

Vaakavoimien jakautuminen yhdistelmäjäykistyksessä

Jone Karppinen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jone Karppinen	
Työn nimi Vaakavoimien jakautuminen yhdistelmäjäykistyksessä	
Päiväys 30.05.2012	Sivumäärä/Liitteet 44/6
Ohjaaja(t) Lehtori Harry Dunkel ja DI Arto Sivill	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Finnmap Consulting Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää, kuinka vaakavoimat jakautuvat jäykistäville pystyrakenteille, kun rakennuksen jäykistämiseen käytetään teräsjäykisteristikon ja betonisen mastoseinän yhdistelmää. Työn tarkoituksena oli tuottaa taulukkolaskentapohja rakennuksen jäykisteiden laskentaan, kun jäykistävinä rakenteina on teräksinen K-ristikko ja teräsbetoninen mastoseinä.</p> <p>Työssä esiteltiin aluksi yleisesti rakennuksien jäykistämistä, jäykistysjärjestelmiä, jäykisteisiin vaikuttavia kuormia sekä rajatilamitoituksen periaatteita. Seuraavaksi työssä esitettiin teoriaa vaakavoimien jakautumisesta jäykistävien rakenneosien kesken sekä laskettiin esimerkkikohteen jäykisteiden ottamat osuudet kuormituksista. Esimerkkikohtetta tarkasteltiin kolmena päätapauksena. Tapauksissa kohteen kerrosmäärä sekä jäykistävien rakenteiden dimensiot vaihtuivat. Laskenta suoritettiin aluksi käsin, minkä pohjalta luotiin taulukkolaskentapohja. Vertailulaskelmat tehtiin Autodesk Robot Structural Analysis FEM-laskennalla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin käsilaskelma ensimmäisestä tapauksesta sekä taulukkolaskelmat ja FEM-laskentamallit kaikista tutkittavista tapauksista. Lisäksi saatiin taulukkolaskentapohja yhdistelmäjäykistyksen laskentaan sekä vertailutaulukko taulukkolaskennasta ja FEM-laskennasta esimerkkikohteeseen liittyen. Taulukkolaskentapohja on tarkoitettu apuohjelmaksi yhdistelmäjäykistyksen laskentaan.</p>	
Avainsanat Yhdistelmäjäykistys, vaakavoima, jakautuminen, mastoseinäjäykistys, ristikkojäykistys	
Luottamuksellisuus Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Jone Karppinen			
Title of Thesis Lateral Force Distribution Of Shear Walls And K-type Bracing			
Date	30 May 2012	Pages/Appendices	44/6
Supervisor(s) Mr Harry Dunkel, Lecturer & Mr Arto Sivill, M.Sc			
Client Organisation/Partners Finnmap Consulting Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to study lateral force distribution of shear walls and K-type bracing. The purpose of this thesis was to create a spreadsheet based calculations for stiffening of a building. The work was commissioned by Finnmap Consulting Ltd.</p> <p>First the theories on stiffening of a building, stiffening methods and load calculations were presented. Next the distribution of the lateral force and the calculations of the example building were made. The example building was examined in six different cases. In each case the stiffening shear wall and K-type bracing had different dimensions. The calculations were made manually and by using a spreadsheet. The comparison calculations were made with Robot Structural Analysis FEM-program.</p> <p>As a result of this thesis a manual calculation and a spreadsheet were created. The spreadsheet can be used when a building is stiffened with a shear wall and a K-type bracing. A matrix to compare the results between manual calculations and FEM-calculations was also created. The created spreadsheet is meant to be a assisting program and to make calculating of stiffening of a building faster.</p>			
Keywords Lateral force, shear wall, K-type bracing			
Confidentiality Public			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
2	RAKENNUKSEN JÄYKISTÄMINEN.....	8
2.1	Mastoseinäjäykistys.....	8
2.2	Ristikkojäykistys.....	9
2.3	Yhdistelmäjäykistys.....	11
2.3.1	Jäykistävät seinät ja ristikot.....	11
3	KUORMITUKSET.....	15
3.1	Pystykuormat.....	15
3.1.1	Pysyvät kuormat/oma paino.....	15
3.1.2	Pystysuuntaiset hyötykuormat.....	15
3.1.3	Lumikuorma.....	16
3.2	Vaakakuormat.....	17
3.2.1	Tuulikuorma.....	17
3.2.2	Vaakasuuntaiset hyötykuormat ja pysyvät kuormat.....	19
3.2.3	Mittaepätarkkuudet.....	19
3.2.4	Toisen kertaluvun rasitukset.....	23
4	RAJATILAMITOITUS.....	26
4.1	Murtorajatila.....	26
4.2	Käyttörajatila.....	27
4.3	Tilapäiset ja onnettomuusmitoitustilanteet.....	27
5	VOIMIEN JAKAUTUMINEN.....	28
5.1	Maston jäykkyys.....	28
5.2	Kuormitus ei aiheuta kiertymää.....	30
5.3	Kuormitus aiheuttaa kiertymän.....	30
6	ANALYYSIT.....	32
6.1	Analyysi 1.....	32
6.1.1	Käsin laskettu.....	33
6.1.2	FEM-laskenta.....	38
6.2	Analyysi 2.....	39
6.3	Analyysi 3.....	40
6.4	Analyysien tulokset.....	41
7	YHTEENVETO.....	43
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	
	Liite 1 Esimerkkikohteen pohjaratkaisut	

ALKUSANAT

Kiitän lehtori Harry Dunkelia ja dipl.ins. Arto Sivillää työni ohjauksesta. Kiitokseni myös Finnmap Consulting Oy:lle mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö heille.

Kuopiossa 30.5.2012

Jone Karppinen

1 JOHDANTO

Rakennuksien suunnittelussa hyvin tärkeä osa on riittävän jäykkyyden takaaminen rakennukselle. Useissa tilanteissa rakennusta jäykistettäessä päädytään käyttämään erilaisten jäykistysjärjestelmien yhdistelmää. Yhdistelmäjäykistykseen voidaan päätyä esimerkiksi puhtaasti kokonaistaloudellisista syistä tai kun yksittäinen jäykistysjärjestelmä ei kykene varmistamaan rakennukselle riittävää jäykkyyttä.

Työn tarkoituksena on tutustua rakennusten jäykistämiseen ja erilaisten jäykistysjärjestelmien yhdistelmiin sekä rakennukseen vaikuttaviin vaakavoimiin ja niiden jakautumiseen yhdistetyissä jäykistysjärjestelmissä. Työssä tarkastelen esimerkkirakennusta kolme-, kahdeksan- ja kaksitoistakerroksisena erilaisilla jäykistävien rakenteiden dimensioilla. Teorioiden pohjalta laadin taulukkolaskentapohjan käytettäväksi yhdistelmäjäykistyksen osajäykistysjärjestelmien jäykkyyksien laskentaan, kun rakennus on jäykistetty mastoseinäjäykistyksen ja teräsristikkojäykistyksen yhdistelmällä. Vertailulaskelmat teen Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmalla.

Työn tilaajana on Finnmap Consulting Oy, joka myös tarjoaa työssä käytettävän esimerkkikohteen. Laadittava taulukkolaskentapohja on tarkoitettu jalostettavaksi apuohjelmaksi yhdistelmäjäykistyksen suunnitteluun.

Kuvioiden ja taulukoiden lainaamiseen luvan ovat antaneet SFS, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. sekä Betoniteollisuus ry.

2 RAKENNUKSEN JÄYKISTÄMINEN

Rakennusrungon jäykistysjärjestelmän tehtävänä on siirtää vaakakuormituksista aiheutuvat rasitukset luotettavasti perustuksille ja sitä kautta maaperälle. Vaakasuorina jäykisteinä toimivat väli- ja yläpohjat, jotka siirtävät vaakakuormat pystysuorien jäykisteiden kautta perustuksille.

Jäykistysjärjestelmän suunnittelussa tulee huomioida

- jäykistysjärjestelmien kapasiteetin riittävyys kaikissa kuormitustapauksissa
- rakennuksen ja sen osien muodonmuutoksien sekä siirtymien pitäminen riittävän pieninä normien, käytöturvallisuuden ja käyttökelpoisuuden suhteen
- rakenteen staattisen tasapainon riittävyys
- jatkuvan sortuman estäminen ja rajoittaminen
- asennustilanteen jäykkyyden toimivuus
(Betoniteollisuus ry 2010, 2).

Työssä tarkastellaan tarkemmin mastoseinäjäykistystä, ristikkojäykistystä sekä näiden yhdistelmää. Muita käytettävissä olevia jäykistysmenetelmiä ovat mastopilarijäykistys, kehäjäykistys sekä levyjäykistys.

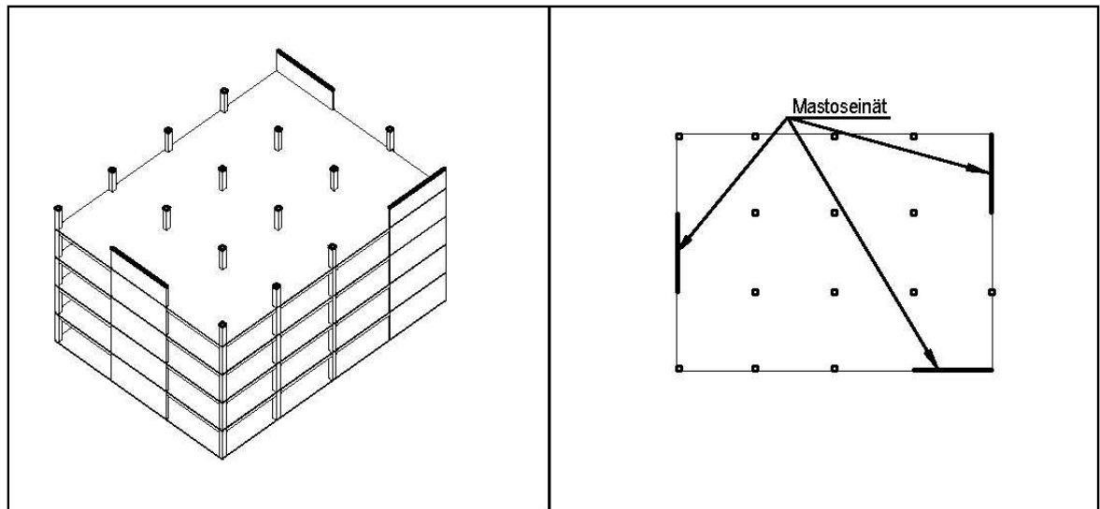
2.1 Mastoseinäjäykistys

Jäykistettäessä rakennus mastoseinillä seinät toimivat alapäästään jäykästi kiinnitettyjen ulokepalkkien tavoin. Seinät ottavat vastaan välipohjatasojen siirtämiä vaakavoimien aiheuttamia rasituksia jäykkyyksiensä suhteessa. Käytettäessä mastoseinäjäykistystä muut rungon rakenteet voidaan toteuttaa nivelellisinä, mikä puolestaan on elementtiteknisesti edullista. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 94.)

Mastoseinät voidaan koota seinäelementeistä tai valmistaa paikallavalettuina. Elementtien saumat mitoitetaan siirtämään normaalivoima- ja leikkausrasitukset niin, että elementit toimivat yhtenäisenä rakenteena. Elementtien saumoissa voidaan vaakasuoran leikkausvoiman siirtämiseen käyttää esimerkiksi pintojen välistä kitkaa, vaarnoitusta tai terästappeja. Pitkissä mastoseinissä voidaan joutua tekemään myös pystysaumoja yksittäisen elementin koon rajoittamiseksi. Pystysaumoja käytettäessä saumat on kuitenkin muistettava mitoittaa niissä vaikuttaville pystysuuntaisille leikkausvoimille. (Betoniteollisuus ry 2010, 16.)

Mastoseinät pyritään sijoittamaan rakennukseen mahdollisimman symmetrisesti sekä siten, että seinille tulisi riittävät pystykuormat jotta seinä pysyisi kaikissa kuormitustapauksissa puristettuna. Tapauksissa jolloin mastoseinään tulee vetoa, on huolehdittava vetovoimien siirtämisestä maapohjaan saakka. Ankkurointia on kuitenkin pyrittävä mahdollisuuksien mukaan välttämään. (Betoniteollisuus ry 2010, 16.)

Mastoseinäjäykistystä käytettäessä rungon stabiiliteetin takaamiseksi tarvitaan vähintään kolme seinää, joiden keskilinjat eivät leikkaa samassa pisteessä. Eräs ratkaisu mastoseinien sijoittamiseen on esitetty kuviossa 1. Yksinkertaisin ja selkein ratkaisu seinien sijoittamiseen on kuitenkin kaksi toisiinsa nähden kohtisuorassa olevaa seinäparia. (Saarinen 1986, 234–235.)



KUVIO 1. Periaate mastoseinäjäykistyksestä (Betoniteollisuus ry 2010, 15)

Mastoseinäjäykistys soveltuu hyvin käytettäväksi sekä korkeissa, että matalissa rakennuksissa. Korkeissa rakennuksissa mastoseinäjäykistys onkin usein ainoa jäykistysvaihtoehto (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 19.)

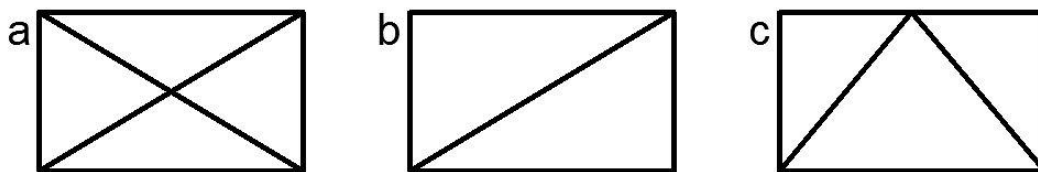
2.2 Ristikojäykistys

Ristikojäykistyksessä runko jäykistetään rungon aukkoihin sijoitetuilla veto- ja/tai puristussauvoilla. Jäykisteristikoiden sijoitus kerroksissa on melko vapaa, eikä niiden tarvitse sijaita päällekkäin eri kerroksissa. Ristikoiden sijaitessa päällekkäin eri ker-

roksissa, niiden muodostama kenttä voidaan käsitellä ulokepalkkina. Jokaista kerrosta kohden tarvitaan vähintään yksi ristikko. (Ratvio & Kullaa 1994, 27–28.)

