

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Talonrakennustekniikka

Joni Ukkonen

Asuinkerrostalon jäykistävien rakenneosien määrän ja muodon vaikutus rungon jäykistykseen

Opinnäytetyö 2019

Tiivistelmä

Joni Ukkonen

Asuinkerrostalon jäykistävien rakenneosien määrän ja muodon vaikutus rungon jäykistykseen, 49 sivua, 4 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Petri Himmi, Saimaan ammattikorkeakoulu,
suunnittelupäällikkö Marina Viitala, Sitowise Oy

Tämä opinnäytetyö tehtiin suunnitteluyritys Sitowise Oy:lle. Työ toteutettiin loppuvuoden 2018 ja kevään 2019 aikana yrityksen toimistolla Lappeenrannassa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää asuinkerrostalon rungon jäykistyslaskentaan valittavien jäykistävien rakenneosien määrän ja muodon vaikutusta kokonaisjäykkyyteen. Työn tarkoituksena oli myös vertailla elementtitalon ja paikalla-valetun talon ensimmäisen kerroksen jäykistäviin seiniin vaikuttavia voimia.

Työn teoriaosassa aluksi käsiteltiin Esimerkkikohteen perustiedot sekä rakenteellisten järjestelmien erot. Näiden jälkeen selvitettiin kohteeseen vaikuttavat kuormat ja käytiin läpi teoriaa kuormien laskennasta. Tämän jälkeen käytiin läpi perusteet rakennuksen jäykistämisestä ja stabiliteetista sekä perusteet vaakavoimien jakautumisesta jäykistäville seinille. Tulokset-luvussa raportoitiin kokonaisjäykkyyklaskelmien tulokset kolmella erilaisella jäykistysmenetelmällä. Tämän lisäksi luvussa esitettiin Excel-laskentapohjasta sekä ETABS-laskentaohjelmasta saadut jäykistäviin seiniin vaikuttavien voimien arvot. Lopuksi vertailtiin saatuja tuloksia, tutkittiin mahdollisia eroja ja pohdittiin niiden syitä. Työn teoria- ja laskentaosuuksien pohjatietoina käytettiin rakennusalan kirjallisuutta ja Internet-lähteitä.

Laskelmista saatiin selkeää tietoa siitä, miten jäykistävien rakenneosien määrä ja muoto vaikuttaa jäykkyyteen. Lyhyillä seinillä ei ole juurikaan vaikutusta kerroksen kokonaisjäykkyyteen. Selkeästi paras tulos saatiin seinäyhdistelmillä. Näiden käyttö jäykistyksessä edellyttää kuitenkin sitä, että seinien liitoksista saataisiin jäykkiä.

Asiasanat: jäykistys, stabiliteetti, jäykistävä seinä, ETABS

Abstract

Joni Ukkonen

The effect of the number and shape of the stiffening components on the apartment building frame stiffening, 49 Pages, 4 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Structural Engineering

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr Petri Himmi, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences,
Ms Marina Viitala, Planning Manager, Sitowise Ltd

This thesis was made for engineering company Sitowise Ltd. The thesis was written at the end of year 2018 and in the spring 2019 at the company's office located in Lappeenranta, Finland.

The objective of the thesis was to find out the effect of the number and shape of the stiffening components on the apartment building frame stiffening. The purpose of the work was also to compare the forces affecting the stiffening walls on the first floor of the elemental house and the on-site house.

The first chapters of this thesis focused on the basics of the example building and the differences between different structural systems. After these, loads affecting the building were investigated and the theory of load calculation was reported. The next chapter explains how to stiffen a building, how to stabilize it and the basic information of how horizontal loads divide on the stiffening walls. The results chapter reports the results of the overall stiffness calculations in three different methods of stiffening. In the same chapter is presented the differences in forces affecting the stiffening walls got from Excel and ETABS. In the end the results are compared between each other and there is a discussion on the results and the cause of it. The basis of the theory and calculation parts of the thesis is based on the literature and Internet sources of construction industry.

