 \text{ mm} * 3,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2} = 396720 \text{ N}$$

Tappeja tarvitaan ottamaan vastaan 397 kN veto.

$$N_{pl,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$397000 \text{ N} = A * \frac{500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} > A = 874 \text{ mm}^2$$

1,3 metrin matkalle seinän molemmista päistä tarvitaan 874 mm^2 terästä ottamaan vastaan momentista aiheutuva vetorasitus. Esimerkiksi 3T20 (942 mm^2).

Maksimikitkavoima vaakavoimia siirtämään saadaan kaavasta

$$V_{uc} = \mu_c * N_c > Q_k$$

$$V_{uc} = 0,27 * 40851 = 111510N > 148512N$$

$$V_{pl,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}}$$

$$37000N = A * \frac{500 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,1 * \sqrt{3}} > A = 141\text{mm}^2.$$

Mikäli seinällä on T16k1200 tartunnat laattaan ja alempaan seinään/sokkeliin, kolmesta tapista tulee 603 mm^2 terästä ottamaan vastaan leikkausta.

Saumabetonin vetolujuus

$$\tau = \frac{V_d}{b * h} < f_{ctd}$$

$$\tau = \frac{148512N}{160\text{mm} * 3440\text{mm}} = 0,270 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1,63 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Asuinkerrostalon jäykistäminen ei ole kovin vaativa tehtävä rakenteille. Käytännön syistä rakenteet tehdään riittävän kestäviksi, äänieristys määrää rakenteille paksuutta, jotta vaatimukset saavutetaan asuntojen välillä. Kantavien ja paloa eristävien seinien sijoittaminen asuinhuoneistojen välille takaa yleensä riittävästi kapasiteettia niin normaalivoimalle kuin vaakavoimista johtuvalle momentille ja leikkausvoimalle. Ongelmana voisin nähdä hyvin avoimien rakennusten jäykistämisen ja todella suuret ikkuna pinta-alat. Varsinkin kun molemmat ominaisuudet yhdistyvät ylellisissä asuinhuoneistoissa.

Kuormien jakautumisen laskeminen on suhteellisen työläs ja tarkkuutta vaativa tehtävä. Ohjelman tai excel-taulukon käyttäminen tässä nopeuttaa työtä huomattavasti. Yksinkertaisen rakennuksen jäykistämisen laskeminen onnistuu, mutta jos arkkitehti on päästänyt mielikuvituksensa lentämään, laskemisesta voi tulla helposti todella vaikeaa.

Työssä käytetyn rakennuksen pohjalta saa kuvan ettei seinien kapasiteetit ole lujilla normaalitilanteissa. Äärimmäisissä kuormitustapauksissa jäykisteosien jotkin kapasiteetit saattavat ylittyä, jolloin rakenne vaatii vahviketta. Suurelta alalta tuleva epäkeskinen kuorma voi aiheuttaa betonin puristuslujuuden tippumisen liian alhaiseksi. Suuret aukot ikkunoista ja ovista voivat aiheuttaa betonin puristuslujuuden joutumisen koville. Jäykisteosan ottaessa paljon vaakavoimaa, mutta vähän normaalivoimaa, on odotettavissa, ettei vaakasauma pysy puristettuna ja kitka ei kykene ottamaan vastaan kaikkea vaakavoimaa.

Tehtyäni tämän työn ja tutkittuani rakennusten jäykistämistä voin turvallisesti mielin uskoa rakennusten olevan tarpeeksi jäykkiä ottamaan vastaan niille tulevat kuormitukset.

LÄHTEET

1. Leskelä, M. V.. *Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 by 210*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. 2008.
2. *Betonirakentamisen ohjeista, Valmisosarakentaminen II, Osa G, Elementtirakennuksen jäykistys*. RTT Rakennusteollisuus ry. 1995.
3. EN1991-1-3: *Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat*. 2008.
4. EN1991-1-1: *Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat*. 2008.
5. EN1991-1-4: *Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat*. 2008.
6. RIL 201-1-2008. *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2008.
7. *by 60, Suunnitteluohje EC2, osat 1-1 ja 1-2*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki: 2008.

www.savonia.fi