Jäykisteristikot voivat olla joko osana pystykuormia kantavaa rakennetta tai erillisenä rakennuksen osana. Jäykisteristikon ollessa osana pystykuormia kantavaa rakennetta seinät tai pilarit voivat toimia ristikon paarteina. Tällöin vain ristikon diagonaalit ja joissain tapauksissa vertikaalit toimivat erillisinä jäykisteristikon osina. Mitoituksessa on huomioitava paarteina toimivien seinien tai pilareiden saama vaakakuormituksesta aiheutuvan momentin seurauksena tuleva lisänormaalivoima. Jäykisteristikon paarre voi olla myös vedetty, jos pystykuormat ovat pieniä. (Betoniteollisuus ry 2010, 21.)

Käytettäessä ainoastaan vedettyjä sauvoja (kuvio 2a), diagonaalien mitoituksessa saavutetaan etua ja niiden profiili saadaan hoikaksi pituudesta riippumatta. Ristissä olevat sauvat kuitenkin haittaavat tilan käyttöä. Tilankäytöllisesti edullisempia vaihtoehtoja ovat yhden sauvan (kuvio 2b) tai muulla tavoin sijoitettujen puristettujen sauvojen (kuvio 2c) käyttö. Ristikkotyypin b diagonaali ottaa vastaan sekä vetoa, että puristusta. Sauvan profiilista tulee kuitenkin suuri, jollei sauva voida tukea väliltä sivusuunnassa. Ristikkotyyppi c on jäykisteenä edullinen ratkaisu, mutta diagonaalit saavat lisärasituksia vaakarakenteen taipumista ja vaakarakenteet ristikolta. Lisäkuormitus voidaan kuitenkin välttää käyttämällä ristikon yläreunassa erillistä pystysuunnassa kuormittamatonta tankoa tai pystysuuntaisen liikkeen sallivaa liitosta. (Betoniteollisuus ry 2010, 21.)



KUVIO 2. Yleisimpiä kantavan rakenteen osana toimivan ristikon ristikkoratkaisuja

Ristikkojäykistyksessä on mahdollista käyttää myös kantavasta pystyrungosta erillään toimivaa jäykistysristikkoa. Tällaisessa tapauksessa kyseessä on yleensä rakenteen ulkopuolelle sijoitettavat kokonaisuudet. Ulkopuolisille jäykisteristikoille siirtyvät pystykuormat ovat yleensä pieniä, mikä johtaakin tavallisesti ankkurointiin. (Betoniteollisuus ry 2010, 22.)

2.3 Yhdistelmäjäykistys

Rakennuksen rungon jäykistystapaa valittaessa pyritään löytämään kokonaistaloudellisesti mahdollisimman hyvä ratkaisu. Paras ratkaisu voikin olla eri jäykistysjärjestelmien yhdistelmä, jonka jäykkyys voi joissakin tapauksissa myös olla suurempi, kuin erillisten osajärjestelmien jäykkyyksien summa. Yhdistelmäjäykistys onkin varteenotettava vaihtoehto, kun yksittäinen valittu jäykistysjärjestelmä ei yksin riitä antamaan tarvittavaa jäykkyyttä ja sitä on täydennettävä toisen periaatteen jäykistysmenetelmällä. Käytettäessä yhdistelmäjäykistystä on tärkeää huomioida eri jäykistysjärjestelmien erilaiset jäykkyydet. Esimerkiksi mastoseinä on huomattavasti jäykempi, kuin vastaavan korkuinen jäykisteristikko. (Ratvio & Kullaa 1994, 42; Betoniteollisuus ry 2010, 23.)

Kokonaistaloudellisesti parhaaseen tulokseen pyrittäessä on huomioitava useita eri seikkoja. Asennuksen on oltava mahdollisimman nopea ja rakenteiden sekä liitosten taloudellisia. Liitokset pyritään saamaan mahdollisimman yksinkertaisiksi ja väliaikaisten tukien välttämiseksi myös täydellisesti toimiviksi heti asennuksen jälkeen. (Ratvio & Kullaa 1994, 42.)

2.3.1 Jäykistävät seinät ja ristikot

Mikäli rakennus jäykistetään käyttämällä betoniseinien ja teräsristikoiden yhdistelmää, ensin on laskettava eri jäykisteiden suhteelliset jäykkyydet. Ristikon ja levyn jäykkyyksien välillä on yhtälö:

$$K = \frac{l}{h} \quad (1)$$

missä

K	levyn jäykkyys(N/mm)
l	ristikon jäykkyys(N)
h	levyn ja ristikon korkeus(mm)

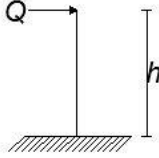
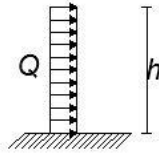
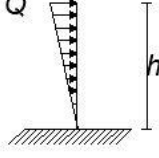
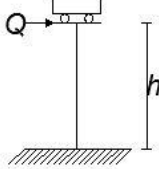
Levyseinän jäykkyyteen sisältyy taivutusjäykkyys ja leikkausjäykkyys. Taivutusjäykkyyden osuus on kuitenkin merkityksetön seinän sivusuhteen H/L ollessa pienempi kuin 0,3. Jos H/L on suurempi kuin 3, leikkausjäykkyyden osuus on puolestaan merkityksetön. Tällä välillä, $0,3 < H/L < 3$, käytetään yhdistettyä jäykkyyttä

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_b} \quad (2)$$

missä K_b on taivutusjäykkyys ja K_s leikkausjäykkyys. Näiden arvot erilaisissa kuormitustapauksissa saadaan taulukosta 1. (Ratvio & Kullaa 1994, 44–45.)

RTT Rakennustuoteteollisuus ry:n julkaisussa Elementtirakennuksen jäykistys sivusuhteen raja-arvoiksi yhdistetyn jäykkyyden käyttöön annetaan väli $0,3 < H/L < 4$. Tämä raja-arvo on varmemmalla puolella.

TAULUKKO 1. Levyseinän taivutusjäykkyys K_{bi} ja leikkausjäykkyys K_{si} eri kuormituksilla (Mukaillen taulukkoa Ratvio & Kullaa 1994, 45)

	<i>Kuormitus</i>	<i>Taivutusjäykkyys</i> K_{bi}	<i>Leikkausjäykkyys</i> K_{si}
1		$\frac{3E_i I_i}{h^3}$	$\frac{A_i E_i}{3h}$
2		$\frac{8E_i I_i}{h^3}$	$\frac{A_i E_i}{1.5h}$
3		$\frac{60E_i I_i}{11h^3}$	$\frac{A_i E_i}{2h}$
4		$\frac{12E_i I_i}{h^3}$	$\frac{A_i E_i}{3h}$

Jäykistettäessä rakennus ristikko- ja levyseinäjäykistysten yhdistelmällä, laskentaa varten ristikot muutetaan jäykkyydeltään vastaaviksi levyiksi, joille lasketaan lähtötiedoissa tarvittavat hitausmomentit sekä poikkileikkausalat (Ratvio & Kullaa 1994, 45).

Taulukon 1 kaavoilla yläpäästäan kuormitetun levyn jäykkyydeksi saadaan:

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{4h^3}{L^3} + \frac{3h}{L} \right) \frac{1}{E_c t} \quad (3)$$

missä

h	levyn korkeus (mm)
L	levyn leveys (mm)
t	levyn paksuus (mm)
E_c	levyn kimmomoduuli (N/mm ²)

Yhtälöistä 1 ja 3 ristikköä vastaavan levyn paksuudeksi saadaan:

$$t = \left(\frac{4h^2}{L^3} + \frac{3}{L} \right) \frac{I}{E_c} \quad (4)$$

Jäykisteristikon ollessa vain yhden kerroksen korkuinen, niin yleensä riittää ristikon sivuttaisjäykkyyden (leikkausjäykkyys) selvittäminen. Useampikerroksista ristikköä tarkasteltaessa on määritettävä sekä taivutusjäykkyys, että sivuttaisjäykkyys.

Ristikon jäykkyyden ollessa vain sivuttaisjäykkyyttä (leikkausjäykkyyttä), veto- ja diagonaaliristikköä vastaava levyn paksuus saadaan kaavasta 5 ja k-ristikköä vastaavalle levyseinälle kaavasta 6. (Ratvio & Kullaa 1994, 46.)

$$t = \cos^2 \alpha \sin \alpha \left(\frac{4h^2}{L^3} + \frac{3}{L} \right) \frac{A_s E_s}{E_c} \quad (5)$$

$$t = 2 \cos^2 \alpha \sin \alpha \left(\frac{4h^2}{L^3} + \frac{3}{L} \right) \frac{A_s E_s}{E_c} \quad (6)$$

missä

α	jäykisteen kaltevuuskulma vaakatasoon nähden
h	ristikon ja levyn korkeus (mm)
L	levyseinän leveys (mm)
A_s	jäykisteen poikkileikkausala (mm ²)
E_s	jäykisteen kimmomoduuli (N/mm ²)
E_c	levyn kimmomoduuli (N/mm ²)

Edellisissä kaavoissa levyn leveydeksi valitaan kyseisen ristikon leveys, minkä jälkeen yhdistetyn jäykistyksen laskentaa jatketaan kuten puhtaassa levyjäykistyksessä. Kaavoissa oletetaan teräsristikon liitoksen betonirakenteeseen olevan jäykkä, eikä siten siis mitoittava tekijä jäykistyksen kannalta. Liitoksen ollessa mitoittava tekijä, sen vaikutus otetaan huomioon levyn paksuuden kaavoissa ristikoiden liitosten jäykkyyttä kuvaavalla kertoimella k . (Ratvio & Kullaa 1994, 46.)

3 KUORMITUKSET

Kuormitukset jaetaan aikariippuvuuden perusteella pysyviksi, muuttuviksi ja onnettomuuskuormiksi. Pysyviin kuormiin kuuluu esimerkiksi rakenteiden ja kiinteiden laitteiden oma paino ja muuttuviin kuormiin hyöty-, tuuli- ja lumikuormat. Onnettomuuskuormina voivat olla esimerkiksi räjähdykset ja ajoneuvojen törmäykset. (SFS-EN 1990 2009, 58.)

3.1 Pystykuormat

3.1.1 Pysyvät kuormat/oma paino

Pystysuuntaisiin pysyviin kuormiin kuuluu pääasiallisesti rakenteiden ja kiinteiden laitteiden oma paino. Rakennusosien oma paino lasketaan nimellismittojen ja keskimääräisien tilavuuspainojen perusteella. Muita pysyviä kuormia voivat olla esimerkiksi maan massa sekä kutistumien ja epätasaisten painumien aiheuttamat välilliset kuormat. (SFS-EN 1990 2009, 58–60.)

3.1.2 Pystysuuntaiset hyötykuormat

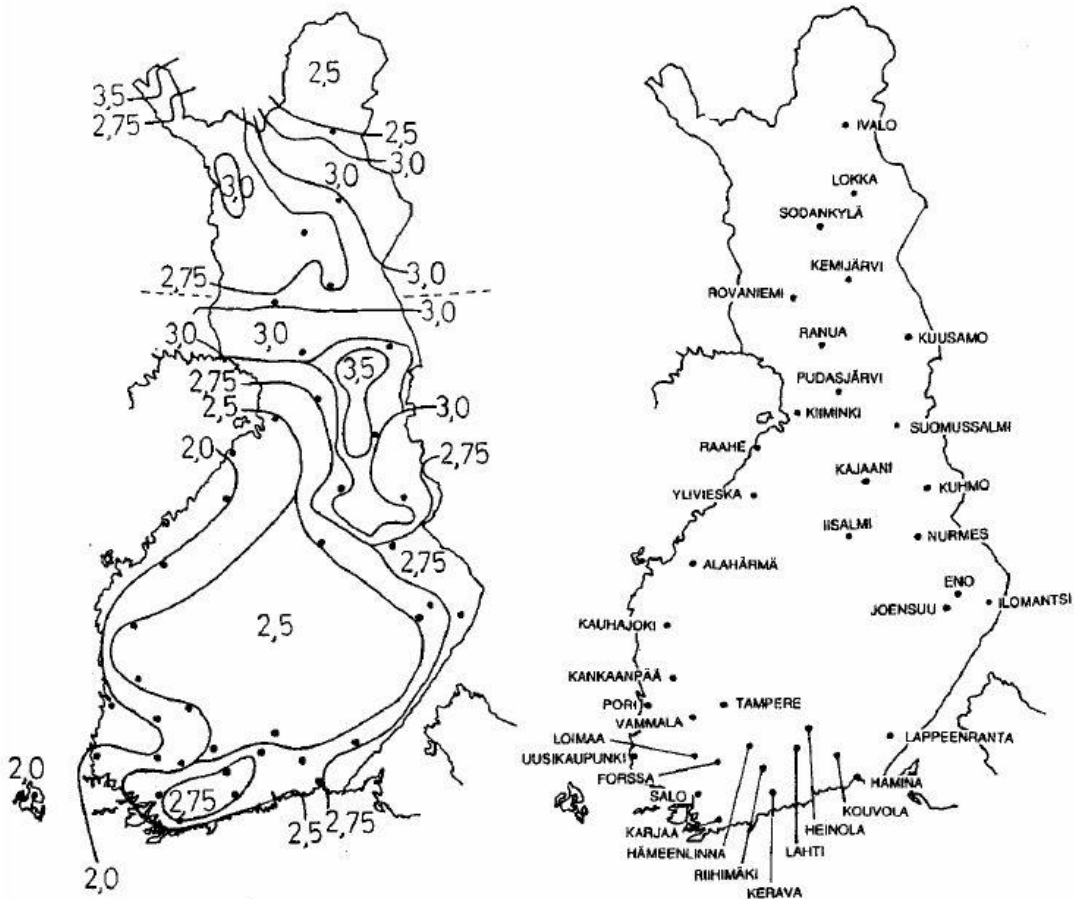
Pystysuuntaiset hyötykuormat ovat muuttuvia liikkuvia kuormia ja ne aiheutuvat tilojen käytöstä. Hyötykuormiin kuuluvat henkilö- ja tavarakuormat sekä liikennekuormat. Siirrettävien kevyiden väliseinien paino luetaan myös hyötykuormaksi. Huomioon on myös otettava odotettavissa olevat harvinaiset tapahtumat, kuten esimerkiksi ihmisten kokoontuminen tai huonekalujen kasautuminen. Taulukossa 2 esitetään tyypillisiä rakennuksen välipohjille tulevia hyötykuormien ominaisarvoja. (RIL 201-1-2011 2011, 63–64.)