On the calculations it was clearly found out that the shape and amount of the stiffening building block affect the stiffness. On short walls the affect is minimal to the overall stiffness of the floor. Clearly the best result was achieved with wall combinations. The use of wall combinations in stiffening requires that the wall joints are rigid.

Keywords: stiffening, stability, stiffening wall, ETABS

Sisälllys

1	Johdanto	5
2	Mitoituslaskelmat – ”Esimerkkikohde”	7
2.1	Perustiedot	7
2.2	Rakenteellinen järjestelmä	7
2.2.1	Elementtitalo	8
2.2.2	Paikallavalettu talo	8
2.3	Materiaaliominaisuudet ja rasitusluokat	8
2.4	Kuormien määrittäminen ja kuormitustapaukset	9
2.4.1	Pysyvät kuormat	10
2.4.2	Muuttuvat kuormat	11
2.5	Rakennuksen jäykistäminen ja stabiliteetti	19
2.5.1	Vaakavoimat	21
2.5.2	Vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille	21
2.5.3	Esimerkkikohteen stabiliteetin tarkastuksen laskentatulokset	25
3	Tulokset	32
3.1	Kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmat	33
3.2	Ensimmäisen kerroksen jäykistäville seinille tulevat kuormat	39
4	Tulosten vertailu	42
4.1	Kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmien vertailu	42
4.2	1. kerroksen jäykistäville seinille tulevien kuormien vertailu	44
5	Yhteenveto ja pohdinta	46
	Lähteet	49

Liitteet

- Liite 1 Tuuli ja mittaepätarkkuudet
- Liite 2 Stabiliteetin laskennan laskenta-alusta
- Liite 3 Raudoittamattoman väliseinän kantokykytaulukko
- Liite 4 Seinäyhdistelmien jäyhyysmomenttien laskenta-alustat

1 Johdanto

Betonisen asuinkerrostalon koko runko voidaan toteuttaa nykyisin elementtitekniikalla. Elementtitekniikka on ripeään pystytysnopeutensa takia syrjäyttämässä perinteisen paikallavaletun betonirakentamisen. Molempia tekniikoita kuitenkin käytetään edelleen. Rakennuksen rungon rakenneosien päätehtävänä on siirtää rakennusta rasittavat kuormat perustusten kautta maa- tai kallioperään sekä antaa rakennukselle riittävä jäykkyys. Asuinkerrostalon rungon yksi yleisimmistä jäykistävästä rakenneosista on jäykistävä seinä.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Sitowise Oy. Työ sai alkunsa, kun Sitowise Oy:n Lappeenrannan toimiston rakennesuunnittelupuolella otettiin käyttöön uusi rungon jäykistyslaskennassa käytettävä ETABS-laskentaohjelma.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää asuinkerrostalon rungon jäykistyslaskentaan valittavien jäykistävien rakenneosien määrän ja muodon vaikutusta kokonaisjäyhyysmomenttiin. Työn tarkoituksena on myös vertailla elementtitalon ja paikallavaletun talon ensimmäisen kerroksen jäykistäviin seiniin vaikuttavia voimia. Vertaillaan myös käsinlaskennasta ja ETABS-laskennasta saatujen voimien arvoja.

Työn alussa kerrotaan Esimerkkikohteen perustiedot, rakenteellisten järjestelmien erot ja käydään läpi käytettyjen materiaalien materiaaliominaisuudet ja rasitusluokat. Näiden jälkeen selvitetään kohteeseen vaikuttavat kuormat ja käydään läpi teoriaa kuormien laskennasta.

Tämän jälkeen käydään läpi perusteet rakennuksen jäykistämisestä ja stabiliteetista sekä perusteet vaakavoimien jakautumisesta jäykistäville seinille. Seuraavaksi kerrotaan Esimerkkikohteen stabiliteetin tarkastuksen laskentatulokset.