TAULUKKO 2. Tyypillisiä rakennuksen välipohjille tulevia hyötykuormien arvoja (RIL 201-1-2011 2011, 67–68)

Luokka	Käyttötarkoitus	Hyötykuorma q_k (kN/m ²)	Pistekuorma Q_k (kN)
A	Asuin- ja majoitustilat	2	2
B	Toimistotilat	2,5	2
C1-C5	Kokoontumistilat	2,5...6	3...4
D1-D2	Myyvälätilat	4...5	4...7
E	Varasto- ja tuotantotilat	7,5	7
F,G	Liikennöintialueet	2,5...5	20...90

3.1.3 Lumikuorma

Lumikuorma on muuttuva kiinteä kuorma, joka vaikuttaa rakenteisiin yleensä pystykuormana. Maassa olevan lumikuorman ominaisarvot s_k nähdään kuviossa 3.2. Arvot ovat minimiarvoja ja tapauskohtaisesti voidaanakin sopia myös suurempien arvojen käyttämisestä. (RIL 201-1-2011 2011, 92.)



KUVIO 3. Ominaislumikuormat maassa s_k (Kansallinen liite eurokoodiin SFS-EN 1991-1-3)

Suunnittelussa on otettava huomioon lumen kinostumisen mahdollisuus, mikä voi johtua esimerkiksi katon muodosta, viereisten rakennusten läheisyydestä tai ympäröivistä maasto-olosuhteista. Katon lumikuorma s määritetään kaavalla 7. (RIL 201-1-2011 2011, 94.)

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (7)$$

missä

μ_i	lumikuorman muotokerroin
s_k	maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m ²]
C_e	Tuulensuojakerroin (1,0 tai 0,8)
C_t	lämpökerroin (Tavallisesti 1,0)

3.2 Vaakakuormat

3.2.1 Tuulikuorma

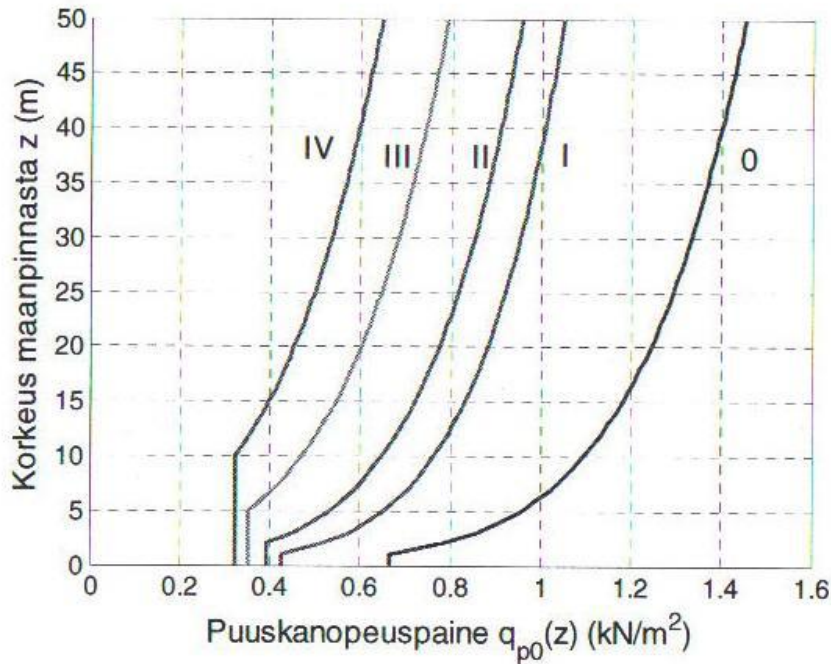
Tuulikuormat ovat muuttuvia kiinteitä kuormia, ellei toisin mainita, sekä ajan mukana vaihtelevia kuormia. Ne aiheuttavat umpinaisten rakenteiden ulkopintoihin painetta ja ulkopinnan huokoisuuden vuoksi vaikuttavat välillisesti myös sisäpintoihin. Tuulikuormat voivat vaikuttaa myös suoraan avoimien rakenteiden sisäpintoihin. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 30.)

Tuulikuorman paineet aiheuttavat rakenteen tai yksittäisen verhousoosan pintaa vastaan kohtisuoria voimia. Suurissa pinnoissa tuuli saattaa aiheuttaa myös huomattavia pinnan suuntaisia kitkavoimia. (SFS-EN 1991-1-4 2011, 30.)

Tuulen vaikutukset otetaan huomioon tarkastelemalla sekä koko rakennukseen kohdistuva kokonaisvoima, että rakennuksen eri osiin kohdistuvat painerasitukset käyttämällä painekerrointa. (RIL 201-1-2011 2011, 134).

TAULUKKO 3. Maastoluokat (RIL 201-1-2011 2011, 127)

Maastoluokka
0 Avomeri tai merelle avoin rannikko
I Järvet tai tasanko, jolla on enintään vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä
II Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus
III Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)
IV Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



KUVIO 4. Nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(z)$ eri maastoluokissa (RIL 201-1-2011 2011, 132)

Matalien rakennuksien kokonaistuulivoima voidaan laskea voimakertoimen avulla. Matalalla rakennuksella tarkoitetaan tässä tapauksessa rakennusta, jonka korkeus on pienempi kuin sen leveys ($h < b$). Tässä tilanteessa oletetaan, että tuulenpaineella on kaikissa korkeusasemissa sama arvo, kuin rakennuksen harjalla. Tällöin rakennukseen kohdistuva kokonaisvoima voidaan laskea kaavalla 8. Tuulen nopeuspaineen arvo saadaan kuviosta 4 ja maastoluokkien kuvaukset nähdään taulukossa 3. (RIL 201-1-2011 2011, 136.)

$$F_w = c_s c_d c_f q_p(h) A_{ref} \quad (8)$$

missä

- F_w kokonaistuulivoima (kN)
 $c_s c_d$ rakennekerroin (matalille rakennuksille voidaan käyttää varmalla puolella olevaa arvoa 1,0)
 c_f voimakerroin
 $q_p(h)$ maaston pinnan muodon mukaan modifioitu nopeuspaine, joka määritetään harjan korkeudella eli $z=h$
 A_{ref} tuulikuorman vaikutusala ($=b \cdot h$)
 (RIL 201-1-2011 2011, 138.)

Korkeissa rakennuksissa oletus nopeuspaineen samoista arvoista korkeusasemasta huolimatta voi johtaa tarpeettoman suureen kokonaistuulivoiman arvoon. Tämän vuoksi käsiteltäessä korkeita rakennuksia kaavaa 8 tarkennetaan siten, että tuulen nopeuspaineen oletetaan vaihtelevan korkeusaseman mukaan. (RIL 201-1-2011 2011, 138.)

Korkeusasemasta riippuva tuulivoiman jakauma saadaan kaavasta

$$F_w(z) = c_s c_d c_f q_p(z) b \quad (9)$$

missä

$F_w(z)$	tuulivoiman jakautuma korkeussuunnassa (kN/m)
$c_s c_d$	rakennekerroin
c_f	voimakerroin
$q_p(z)$	maaston pinnan muodon mukaan modifioitu nopeuspaine
b	rakennuksen leveys

Toinen menetelmä tuulikuormien ja kokonaistuulivoiman määrittämiseen tapahtuu pintapaineiden avulla. Tästä menetelmästä löytyy tarkemmin tietoa julkaisusta RIL 201-1-2011 (RIL 201-1-2011 2011, 139–168.)

3.2.2 Vaakasuuntaiset hyötykuormat ja pysyvät kuormat

Rakennuksen stabiiliutta tarkastellessa huomioon otettavia vaakasuuntaisia hyötykuormia ovat pääasiallisesti autosuojissa ja pihatasoilla vaikuttavat jarrukuormat sekä työkoneilta ja nostureilta tulevat kuormat. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 14).

Maanpaine on tyypillinen esimerkki pysyvästä vaakakuormasta, joka voi rasittaa jäykistäviä rakenteita merkittävästi. Törmäyskuormat käsitellään onnettomuustilanteena. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995, 14.)

3.2.3 Mittaepätarkkuudet

Rakennusrunkoon syntyy lisävaakavoimia rakenteiden mahdollisesta vinoudesta ja sijaintivirheistä sekä kuormien epäedullisista vaikutussuunnista. Mittaepätarkkuudet

on otettava huomioon murtorajajaloissa normaalisti vallitsevissa sekä onnettomuustilanteissa käyttäen alkusivusiirtymän muodossa olevaa ekvivalenttia sivusiirtymää sekä yksittäisten sauvojen alkukaarevuuden muodossa olevia epätarkkuuksia. Käytöraajajaloissa epätarkkuudet voidaan kuitenkin jättää huomiotta. (SFS-EN 1992-1-1 2007, 54; SFS-EN 1993-1-1 2006, 33.)

Puristavan normaalivoiman kuormittamien rakenneosien ja pystykuormitettujen rakenteiden epätarkkuudet saadaan vinouden θ_i avulla kaavasta 10

$$\theta_i = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m \quad (10)$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}, \text{ mutta kuitenkin } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \quad (11)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad (12)$$

missä

θ_i	rakenteen vinous
θ_0	rakenteen vinouden perusarvo (suositus 1/200)
α_h	pituuteen tai korkeuteen perustuva pienennyskerroin
α_m	rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin
l	korkeus tai pituus
m	kokonaisvaikutuksen aiheuttavien pystyrakenteiden määrä (SFS-EN 1992-1-1 2007, 54–55.)

Tarkasteltaessa epätarkkuuden vaikutusta jäykistysjärjestelmään, l on rakennuksen korkeus ja m on jäykistysjärjestelmän vaakavoimaan vaikuttavien pystyrakenteiden määrä. Erillisten rakenneosien tapauksessa l on rakenneosan todellinen pituus ja m on 1. Käsiteltäessä vaikutusta vaakakuormia jakaviin välipohjiin, yläpohjiin tai vesikatton levykenttiin, l on kerroskorkeus ja m on kerroksen kokonaisvaakavoimaan vaikuttavien pystyrakenteiden määrä. (SFS-EN 1992-1-1 2007, 55.)

Erillisiä rakenneosia tarkasteltaessa epätarkkuuksien vaikutus voidaan huomioida, joko epäkeskisyyden e_i , tai poikittaisvoiman H_i avulla. Poikittaisvoimaa voidaan käyttää sekä staattisesti määräytyille, että määräämättömille rakenteille ja se sijoitetaan maksimimomentin tuottavaan kohtaan. Poikittaisvoima saadaan jäykistämättömille rakenneosille (kuvio 5a1) kaavasta 14 ja jäykistetyille rakenneosille (kuvio 5a2) kaa-

vasta 15. Epäkeskisyyden käyttö soveltuu staattisesti määrätyille rakenteille. (SFS-EN 1992-1-1 2007, 55.)

$$e_i = \theta_i \frac{l_0}{2} \quad (13)$$

$$H_i = \theta_i N \quad (14)$$

$$H_i = 2 \theta_i N \quad (15)$$

missä N on normaalivoima.