Tulokset-luvussa raportoidaan kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmien tulokset kolmella erilaisella jäykistysmenetelmällä. Tämän lisäksi luvussa esitetään Excel-laskentapohjasta sekä ETABS-laskentaohjelmasta saadut jäykistäviin seiniin vaikuttavien voimien arvot elementti- ja paikallavalutalossa. Lopuksi vertaillaan saatuja tuloksia, tutkitaan mahdollisia eroja ja pohditaan niiden syitä.

Sitowise Oy

Sitowise on rakennetun ympäristön 1500 hengen asiantuntijayritys, joka tarjoaa kaikki suunnittelu- ja asiantuntijapalvelut sekä digitaaliset palvelut yhdestä osoitteesta. Sitowise Oy on suurin suomalaisomisteinen rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimisto, jonka palvelut kattavat myös kaupunkiseutujen monialahankkeet sekä tiedolla johtamisen ja tietomallintamisen. (Sitowise.)

Sitowise tarjoaa kokonaisvaltaiset palvelut koko rakentamisen elinkaarelle:

- suunnittelu- ja konsultointipalvelut infrastruktuuria ja elinympäristöä kehittäville toimijoille
- kattavat talonrakennusalan asiantuntijapalvelut uudis- ja korjauskohteisiin
- kokonaisvaltaiset hankejohtamisen palvelut rakennushankkeiden suunnitteluun, käynnistämiseen, toteutukseen ja kunnossapitoon
- sekä kustannustehokkuutta infraomaisuuden hallinnan ja liikkumisen prosesseihin digitaalisilla palveluilla (Sitowise).

Sitowise toimii 19 paikkakunnalla Suomessa. Tytäryhtiöitä löytyy Norjasta ja Virosta. Osakkuusyhtiöt sijaitsevat Latviassa ja Puolassa. (Sitowise.)

Sitowise syntyi, kun infrarakentamisen asiantuntija Sito Oy ja talonrakentamisen asiantuntija Wise Group Finland Oy yhdistyivät vuonna 2017. Vuonna 2010 perustettu Wise Group kokosi aikanaan yhteen talonrakentamisen suunnittelun ja konsultoinnin parhaita toimijoita, kun taas vuonna 1976 toimintansa aloittanut Sito tuli tutuksi väyläsuunnittelun insinööritoimistona. 40 vuodessa Sito kasvoi infrasuunnittelun moniosaajaksi. (Sitowise.)

ETABS

ETABS on CSI:n (Computers & Structures, Inc.) tuottama FEM-laskentaohjelma, joka soveltuu erityisesti rakennuksen jäykistyksen laskentaan. ETABS on tehokkaimmillaan, kun rakennuksen korkeus kasvaa ja kerrokset toistuvat. Laskennassa käytettävät tuulikuormat sekä muut lisävaakavoimat saadaan määritettyä automaattisesti eurokoodin 1991-1-4 mukaisesti. (CSI.)

Tämän työn mallien tekemisessä käytettiin ETABS 17 -versiota.

2 Mitoituslaskelmat – ”Esimerkkikohde”

Tässä luvussa käydään läpi Esimerkkikohteen tyypillisten rakenteiden mitoitusta sekä teoriaa yksittäisten rakenneosien mitoituksesta. Mitoituslaskelmissa lisäksi määritellään rakenteille tulevat kuormat, tarkastetaan kohteen stabiilitetti, määritetään jäykistävät seinät sekä tarkastellaan näille tulevia vaakakuormia. Luvussa kerrotaan myös yleisiä suunnittelussa ja laskelmissa tarvittavia tietoja.

2.1 Perustiedot

Opinnäytetyön kohteena on Sitowisen Lappeenrannan toimiston oikea rakennussuunnitteluprojekti. Tässä työssä projektin nimenä on Esimerkkikohde. Opinnäytetyön kohteen mitat ja muut perustiedot vastaavat lähes täysin Sitowisen projektin tietoja.