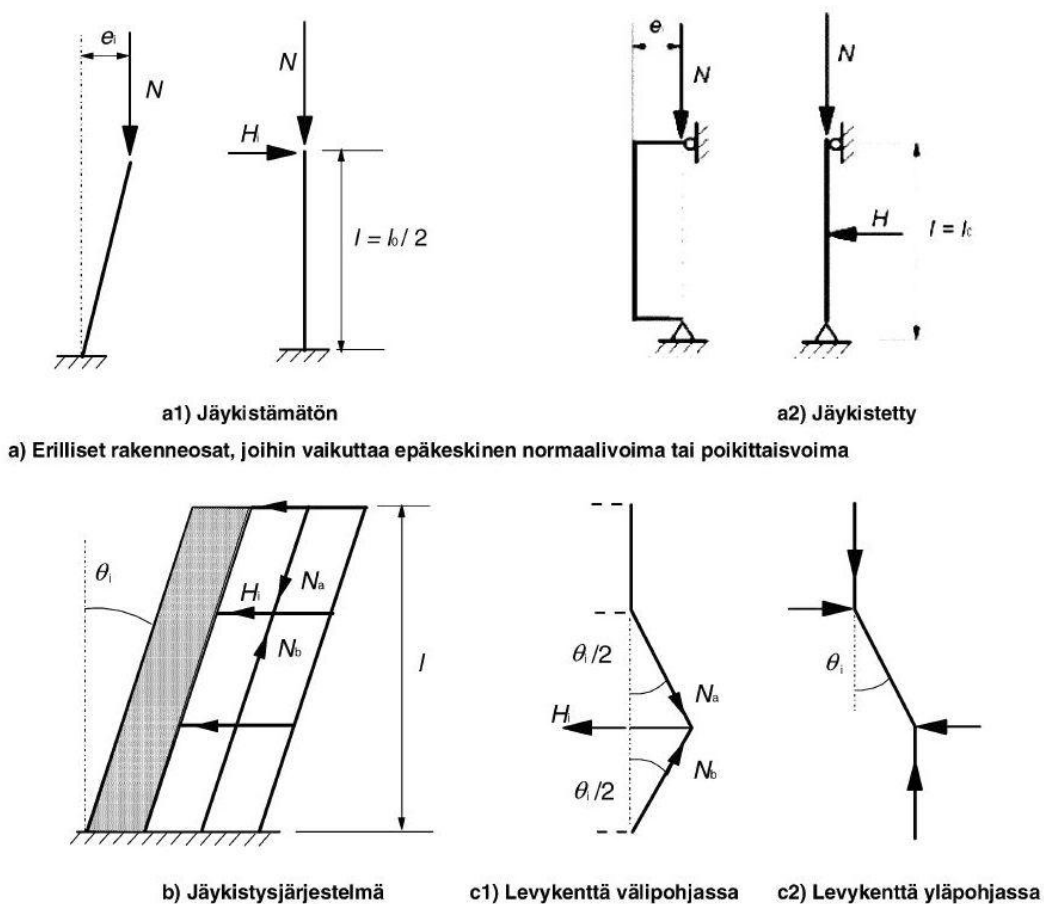
Rakenteissa vinouden vaikutus voidaan korvata käyttämällä lisävaakavoimia, jotka käsitellään muiden kuormien mukana analyysissä. Lisävaakavoimien vaikutukset saadaan jäykistysjärjestelmälle (kuvio 5b) kaavasta 16, välipohjan levykentälle (kuvio 5c1) kaavasta 17 ja yläpohjan levykentälle (kuvio 5c2) kaavasta 18. (SFS-EN 1992-1-1 2007, 56.)

$$H_i = \theta_i (N_b N_a) \quad (16)$$

$$H_i = \theta_i \frac{N_b + N_a}{2} \quad (10)$$

$$H_i = \theta_i N_a \quad (11)$$

missä N_a ja N_b ovat poikittaisvoimaan vaikuttavia pituussuuntaisia voimia.



KUVIO 5. Esimerkkejä mittaepätarkkuuksien vaikutuksesta (SFS-EN 1992-1-1 2007, 56)

Teoksessa RIL 201-1-2011 esitetään myös yksinkertaistettu menetelmä lisävaakavoiman laskennalle. Kaavalla 19 saadaan lisävaakavoiman arvo rakennuksen lyhemässä suunnassa H_{dt} ja kaavalla 20 rakennuksen pidemmässä suunnassa H_{dt} .

$$H_{dt} = \frac{N_d}{150} \quad (19)$$

$$H_{dt} = \frac{b}{l} \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} \quad (20)$$

missä

N_d lisävaakavoiman aiheuttavan pystykuorman laskenta-arvo

b rakennuksen leveys

l rakennuksen pituus

(RIL 201-1-2011 2011, 73–74.)

Lisävaakavoimien vaikutuksen oletetaan olevan samassa pisteessä kuin pystykuormien, jotka aiheuttavat ne. Väli- ja yläpohjien kaikki vaakavoimat voidaan kuitenkin sijoittaa kantavan vaakarakenteen painopisteen tasolle. Lisävaakavoimien ei oleteta esiintyvän samanaikaisesti ja niiden aiheuttamien rasitusten oletetaan jakautuvan pystyrakenteille niiden jäykkyysien suhteessa. (RIL 201-1-2011 2011, 74.)

3.2.4 Toisen kertaluvun rasitukset

Toisen kertaluvun rasitukset ovat rakenteen siirtymätilasta aiheutuvia voimasuureiden lisäyksiä. Toisen kertaluvun rasituksilla on rakennuksen kokonaisvakavuutta tarkastellessa merkitystä erityisesti korkeissa rakennuksissa ja rakennuksissa, joissa jäykistävät rakenneosat ovat hoikkia rakennuksen korkeuteen nähden. Hoikkien rakenteiden taipuminen vaakakuormista ja epätarkkuuksista aiheuttaa lisäepäkeskisyyttä pystykuormiin ja siten myös lisätaipumia. Toisen kertaluvun vaikutusten ollessa alle kymmenen prosenttia ensimmäisen kertaluvun vaikutuksista ne voidaan olla huomioimatta. Käytännössä toisen kertaluvun vaikutukset on kuitenkin tarkistettava, pystyäkseen todistamaan tämän kymmenen prosentin ehdon. (Betoniteollisuus ry 2010, 10.)

Rakennuksen kokonaistarkastelussa toisen kertaluvun vaikutusten huomioimisen tarve voidaan vaihtoehtoisesti tarkastella kaavoilla 21 ja 22. Tilanteessa, jossa rakennuksen jäykistysjärjestelmässä ei ole merkittäviä leikkausmuodonmuutoksia eikä rakennus kierry merkittävästi, käytetään kaavaa 14. Jäykistysjärjestelmän salliessa merkittävät rakennekokonaisuuden leikkausmuodonmuutokset käytetään kaavaa 16. Kuviossa 6 esitetään periaate rakennuksen kiertymästä sekä leikkausmuodonmuutoksesta. (Betoniteollisuus ry 2010, 10–11.)

$$F_{v,Ed} \leq k_1 \frac{n_s}{n_s + 1,6} \frac{\sum E_{cd} l_c}{L^2} \quad (21)$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{ce}} \quad (22)$$

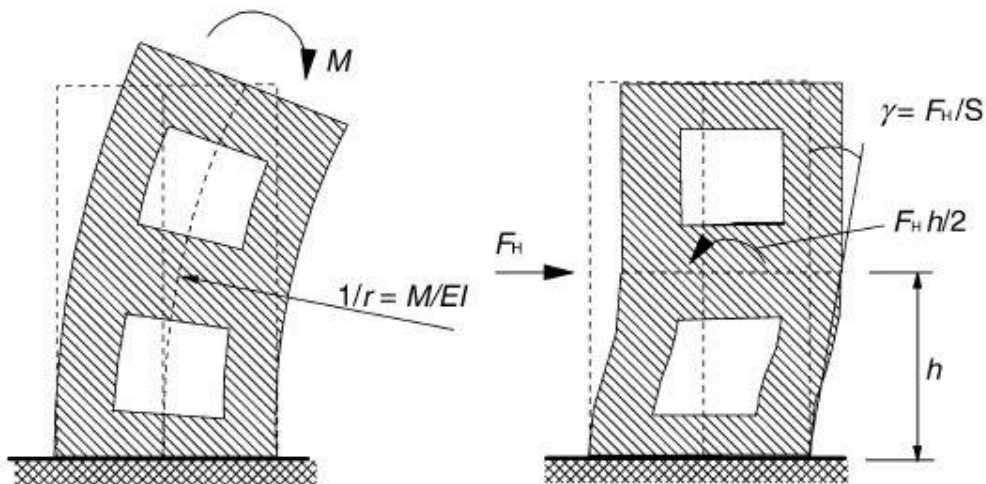
$$F_{v,Ed} \leq 0,1 F_{V,B} \quad (23)$$

$$0,1 F_{V,B} = \frac{F_{V,BB}}{1 - \frac{F_{V,BB}}{F_{V,BS}}} \quad (24)$$

$$F_{V,BS} = \sum S \quad (25)$$

missä

$F_{V,Ed}$	jäykistettyihin ja jäykistäviin sauvoihin vaikuttava kokonaiskuorma
n_s	kerrosten lukumäärä
L	momenttijäykistyksen yläpuolinen kokonaiskorkeus
E_{cd}	betonin kimmokertoimen mitoitusarvo
I_c	jäykistävien sauvojen jäyhyysmomentti halkeamattoman poikkileikkauksen mukaisesti
γ_{ce}	1,2
k_1	0,31
k_2	0,62
$F_{V,B}$	rakennekokonaisuuden nurjahduskuorma (huomioidaan leikkausmuodonmuutos ja käyritymä)
$F_{V,BB}$	rakennekokonaisuuden nurjahduskuorma (huomioidaan vain taivutuksen vaikutukset)
$F_{V,BS}$	rakennekokonaisuuden nurjahduskuorma (huomioidaan vain leikkausvoiman vaikutukset)
$\sum S$	jäykistävien rakenneosien kokonaisleikkausjäykkyys (voima jaettuna leikkausmuodonmuutoksella) (Betoniteollisuus ry 2010, 10–11.)



KUVIO 6. Periaatekuvio rakennuksen käyritymästä ja leikkausmuodonmuutoksesta (SFS-EN 1992-1-1 2007, 208)

Silloin kun rakennekokonaisuuden toisen kertaluvun vaikutukset on otettava huomioon, tämä voidaan tehdä suurentamalla rakenteeseen vaikuttavia vaakavoimia. Kaavasta 26 saadaan kuvitteellinen suurennettu vaakakuorma $F_{H,Ed}$.

$$F_{H,Ed} = \frac{F_{H,0Ed}}{1 - \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,B}}} \quad (26)$$

missä

$F_{H,0Ed}$ tuulen, vinouden ym. aiheuttama lineaarisesti laskettu vaakavoima

$F_{V,Ed}$ jäykistäviin ja jäykistettäviin rakenteisiin vaikuttava pystysuora kokonaisvoima

$F_{V,B}$ rakennekokonaisuuden nimellinen nurjahduskuorma
(Betoniteollisuus ry 2010, 11.)

Rakennekokonaisuuden vaakakuorman laskentaan voidaan käyttää kaavaa 27, jos nimellistä nurjahduskuormaa ei ole laskettu.

$$F_{H,Ed} = \frac{F_{H,0Ed}}{1 - \frac{F_{H,1Ed}}{F_{H,0Ed}}} \quad (27)$$

missä $F_{H,1Ed}$ on nimellinen vaakakuorma, joka aiheuttaa samat taivutusmomentit kuin pystykuorma $N_{V,Ed}$. $N_{V,Ed}$ vaikuttaa deformatiiviseen rakenteeseen, jonka siirtymä- ja muodonmuutostilan aiheuttaa kuorma $F_{H,0Ed}$ lineaarisesti laskettuna. (Betoniteollisuus ry 2010, 11–12.)

4 RAJATILAMITOITUS

Rajatilamitoitus perustuu asianomaisia rajatiloja varten muodostettujen rakenne- ja kuormitusmallien käyttämiseen. Tarkastelussa tulee osoittaa, ettei mikään rajatila ylity, kun käytössä on kuormille, mittatiedoille ja materiaali- tai tuoteominaisuuksille asiaankuuluvat mitoitusarvot. Tarkastelut tulee suorittaa kaikille merkittävälle mitoitus-tilanteille sekä kuormitustapauksille ja määräävät kuormitustapaukset tule selvittää. (SFS-EN 1990 2009, 52.)

Mitoitustilanteiden valinnassa tulee ottaa huomioon rakenteen toimintaolosuhteet. Normaalisti vallitsevan mitoitustilanteen lisäksi tarkasteltavina tilanteina voivat olla myös tilapäiset mitoitustilanteet, onnettomuustilanteet sekä maanjäristysmitoitustilanteet. Tilapäisinä mitoitustilanteina voi olla esimerkiksi asennus- tai korjaamistilanne ja onnettomuustilanteena tulipalo, räjähdys tai törmäys. Suomessa maanjäristysmitoitustilanne tarkastellaan vain tilaajan niin edellyttäessä. (RIL 201-1-2011 2011, 27.)

4.1 Murtorajatila

Murtorajatiloiksi on luokiteltava kaikki ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen, sekä joissakin olosuhteissa aineen tai tavaran suojaamiseen liittyvät rajatilat (SFS-EN 1990 2009, 52).

Tarkistettavia murtorajatiloja ovat

- jäykän kappaleen tai jonkin sen osan tasapainon menetys,
- rakenteen vaurioituminen liiallisen siirtymän, väsymisen tai muun ajasta riippuvan vaikutuksen seurauksena,
- rakenteen tai sen osan muuttuminen mekanismiksi
- katkeaminen
- rakenteen tai sen osan stabiiliuden menetys(myös tuet ja perustukset)

(SFS-EN 1990 2009, 54).

4.2 Käyttörajatila

Käyttörajatiloina luokitellaan ihmisten mukavuuteen, rakennuksen ulkonäköön ja rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä vaikuttavat rajatilat. Vaikuttavia seikkoja voivat olla siirtymät, värähtelyt sekä vauriot. (SFS-EN 1990 2009, 54.)

Palautuva ja palautumaton käyttörajatila tulee erottaa toisistaan tarkasteluissa. Käyttörajatilan vaatimuksia voidaan sopia kohdekohtaisesti, mikäli minimivaatimuksia ei ole määritelty tai halutaan asettaa tiukemmat rajoitukset. Käyttörajatilan minimivaatimuksia esitetään standardeissa EN 1992...EN 1999. (RIL 201-1-2011 2011, 28.)

4.3 Tilapäiset ja onnettomuusmitoitustilanteet

Jäykistyksen suunnittelussa on huomioitava asennusaikaisen jäykistämisen mahdollisesti vaativat väliaikaistuen ja niiden ohjeistus asennussuunnitelmiin. Asennusjärjestyksellä pyritään välttämään ylimääräisiä asennusaikaisia tuentoja, mutta on huomioitava, että asennusaikainen jäykistysjärjestelmä sekä jäykistävät rakenteet saattavat poiketa lopullisesta järjestelmästä. (Betoniteollisuus ry 2010, 8.)