Esimerkkikohde on betonielementtirakenteinen asuinkerrostalokohde. Rakennuksessa on neljä kerrosta, joista kolmessa ylimmäisessä on pelkästään asuntoja. Alimman kerroksen pinta-alasta kolmasosa on asuintiloja ja loput taloyhtiön yhteistä varastotilaa, sähköpääkeskus, pesula, kuivaushuone ja väestönsuoja. Tämän työn laskennassa kaikki kerrokset ovat kuitenkin identtisiä eli kaikki kerrokset ovat pelkkiä asuintiloja. Sitowisen virallisessa rakennusprojektissa kyseiseen rakennukseen kuuluisivat myös parvekkeet, mutta myös ne on rajattu pois tämän opinnäytetyön laskelmien yksinkertaistamiseksi.

Rakennus on ulkomitoiltaan 15,8 metriä korkea, 29,4 metriä pitkä ja 17,1 metriä leveä. Rakennuksen kerrosala on noin 1 700 m² ja tilavuus noin 6 000 m³.

2.2 Rakenteellinen järjestelmä

Pohjatutkimusten mukaan rakennuspaikan maaperä on ylimmässä maakerroksessa (1,0...1,5 m) täyttömaata. Ylimmän kerroksen alla on 2...9 metriä paksu kerros savea tai savista silttiä. Saven alla maaperä on tiivistä moreenia. Rakennus perustetaan paaluperustuksille.

Koska tähän opinnäytetyöhön kuuluu vertailla eri jäykistysmenetelmiä, niin tässä kohtaa esitellään myös kaksi erilaista rakenteellista järjestelmää.

2.2.1 Elementtitalo

Sitowisen projekti toteutetaan elementtirakenteisena. Elementtitalon pääasiallisina runkorakenteina on käytetty kerroksenkorkeisia teräsbetonisia seinäelementtejä sekä ontelolaattoja. Rakennuksen ulkoseinät ovat 80...180 mm paksuja sisäkuorielementtejä ja julkisivumateriaalina on muuraus. Välipohjat ovat 320 mm paksuja ontelolaattoja, joissa on 35 mm paksu kuituvahvisteinen tasoite. Porrashuoneiden tasot ovat 260 mm paksuja laattaelementtejä. Yläpohjan kantava rakenne on 265 mm paksu ontelolaatasto ja puurakenteiset kattoristikot. Vesikatto on peltikatettu harjakatto. Väliseinät ovat 200 mm paksuja betonielementtejä. Rakennus jäykistetään kantavilla väli- ja ulkoseinillä.

2.2.2 Paikallavalettu talo

Paikallavaletun talon runkorakenteina toimii paikallavaletut seinät sekä laatat. Seinäpaksuudet ulkoseinien osalta vastaa elementtitalon sisäkuorielementtien paksuuksia, väliseinät ovat elementtitalon tapaan 200 mm paksuja. Alapohjan, välipohjien sekä yläpohjan paikallavalutasojen paksuudet ovat kaikki 260 mm. Muilta osin paikallavaletun talon rakenteet vastaavat elementtitalon vastaavia.

2.3 Materiaaliominaisuudet ja rasitusluokat

Betonirakenteiden materiaaliominaisuudet määräytyvät pitkälti ympäristöolosuhteisiin liittyvien rasitusluokkien mukaan. Rasitusluokan määrää rakenteen korrosioriski, jäädytys-sulatusriski sekä rakenteen kemiallinen rasitus. Rasitusluokat on esitetty eurokoodissa SFS-EN 1992-1-1. Esimerkkikohteen elementtitalossa käytetyt betonilujuudet sekä rasitusluokat on esitetty Taulukossa 1. Paikallavaletun talon rakenteissa betonin lujuus on C25/30, pois lukien sokkelit, joissa lujuus on C30/37.

ELEMENTTITUNNUS	ELEMENTTITYYPPI	BETONIN LUJUUS	RASITUSLUOKAT
AR-	Sokkelielementti, ei-kantava	C30/37	Sisäkuori: XC3 Ulkokuori: XC3,4; XC1
AS-	Sokkelielementti, kantava	C30/37	Sisäkuori: XC3 Ulkokuori: XC3,4; XC1
AV-	Alapohjan perusmuurielementti	C30/37	XC3
L-	Laattaelementti	C25/30	XC1
R-	Sandwich-elementti, ei-kantava	C25/30 C30/37	Sisäkuori: XC1 Ulkokuori: XC3,4; XF1
RK-	Sisäkuorielementti, ei-kantava	C25/30	XC1
SK-	Sisäkuorielementti, kantava	C25/30	XC1
V-	Väliseinäelementti	C25/30	XC1

TAULUKKO 1. Betonirakenteiden materiaaliominaisuudet sekä rasitusluokat

Elementtien sisäkuorissa ja laatoissa sekä paikallavalurakenteissa betoniteräksenä käytetään B500B harjaterästä. Verkkojen teräslajina on B500A. Betonielementtien ulkokuorissa sekä sellaisissa rakenteissa, joissa suojapeitepaksuutta ei saada riittäväksi tavallista harjaterästä varten, käytetään harjaterästankoina kylmämuokattua ruostumatonta B600KX terästä.

By 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirjassa teräslajien eurokoodijärjestelmän mukainen merkintätapa on esitetty seuraavasti. Esimerkiksi B500B teräslajin tunnuksen ensimmäinen kirjain "B" tarkoittaa betoniterästä, "500" tarkoittaa lujuusluokan myötölujuuden arvoa ja tunnuksen viimeinen kirjain "B" kertoo teräksen sitkeysluokan, joka on joko A, B tai C. Tunnuksesta ei käy suoraan ilmi, onko kyseessä kylmämuokattu vai kuumavalssattu teräs. Kylmämuokatut teräkset kuuluvat käytännössä luokkaan A, kuumavalssatut teräkset ovat yleensä luokkaa B tai C, mutta korkealujuuksiset kuumavalssatut voivat olla myös luokkaa A. (By 211 2015, 54–55.)

2.4 Kuormien määrittäminen ja kuormitustapaukset

Valmiiseen rakennukseen kohdistuu sijaintinsa ja käyttötarkoituksensa takia useita erilaisia kuormia. Kuormat, joita rakenteita mitoitettaessa käytetään, jaetaan vaikutusajan perusteella pysyviin ja muuttuviin kuormiin.

Rakenteita mitoitettaessa valitaan aina sellainen kuormitusyhdistelmä, joka antaa rakenteen mitoituksen kannalta määräävät rasitukset tarkasteltavalle rakenteelle. Rakenteen tai rakenneosien kestävyyttä ja geoteknistä kantavuutta murtorajatilassa mitoitettaessa käytettävät kuormitusyhdistelmät saadaan kaavoista (1) ja (2). (RIL 201-1 2017, 45.)

$$\left. \begin{matrix} 1,15 K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (1)$$

kuitenkin vähintään

$$\left. \begin{matrix} 1,35 K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (2)$$

2.4.1 Pysyvät kuormat

Esimerkkikohteen pysyviä kuormia ovat ainoastaan rakennusosien, eli kantavien ja ei-kantavien osien, omat painot. Omat painot määritellään standardissa SFS-EN 1991-1-1. Maanpaineesta tulisi myös pysyvää kuormaa, mutta se on rajattu laskelmien yksinkertaistamisen takia tästä opinnäytetyöstä pois. Rakenteiden omat painot tämän työn laskelmiin poimittiin projektin rakennetyyppi-tiedostosta, johon ne oli rakennesuunnittelijan toimesta laskettu anturakuormien laskentaa varten. Omat painot on laskettu jokaiselle rakennusosalle ja niihin vaikuttaa rakennusosan mitat sekä käytettävä materiaali. Rakenteiden omapainot rakennetyypeittäin on esitetty taulukossa 2. Tasokuormat esitetään neliökuormina ja pystyrakenteiden painot viivakuormina.