Jatkuva sortuma ja etenevä rakenteiden vaurioituminen on pyrittävä estämään onnettomuustilanteissa. Yksittäisten rakenneosien vaurioitumisen ja kantokyvyn menetyksen seurauksena vierekkäisten rakenneosien kuormitukset eivät saa kasvaa liian suuriksi. Jos rakenteita ei ole suunniteltu kestäväksi onnettomuuskuormia monoliittisesti, niissä tulee olla jatkuvan sortuman estämiseen soveltuva sidejärjestelmä. Sidejärjestelmä mahdollistaa kuormien siirtymisen toista kautta paikallisen vaurion jälkeen. Osittaisen sortuman koskiessa jäykisterakennetta on jäljelle jäävien rakenteiden pystyttävä varmistamaan rakennuksen stabiilius. (Betoniteollisuus ry 2010, 8.)

5 VOIMIEN JAKAUTUMINEN

Peruseriaatteena vaakavoimien jakautumisessa jäykistävillä pystyrakenteille on vaakasuorien tasojen toimiminen jäykkinä levyinä ja voimien jakautuminen tasojen kautta seinille seinien jäykkyyksien suhteessa (Betoniteollisuus ry 2010, 26).

5.1 Maston jäykkyys

Yleisimmässä tapauksessa pistekuorman kuormittamalle mastolle taivutuksen aiheuttama siirtymä saadaan kaavasta 28 ja leikkauksen aiheuttama siirtymä kaavasta 29. Kokonaissiirtymä saadaan kaavasta 30 ja jäykkyys kaavasta 31. Leikkauksen ja taivutuksen aiheuttamien muodonmuutoksien periaatteet on esitetty kuviossa 7.

$$v_b = F \frac{H^3}{3EI} \quad (28)$$

$$v_s = F K \frac{H}{GA} \quad (29)$$

$$V_b = v_b + v_s \quad (30)$$

$$\frac{1}{k} = \frac{H^3}{3EI} + K \frac{H}{GA} \quad (31)$$

missä

v_b	Taivutuksen aiheuttama siirtymä
v_s	leikkauksen aiheuttama siirtymä
V_b	kokonaissiirtymä
H	maston korkeus
E	maston kimmomoduuli
I	mastoseinän jäyhyys
A	mastoseinän poikkipinta-ala
G	seinän liukumoduuli

(Betoniteollisuus ry 2010, 26.)

Jäykkyydet suunnissa x ja y saadaan kaavoista 32 ja 33. Leikkausmuodonmuutoksen kertoimet K_x ja K_y saadaan kaavoista 34 ja 35.

$$\frac{1}{k_x} = \frac{H^3}{3EI_y} + K_x \frac{H}{GA} \quad (32)$$

$$\frac{1}{k_y} = \frac{H^3}{3EI_x} + K_y \frac{H}{GA} \quad (33)$$

$$K_x = \frac{A}{l_y^2} \int \frac{S(x)^2}{t(x)} dx \quad (34)$$

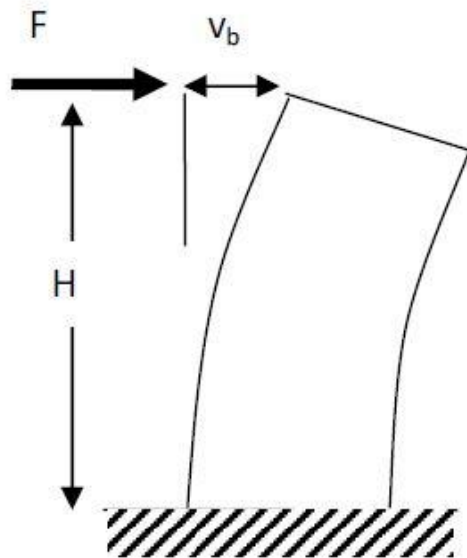
$$K_y = \frac{A}{l_x^2} \int \frac{S(y)^2}{t(y)} dy \quad (35)$$

missä

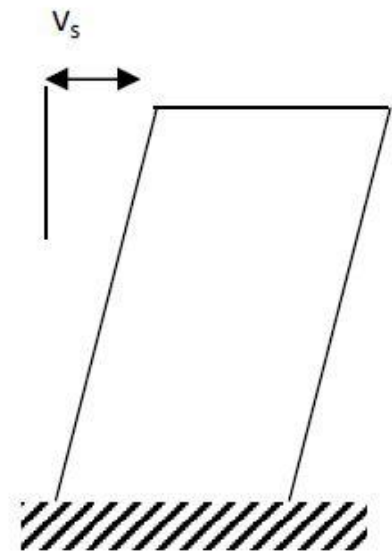
$S(x)$ staattinen momentti mastopoikkileikkauksen suhteen

$t(x)$ poikkileikkauksen paksuus

(Betoniteollisuus ry 2010, 26.)



Taivutuksen
aiheuttama
muodonmuutos



Leikkauksen
aiheuttama
muodonmuutos

KUVIO 7. Mastoseinän muodonmuutoksia taivutuksen ja leikkauksen aiheuttamina
(Betoniteollisuus ry 2010, 26)

5.2 Kuormitus ei aiheuta kiertymää

Seinien ollessa sijoitettuna symmetrisesti vaikuttavan voiman suunnassa, voima ei aiheuta vaakatasoihin kiertymää. Seinän kokonaiskuormasta saama osuus saadaan kaavasta 36.

$$Q_y = \frac{k_y}{\sum k_y} F_y \quad (36)$$

missä

Q_y	kyseisen seinän y-akselin suunnassa saama osuus kokonaisvaakavoimasta F_y
k_y	seinän jäykkyyttä vastaava termi, voima, jolla seinä saa yksikön suuruisen siirtymän
$\sum k_y$	jäykistävien seinien jäykkyyksien summa (Betoniteollisuus ry 2010, 27.)

5.3 Kuormitus aiheuttaa kiertymän

Mikäli jäykistävien pystyrakenteiden sijainti ei ole täysin symmetrinen kuormaresultantin suhteen, rakennukselle tulee lisäksi kiertymä vaakavoiman epäkeskisyydestä kiertokeskiön suhteen. Tässä tapauksessa rakennuksen jäykistysjärjestelmään vaikuttaa momentti, joka saadaan kaavasta 37.

$$M = F_y x_1 - F_x y_1 \quad (37)$$

missä

F_x	vaakavoimien resultantti x-akselin suuntaan
F_y	vaakavoimien resultantti y-akselin suuntaan
x_1	voimaresultantin etäisyys kiertokeskiöstä x-suunnassa
y_1	voimaresultantin etäisyys kiertokeskiöstä y-suunnassa (Betoniteollisuus ry 2010, 30.)

Yksittäisten jäykistysseinien kiertokeskiöiden sijaitessa seinien painopisteissä, rakennuksen kiertokeskiön sijainti saadaan kaavasta 38. x' ja y' alkuperäisessä koordinaatistossa.

$$\bar{X} = \frac{\sum k_y x'}{\sum k_y}, \bar{Y} = \frac{\sum k_x y'}{\sum k_x} \quad (38)$$

Kiertokeskiön koordinaatistossa ulkoisten kuormien ja sisäisten voimien tasapainoehdot on esitetty kaavassa 39.

$$\begin{aligned} F_x &= v_x \sum k_x \\ F_y &= v_y \sum k_y \\ M &= \varphi [\sum T_{xy} + \sum k_x y^2 + \sum k_y x^2] \end{aligned} \quad (38)$$

missä

v_x	siirtymä x-suunnassa
v_y	siirtymä y-suunnassa
φ	kiertymä
T_{xy}	vääntöjäykkyys, osamastolle kiertymästä $\varphi = 1$ aiheutuva vääntömomentti

Kaavan 39 tasapainoehdoista saadaan siirtymätilat kaavoilla 39–41.

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x} \quad (39)$$

$$v_y = \frac{F_y}{\sum k_y} \quad (40)$$

$$\varphi = \frac{M}{\sum T_{xy} + \sum k_x y^2 + \sum k_y x^2} \quad (41)$$

Suorissa mastoseinissä kiertymässä (kaava 41) T_{xy} :n osuus jää pieneksi ja se voidaan jättää pois laskelmista. Osamastojen kuormitusten osuudet saadaan siirtymätilan perusteella kaavoista 42–44. (Betoniteollisuus ry 2010, 30–31.)

$$Q_x = k_x v_x - k_x y \varphi \quad (42)$$

$$Q_y = k_y v_y - k_y x \varphi \quad (43)$$

$$M = \varphi T_{xy} \quad (44)$$

6 ANALYYSIT

Analyyseissä tarkastellaan vakavoimien jakautumista jäykistäville rakenneosille 2D-tasotapauksena. Kaikissa tutkittavissa tapauksissa lähtökohtana on sama pohjaratkaisu ja jäykistävinä rakenneosina betoniseinä sekä teräsjäykisteristikko. Ristikon ja seinän leveydet ovat toisiinsa nähden samat kaikissa tapauksissa vaihdellen välillä 4–10 m.

Rakennuksen maastoluokka on IV. Maaston pinnan muoto ja rosoisuus eivät vaikuta puuskanopeuspaineeseen.

Robot Structural Analysis -ohjelmalla saadut tulokset, käsilaskennan tulokset sekä analyysien lähtötiedot esitetään taulukoissa 5–12.

Pohjaratkaisut on esitetty liitteessä 1.

6.1 Analyysi 1

Analyysissä 1 esimerkkikohteessa on kolme kerrosta ja jäykistävien rakenteiden leveydet ovat 4–6 m. Tarkemmat lähtötiedot tapauksille esitetään taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Analyysin 1 lähtötietoja

	Tapaus 3.1	Tapaus 3.2
Kerrosten määrä	3	3
Kerroskorkeus	3,9m	3,9m
Rakennuksen korkeus	11,7m	11,7m
Rakennuksen leveys	24m	24m
Rakennuksen syvyys	32m	36m
Seinän leveys	4m	6m
Ristikon leveys	4m	6m
Seinän paksuus	0,2m	0,2m
Teräspilarit	D324*12	D324*12
Ristikon diagonaalit	100*100*5	100*100*5
Diagonaali kulma α	62,85	52,4
Palkit	WQ400-8-40x290-25x630	WQ400-8-40x290-25x630

6.1.1 Käsin laskettu

Tässä luvussa lasketaan tapaus 3.1 ja esitetään se auki kirjoitettuna. Loput tapaukset esitetään ainoastaan taulukoituina.

Tuulikuorma:

Rakennukseen kohdistuva kokonaistuulivoima

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

Rakennekerroin $C_s C_d$

Valitaan $C_s C_d = 1,0$ (Varmalla puolella)

Asuinrakennus (koko $b*d*h = 24*32*11,7m$)

Tehollinen hoikkuus:

$\lambda = 0,975$, kun $h/b = 11,7m / 24m$ ja $h < 15m$

Voimakerroin C_f :

$C_f = 1,18$, $d/b = 1,33$

Puuskanopeuspaine:

$q_p(11,7) = 0,35$

$$F_w = 1,0 * 1,18 * \frac{0,35kN}{m^2} * 11,7m * 24m = 116kN$$

Mittaepätarkkuudet:

$$\theta_i = \theta_0 \alpha_h \alpha_m$$

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

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{11,7m}} = 0,58$$

$$\text{Koska } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_h = \frac{2}{3} = 0,67$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{16}\right)} = 0,7289$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} * 0,67 * 0,7289 = 0,0024$$

Rakennuksessa kerroksille tulevat kuormat ovat:

$$g_k = 7kN/m^2$$

$$q_k = 3kN/m^2$$

$$A = 24m * 32m = 768m^2$$

$$G_k = \frac{7kN}{m^2} * 768m^2 = 5376kN$$

$$Q_k = \frac{3kN}{m^2} * 768m^2 = 2304kN$$

$$Hg_k = 5376kN * 0,0024 = 13,1kN$$

$$Hq_k = 2304kN * 0,0024 = 5,6kN$$

Kokonaislisävaakavoimat:

$$Hg_k = 3 * 13,1kN = 39,4kN$$

$$Hq_k = 3 * 5,6kN = 16,9kN$$

Tässä työssä oletetaan, että toisen kertaluvun vaikutuksia ei tarvitse tarkastella.

Tarkasteltava kuormitusyhdistelmä STR, tuuli määräävänä:

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Vaakakuormat:

$$1,15 * 1,0 * 39,4kN + 0,7 * 1,5 * 1,0 * 16,9kN + 1,5 * 1,0 * 116kN = 238kN$$

Pystykuormat:

$$1,15 * 1,0 * \frac{7kN}{m^2} * 768m^2 + 1,5 * 1,0 * 0,7 * \frac{3kN}{m^2} * 768m^2 = 8602kN$$

Seinän jäykkyys:

$$\frac{1}{k_x} = \frac{H^3}{8EI_y} + \frac{1,5H}{EA}$$

$$\frac{1}{k_x} = \frac{(11,7m)^3}{8 \cdot \frac{35000MN}{m^2} \cdot 1,06667m^4} + \frac{1,5 \cdot 11,7m}{\frac{35000MN}{m^2} \cdot 0,8m^2} = \frac{0,0059m}{MN}$$

$k_x = 167MN/m$

Ristikon paarteina toimivien teräspilareiden muuttaminen vastaaviksi betonipilareiksi:

Teräspilareiden

$$I = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)$$

$$I = \frac{\pi}{4} ((0,162m)^4 - (0,150m)^4) = 1,433 \cdot 10^{-4}m^4$$

$$EA = \frac{210000MN}{m^2} \cdot 0,0118m^2 = 2470MN$$

$$b = h = \sqrt{\frac{2470MN}{35000 \frac{MN}{m^2}}} = 0,266m$$

→ Vastaavaksi betonipilariksi saadaan **$0,266m \cdot 0,266m$**

Diagonaalien muuntaminen vastaavaksi betoniseinäksi:

$$t = 2\cos^2\alpha \sin\alpha \left(\frac{4h^2}{L^3} + \frac{3}{L} \right) \frac{A_s E_s}{E_c}$$

$$t = 2\cos^2 62,85^\circ \sin 62,85^\circ \left(\frac{4 \cdot (3,9m)^2}{(4m)^3} + \frac{3}{4m} \right) \cdot \frac{1836 \cdot 10^{-6}m^2 \cdot 210000MN/m^2}{35000MN/m^2}$$

$= 6,9mm$

Teräsristikkoa vastaavan I-poikkileikkauksen jäyhyysmomentti:

$$A = 0,319m \cdot 4m - 2 \cdot 3,362mm \cdot 0,156m = 0,2267m^2$$

$$I = \sum I$$

$$I = \frac{0,319m \cdot (4m)^3}{12} - 2 \cdot \frac{0,156m \cdot (3,362m)^3}{12} = 0,517m^4$$

$$\frac{1}{k_x} = \frac{(11,7m)^3}{3 \cdot \frac{35000MN}{m^2} \cdot 0,7051m^4} + 5,35 \frac{11,7m \cdot 2(1+0,2)}{\frac{35000MN}{m^2} \cdot 0,2267m^2} = \frac{0,0406m}{MN}$$

missä K_x saa arvonsa I-poikkileikkaukselle kaavasta:

$$K_x = \frac{2,4A}{ab} = \frac{2,4 \cdot 0,2267m^2}{0,319m \cdot 0,319m} = 5,35$$

$k_x = 17,6MN/m$

Kokonaisjäykkyys: $k_x = 167,0MN/m + 17,6MN/m = 184,6MN/m$

Seinän osuus $\frac{187,0MN/m}{184,6MN/m} = 0,90$

Ristikön osuus $\frac{17,6MN/m}{184,6MN/m} = 0,10$

Rakennuksen siirtymä: $V_x = \frac{F_x}{\sum k_x} = \frac{0,238MN}{184,6MN/m} = 1,29mm < \frac{H}{400} = 29mm$

Ristikön kuormaosuus: $0,00129m * 17,6MN/m = 23kN$

Seinän kuormaosuus: $0,00129m * 167MN/m = 215kN$

Kaatumisvarmuus:

$$E_{d,dst} < E_{d,stab}$$

EQU kuormitusyhdistelmä:

$${}_{0,9}^{1,1K_{FI}} \left\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i} \right.$$

Vaakakuormat:

$$0,9 * 1,0 * 39,4kN + 1,5 * 1,0 * 116kN = 210kN$$

$$70kN/kerros$$

$$18kN/m$$

Pystykuormat:

$$0,9 * 1,0 * \frac{7kN}{m^2} * 768m^2 = 4838kN$$

Seinän kaatava momentti:

$$M = \frac{q * h^3}{2} = \frac{\frac{18kN}{m} * 0,9 * (11,7m)^2}{2} = 1111kNm$$

Seinää pystyssä pitävä momentti:

$$M = 0,9 * 1,0 * \frac{7kN}{m^2} * 144m^2 * 2m = 1814kNm$$

Ristikon kaatava momentti:

$$M = \frac{q \cdot h^3}{2} = \frac{\frac{18 \text{ kN}}{\text{m}} \cdot 0,1 \cdot (11,7 \text{ m})^2}{2} = 117 \text{ kNm}$$

Ristikkoa pystyssä pitävä momentti:

$$M = 0,9 \cdot 1,0 \cdot \frac{7 \text{ kN}}{\text{m}^2} \cdot 144 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} = 1814 \text{ kNm}$$

Ehto: $E_{d,dst} < E_{d,spb}$

Seinällä: $1111 \text{ kNm} < 1814 \text{ kNm}$

Ok. Käyttöaste 61 %

Ristikolla: $117 \text{ kNm} < 1814 \text{ kNm}$

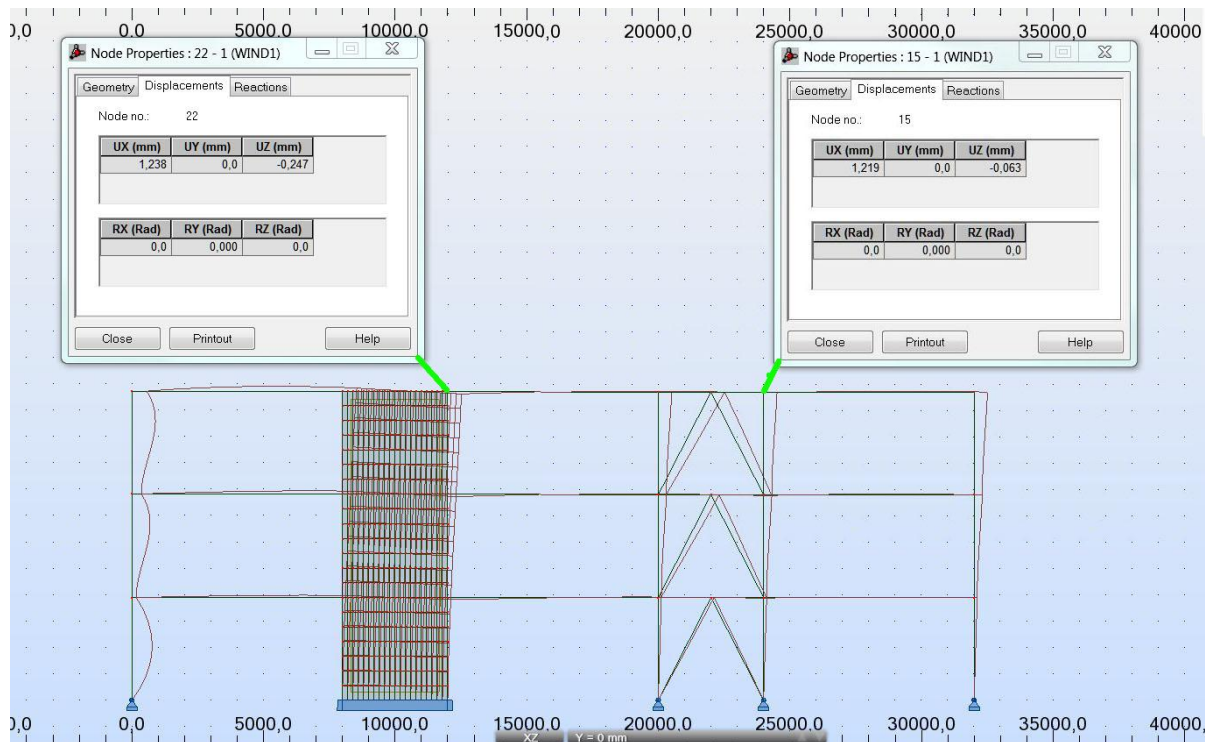
Ok. Käyttöaste 6 %

TAULUKKO 5. Analyysin 1 käsilaskennan tuloksia

Tapaus 3.1			Tapaus 3.2		
Kokonaisvaakavoima	238	kN	Kokonaisvaakavoima	238	kN
Seinän jäykkyys	167	MN/m	Seinän jäykkyys	498	MN/m
Seinän jäykkyys	90	%	Seinän jäykkyys	95	%
Pukin jäykkyys	17,6	MN/m	Pukin jäykkyys	33,1	MN/m
Pukin jäykkyys	10	%	Pukin jäykkyys	5	%
Yhdistetty jäykkyys	177	MN/m	Yhdistetty jäykkyys	531	MN/m
Seinän siirtymä	1,29	mm	Seinän siirtymä	0,45	mm
Pukin siirtymä	1,29	mm	Pukin siirtymä	0,45	mm

6.1.2 FEM-laskenta

Robot Structural Analysis FEM-laskennalla saadut vertailuarvot jäykistävien rakenteiden siirtymille esitetään taulukossa 6. Kuvio 8 esittää FEM-laskennan ilmoittamat siirtymät tapaukselle 3.1.



KUVIO 8. Robot Structural Analysis -ohjelmalla saadut siirtymät tapauksen 3.1 jäykistävälle seinälle ja K-ristikolle.

TAULUKKO 6. Robot Structural Analysis tuloksia tapaukselle 1

Tapaus 3.1		
Seinän siirtymä	1,24	mm
Pukin siirtymä	1,22	mm

Tapaus 3.2		
Seinän siirtymä	0,45	mm
Pukin siirtymä	0,43	mm

6.2 Analyysi 2

Esimerkkikohteessa on kahdeksan kerrosta ja jäykistävien rakenteiden leveydet ovat 6–8 m. Tarkemmat lähtötiedot tapauksille esitetään taulukossa 7. Käsilaskennan tulokset on koottu taulukkoon 8 ja FEM-laskennan tulokset taulukkoon 9.

TAULUKKO 7. Analyysin 2 lähtötietoja

	Tapaus 8.1	Tapaus 8.2
Kerrosten määrä	8	8
Kerroskorkeus	3,9m	3,9m
Rakennuksen korkeus	31,2m	31,2m
Rakennuksen leveys	24m	24m
Rakennuksen syvyys	36m	40m
Seinän leveys	6m	8m
Ristikon leveys	6m	8m
Seinän paksuus	0,3m	0,3m
Pilarit1-4Krs.	D610x16	D610x16
Pilarit5-8Krs.	D508x12	D508x12
ristikon diagonaalit	250x250x8	250x250x8
palkit	WQ400-8-40x290-25x630	WQ400-8-40x290-25x630
Siirtymän raja-arvo H/400	78mm	78mm

TAULUKKO 8. Analyysin 2 käsilaskennan tuloksia

Tapaus 8.1			Tapaus 8.2		
Kokonaisvaakavoima	924	kN	Kokonaisvaakavoima	911	kN
Seinän jäykkyys	50	MN/m	Seinän jäykkyys	111	MN/m
Seinän jäykkyys	83	%	Seinän jäykkyys	90	%
Pukin jäykkyys	29,7	MN/m	Pukin jäykkyys	12,5	MN/m
Pukin jäykkyys	17	%	Pukin jäykkyys	10	%
Yhdistetty jäykkyys	79,7	MN/m	Yhdistetty jäykkyys	123,5	MN/m
Seinän siirtymä	15,34	mm	Seinän siirtymä	7,39	mm
Pukin siirtymä	15,34	mm	Pukin siirtymä	7,39	mm

TAULUKKO 9. Robot Structural Analysis tuloksia tapaukselle 2

Tapaus 8.1			Tapaus 8.2		
Seinän siirtymä	18,85	mm	Seinän siirtymä	6,14	mm
Pukin siirtymä	12,95	mm	Pukin siirtymä	6,25	mm

6.3 Analyysi 3

Esimerkkikohteessa on kaksitoista kerrosta ja jäykistävien rakenteiden leveydet ovat 8–10 m. Tarkemmat lähtötiedot tapauksille esitetään taulukossa 10. Käsilaskennan tulokset on koottu taulukkoon 11 ja FEM-laskennan tulokset taulukkoon 12.

TAULUKKO 10. Analyysin 3 lähtötietoja

	Tapaus 12.1	Tapaus 12.2
Kerrosten määrä	12	12
Kerroskorkeus	3,9m	3,9m
Rakennuksen korkeus	46,8m	46,8m
Rakennuksen leveys	24m	24m
Rakennuksen syvyys	40m	44m
Seinän leveys	8m	10m
ristikon leveys	8m	10m
Seinän paksuus	0,4m	0,4m
Pilarit1-4Krs.	D660x24	D660x24
Pilarit5-8Krs.	D610x16	D610x16
Pilarit9-12Krs.	D508x12	D508x12
ristikon diagonaalit	300X300X12.5	300X300X12.5
palkit	WQ400-8-40x290-25x630	WQ400-8-40x290-25x630
Siirtymän raja-arvo H/400	117mm	117mm

TAULUKKO 11. Analyysin 3 käsilaskennan tuloksia

Tapaus 12.1			Tapaus 12.2		
Kokonaisvaakavoima	1557	kN	Kokonaisvaakavoima	1577	kN
Seinän jäykkyys	47	MN/m	Seinän jäykkyys	91	MN/m
Seinän jäykkyys	84	%	Seinän jäykkyys	86	%
Pukin jäykkyys	9	MN/m	Pukin jäykkyys	14,6	MN/m
Pukin jäykkyys	16	%	Pukin jäykkyys	14	%
Yhdistetty jäykkyys	56	MN/m	Yhdistetty jäykkyys	105,6	MN/m
Seinän siirtymä	28	mm	Seinän siirtymä	14,9	mm
Pukin siirtymä	28	mm	Pukin siirtymä	14,9	mm

TAULUKKO 12. Robot Structural Analysis tuloksia tapaukselle 3

Tapaus 12.1			Tapaus 12.2		
Seinän siirtymä	24	mm	Seinän siirtymä	13,7	mm
Pukin siirtymä	23,77	mm	Pukin siirtymä	13,6	mm

6.4 Analyysien tulokset

Yhteenveto ja vertailu saaduista tuloksista esitetään taulukoissa 13–16. Taulukossa 16 on esitetty vihreällä pohjalla arvot, joita käytetään jos laskennassa huomioidaan rakenteen sivusuhte.

TAULUKKO 13. FEM-laskennan tulokset kaikille tapauksille

Tapaus	Siirtymät, Robot	
	Seinä	pukki
3.1	1,24	1,22
3.2	0,45	0,43
8.1	12,85	12,95
8.2	6,14	6,25
12.1	24	23,77
12.2	13,7	13,6

TAULUKKO 14. Tulokset jäykistävälle seinälle käyttäen raja-arvoja

Yhdistetty, jos $0,3 < H/L < 4$							
Tapaus	H/L	MN/m		mm		%	
		Jäykkyys	Jäykkyys	Siirtymä käsin	Siirtymä Robot	Ero RSA	Ero RSA
31	2,9	167	90	1,29	1,24	4	0,05
32	2	498	95	0,45	0,45	0	0
81	5,2	50	83	15,34	12,85	19	2,49
82	3,9	111	90	7,39	6,14	20	1,25
121	5,9	47	84	28	24	17	4
122	4,7	91	86	14,9	13,7	9	1,2

TAULUKKO 15. Tulokset jäykistävälle teräspukille käyttäen raja-arvoja

Yhdistetty, jos $0,3 < H/L < 4$							
Tapaus	H/L	MN/m		mm		%	
		Jäykkyys	Jäykkyys	Siirtymä käsin	Siirtymä Robot	Ero RSA	Ero RSA
31	2,9	17,6	10	1,29	1,22	6	0,07
32	2	33,1	5	0,45	0,43	5	0,02
81	5,2	29,7	17	15,34	12,95	18	2,39
82	3,9	12,5	10	7,39	6,25	18	1,14
121	5,9	9	16	28	23,77	18	4,23
122	4,7	14,6	14	14,9	13,6	10	1,3

TAULUKKO 16. Rakennuksen kokonaissiirtymät

Tapaus	H/L	Vain taivutus				Yhdistetty			
		mm Siirtymä	% Ero RSA	% Seinä	% Pukki	mm Siirtymä	% Ero RSA	% Seinä	% Pukki
31	2,9	1,08	-12,9	85	15	1,29	4	90	10
32	2	0,33	-26,7	89	11	0,45	0	95	5
81	5,2	15,34	19,4	83	17	16,48	28	86	14
82	3,9	6,62	7,8	86	14	7,39	20	90	10
121	5,9	28	16,7	84	16	29,6	23	86	14
122	4,7	14,9	8,8	86	14	16,2	18	89	11

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää vaakavoimien jakautumista jäykistävien pystyrakenteiden kesken käytettäessä yhdistelmäjäykistystä sekä luoda taulukkolaskentapohja yhdistelmäjäykistykseen laskentaan. Työssä käsiteltiin aluksi rakennuksen jäykistämiseen liittyviä perustietoja, joiden pohjalta laskelmat voitiin suorittaa. Lopuksi työssä laskettiin esimerkkikohteen jäykistävien rakenteiden saamat kuormitukset erilaisilla lähtöarvoilla ja verrattiin niitä FEM-laskentaan.

Jäykistepukin osuudeksi esimerkkitapauksissa jäi ainoastaan 5–17 %. Ei ollut kuitenkaan kovin yllättävää, että samaa kokoluokkaa oleva teräsbetoniseinä on huomattavasti jäykempi, kuin vastaava teräsjäykistepukki.

Käsin laskemalla ja käyttäen yhdistetyn jäykkyyden raja-arvoina $0,3 < H/L < 4$ rakennuksen siirtymien tuloksiksi saatiin 0–20 % FEM-laskennan arvoista. Voitaneen siis todeta käsin laskemalla saatujen tulosten olevan varmallalla puolella, kuten pitääkin.

Vertailun vuoksi samojen tapausten siirtymät laskettiin huomioiden vain taivutusjäykkyys sekä käyttäen aina, sivusuhteesta välittämättä, yhdistettyä jäykkyyttä. Vain taivutusjäykkyyden huomioivissa tapauksissa tulokset olivat FEM-laskentaan verrattuna -27–19 %. Käyttäen yhdistettyä jäykkyyttä tulokset olivat 0–28 % FEM-laskennan arvoista.

Käytettäessä taivutusjäykkyyden ja leikkausjäykkyyden yhdistelmää laskennassa sivusuhteesta piittaamatta, tulokset saadaan reilusti varmalle puolelle. Laskelmien suorittaminen käyttäen aina yhdistettyä jäykkyyttä on sallittua, mutta kuten huomataan, tämä menetelmä antaa vähän turhankin varmallalla puolella olevia arvoja sivusuhteen ollessa suuri.

Mitä hoikempi jäykistävä rakenne on, sitä dominoivampi taivutusjäykkyyden osuus on. Jos taas jäykistävä rakenne on hyvin pitkä ja matala, leikkausjäykkyyden osuus muuttuu dominoivaksi.

LÄHTEET

Betoniteollisuus ry. 2010. *Jäykistysjärjestelmät*, 18.2.2010. [viitattu 14.4.2012]. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>

Ratvio, J. & Kullaa, J. 1994. *Betonelementtirakennusten jäykistys. Toimistorakennukset ja monikerroksiset asuinrakennukset*. Espoo: VTT.

RIL 201-1-2011. 2011. *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

RIL 201-2-2011. 2011. *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

RTT Rakennustuoteteollisuus ry. 1995. *Elementtirakennuksen jäykistys*. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Saarinen, E. 1986. *RIL125 Teräsbetonirakenteet*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

SFS-EN 1990. 2009. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

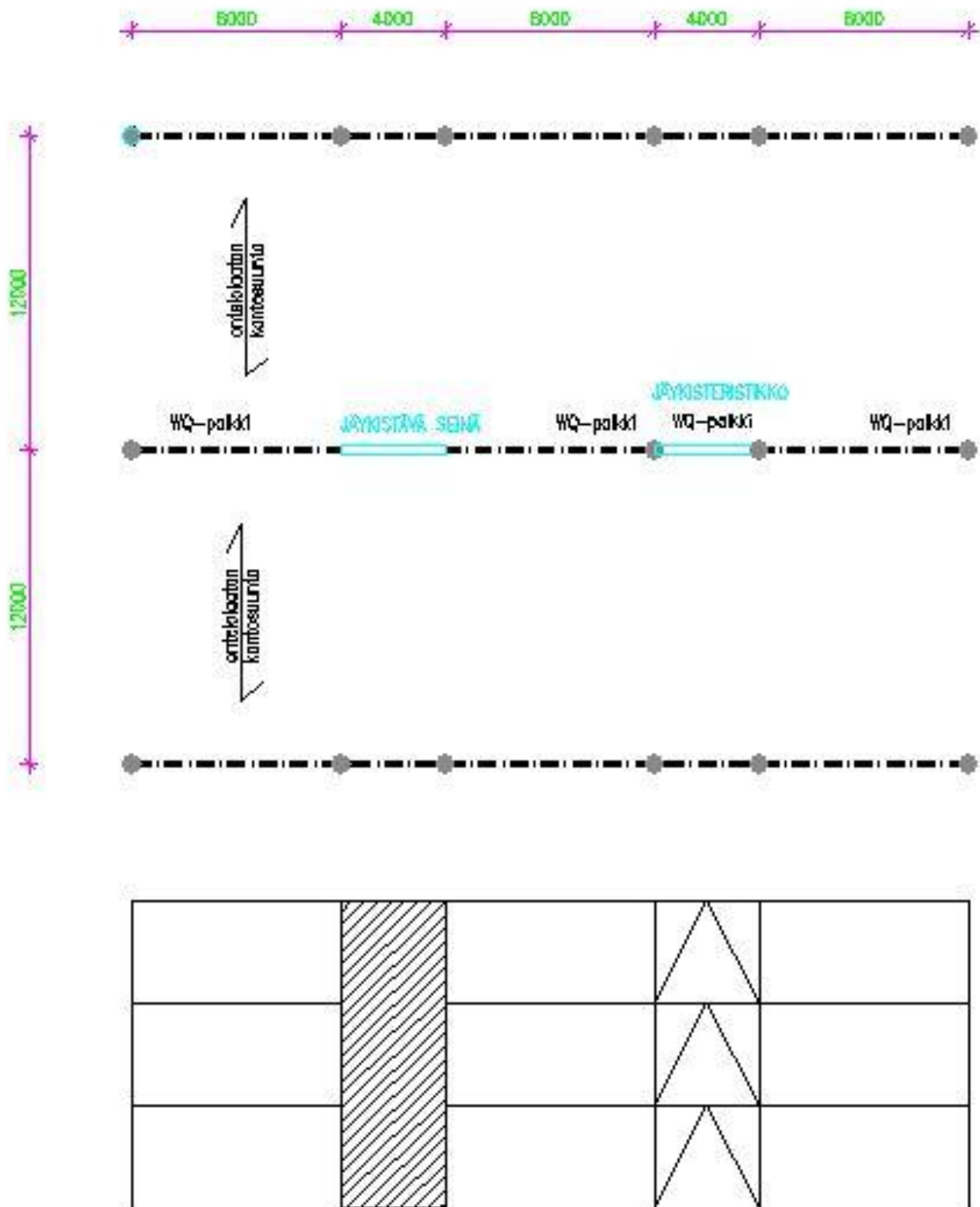
SFS-EN 1991-1-3. 2004 *Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-4. 2011. *Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

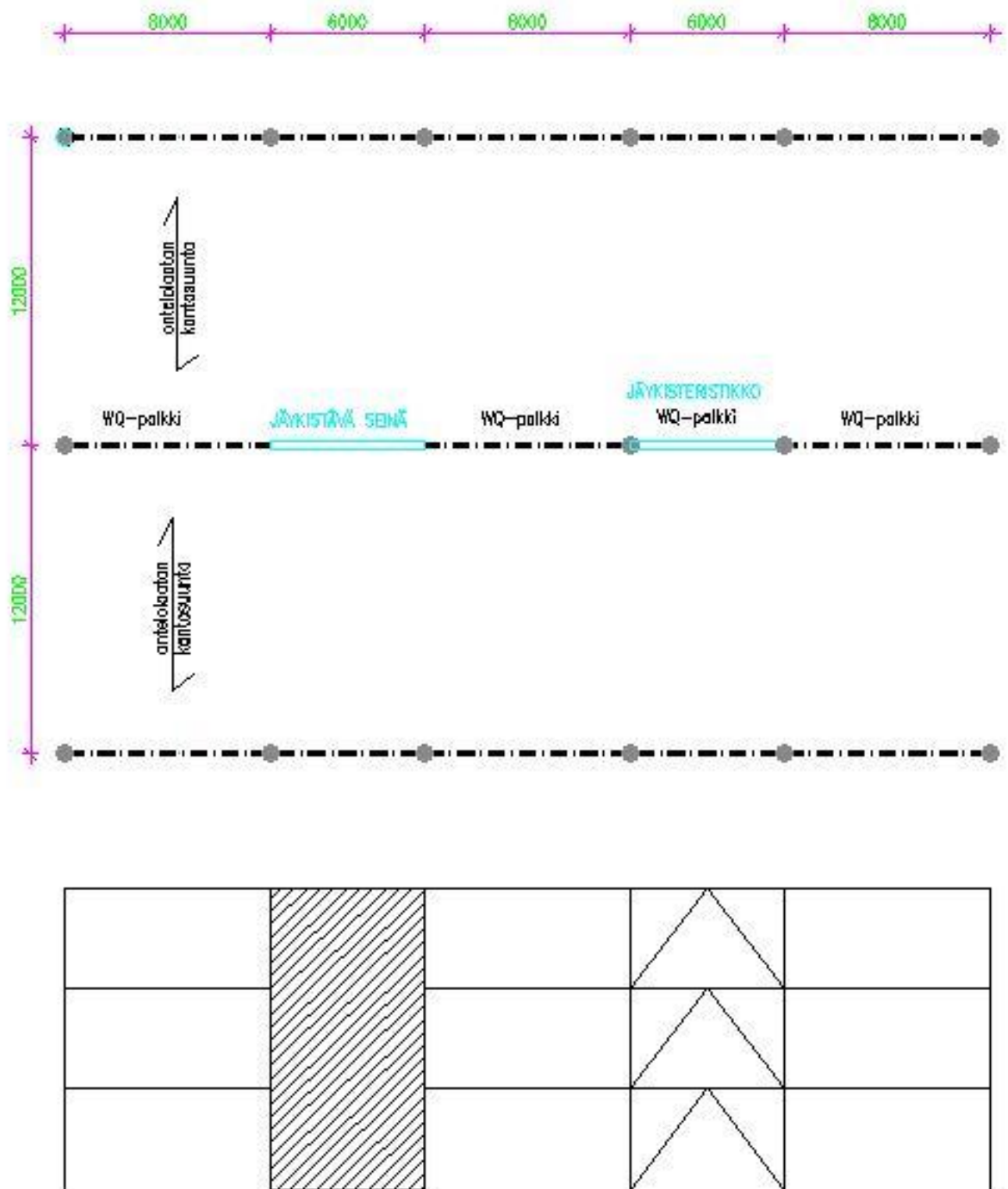
SFS-EN 1992-1-1. 2007. *Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-1. 2006. *Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

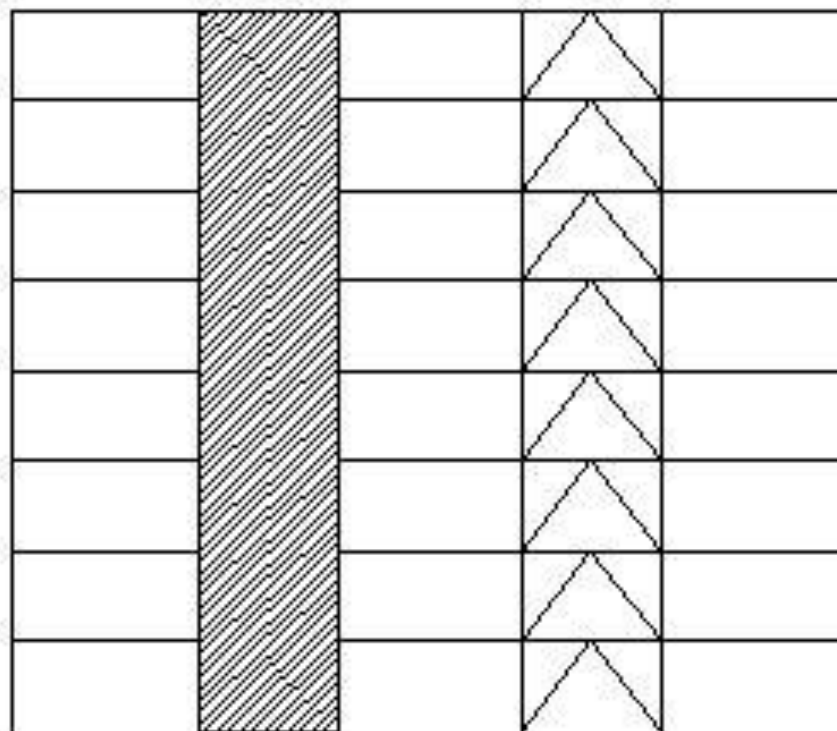
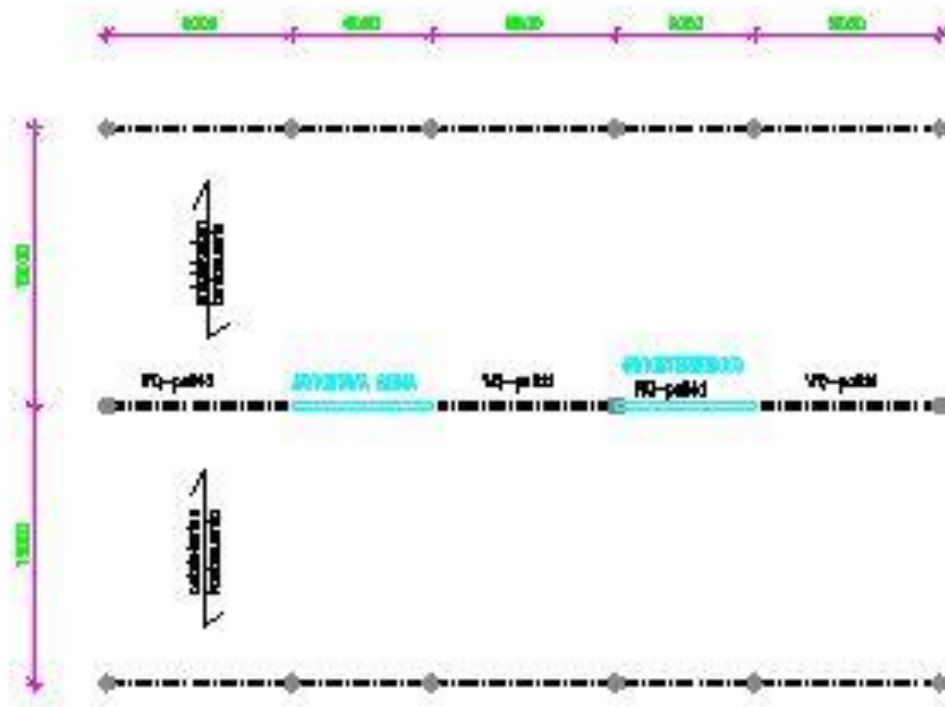
Tapaus 3.1



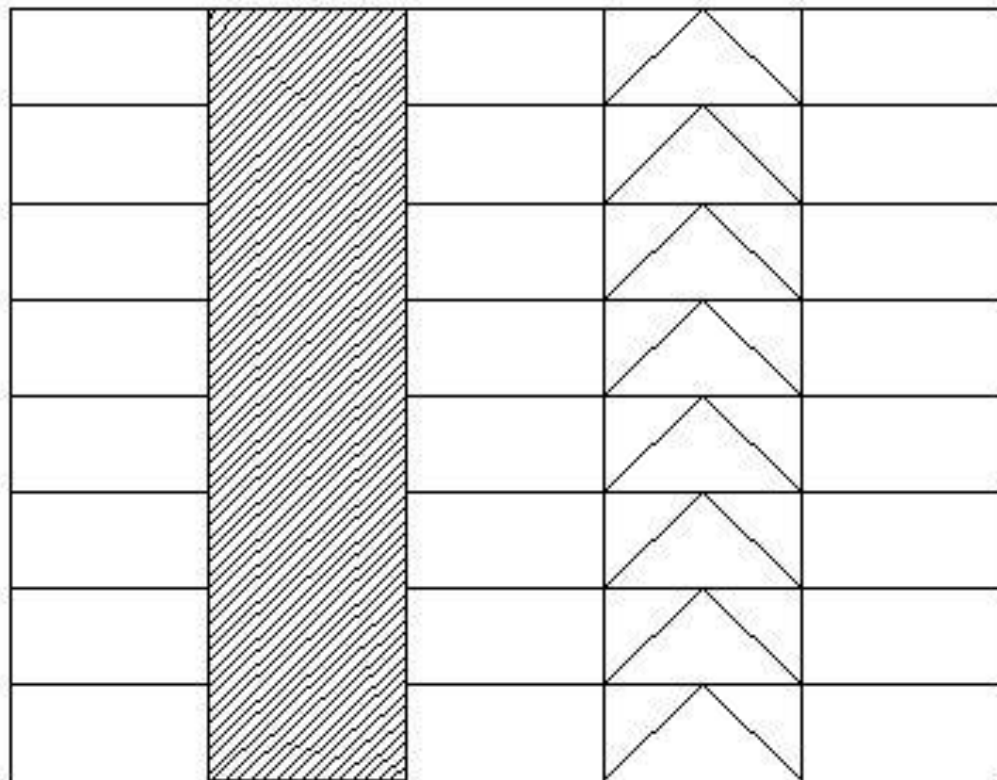
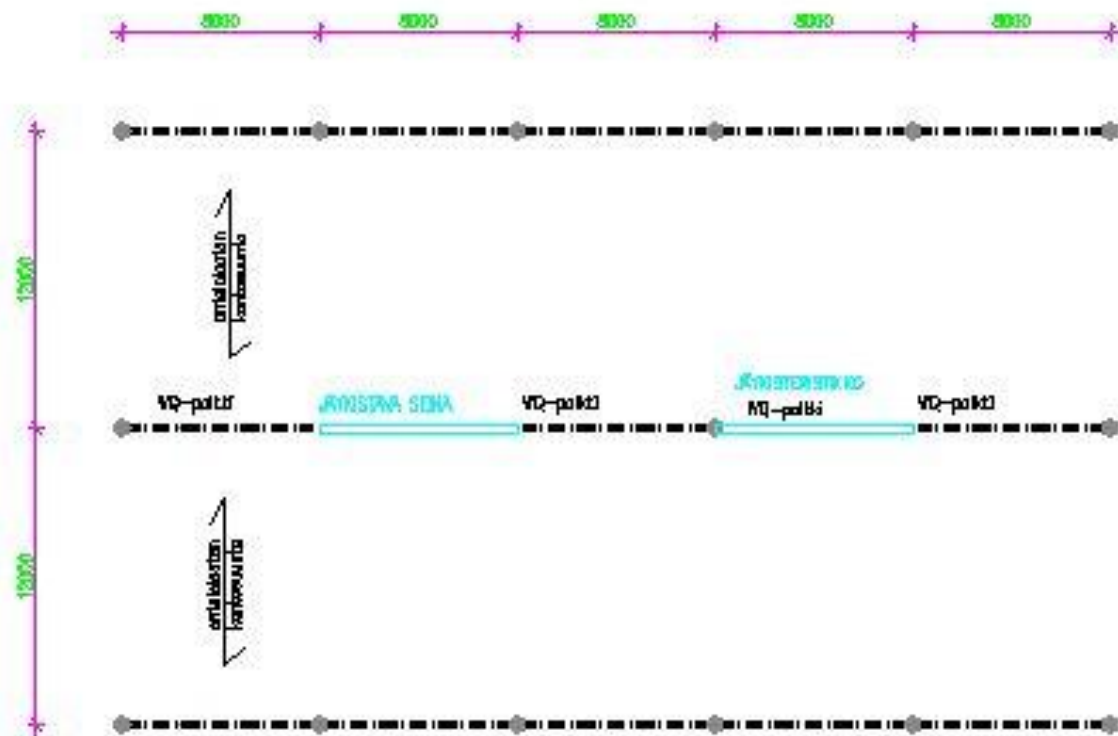
Tapaus 3.2



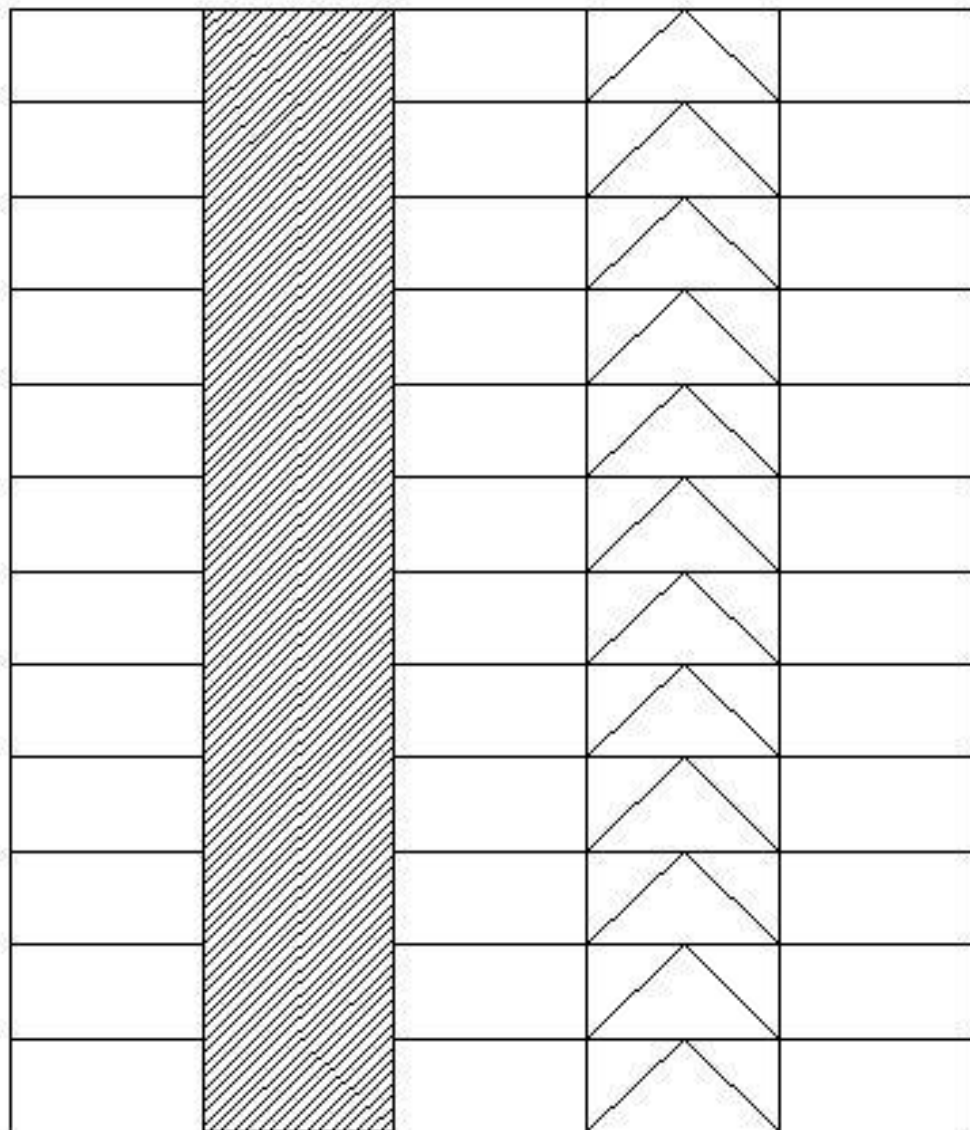
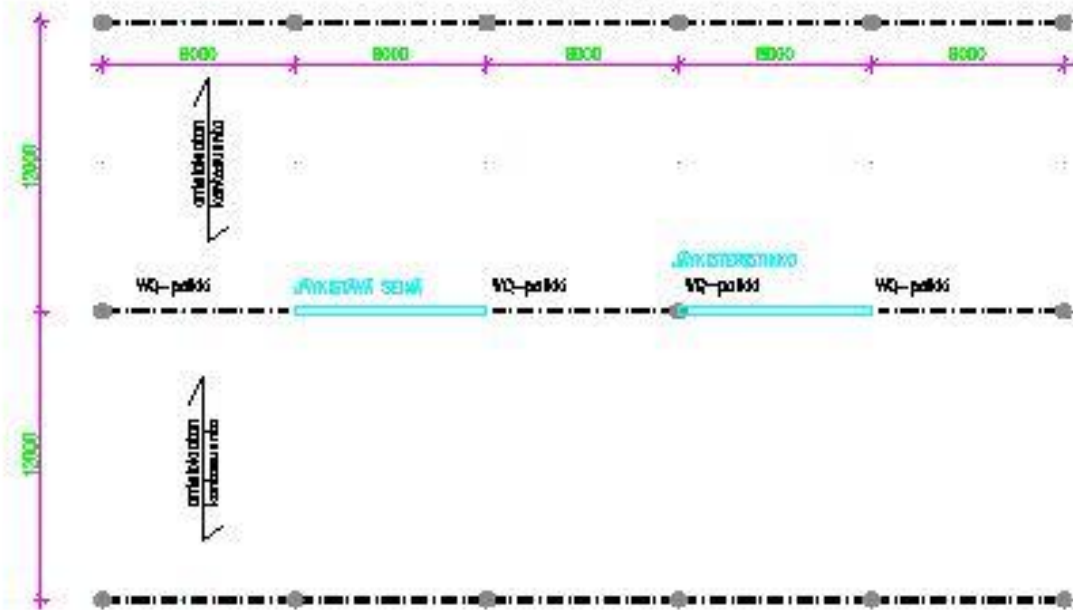
Торонав 3.1



Tapaus 8.2



Tapaus 12.1



Tapaus 12.2