RAKENNETYYPPI	G _k	YKSIKKÖ
VP1 (ELEM)	5,2	kN/m ²
VP1 (PV)	6,5	kN/m ²
VP2 (ELEM) (porrashuone)	7,1	kN/m ²
YP1 (ELEM)	5,3	kN/m ²
YP1 (PV)	6,5	kN/m ²
AP1 (ELEM)	5,3	kN/m ²
AP1 (PV)	6,5	kN/m ²
US1 (150 mm + muuraus)	6,4	kN/m
US2 (80+80 mm + puuverhous)	4,5	kN/m
KS1 (180+100 mm)	7,4	kN/m
KS2 (120+90 mm)	5,7	kN/m
KS3 (200 mm) (porrashuone)	5,0	kN/m
VS1	5,0	kN/m
VS2 (150 mm) (hissikuilu)	3,8	kN/m

TAULUKKO 2. Rakenteiden omapainot rakennetyypeittäin

2.4.2 Muuttuvat kuormat

Hyötykuormat ovat muuttuvia liikkuvia kuormia, joiden määrittämistä varten rakennuksen väli- ja yläpohjat jaetaan käyttötarkoituksen mukaisiin luokkiin. Hyötykuormat rakenteille aiheutuvat tilojen käytöstä:

- normaali henkilökäyttö
- huonekalut ja siirrettävät kohteet
- ajoneuvot
- odotettavissa olevat harvinaiset tapahtumat, kuten henkilöiden kokoontuminen, huonekalujen kasautuminen tai tavaroiden siirtäminen tai pinoaminen. (RIL 201-1 2017, 68.)

Hyötykuormat määräytyvät standardista SFS-EN 1991-1-1 löytyvien taulukoiden 3 ja 4 mukaan. Esimerkkikohteen ala- ja välipohjille hyötykuormien arvona käytetään 2,0 kN/m².

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

TAULUKKO 3. Käyttötarkoitusluokat A-D standardin SFS-EN 1991-1-1 mukaan

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Luokka A		
— Välipohjat	1,5... <u>2,0</u>	<u>2,0</u> ...3,0
— Portaat	<u>2,0</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...4,0
— Parvekkeet	<u>2,5</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...3,0
Luokka B	2,0... <u>3,0</u>	1,5... <u>4,5</u>
Luokka C		
— C1	2,0... <u>3,0</u>	3,0... <u>4,0</u>
— C2	3,0... <u>4,0</u>	2,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— C3	3,0... <u>5,0</u>	<u>4,0</u> ...7,0
— C4	4,5... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>
— C5	<u>5,0</u> ...7,5	3,5... <u>4,5</u>
Luokka D		
— D1	<u>4,0</u> ...5,0	3,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— D2	4,0... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>

TAULUKKO 4. Käyttötarkoitusluokkien A-D hyötykuormat standardin SFS-EN 1991-1-1 mukaan

Esimerkkikohteen yläpohjan hyötykuorma määräytyy standardista SFS-EN 1991-1-1 löytyvien taulukoiden 5 ja 6 mukaan. Eli yläpohjan hyötykuorman arvona käytetään varmallalla puolella olevaa arvoa $1,0 \text{ kN/m}^2$.

Kuormitusalueen luokka	Käyttötarkoitus
H	Vesikatot, joille on pääsy vain normaalia kunnossapitoa ja korjaamista varten.
I	[AC] Vesikatot, joille on pääsy luokkien A...G mukaisesti. <AC]
K	Erityistoimintoja varten olevat vesikatot, kuten helikoptereiden laskeutumisalueet.

TAULUKKO 5. Käyttötarkoitusluokat H-K standardin SFS-EN 1991-1-1 mukaan

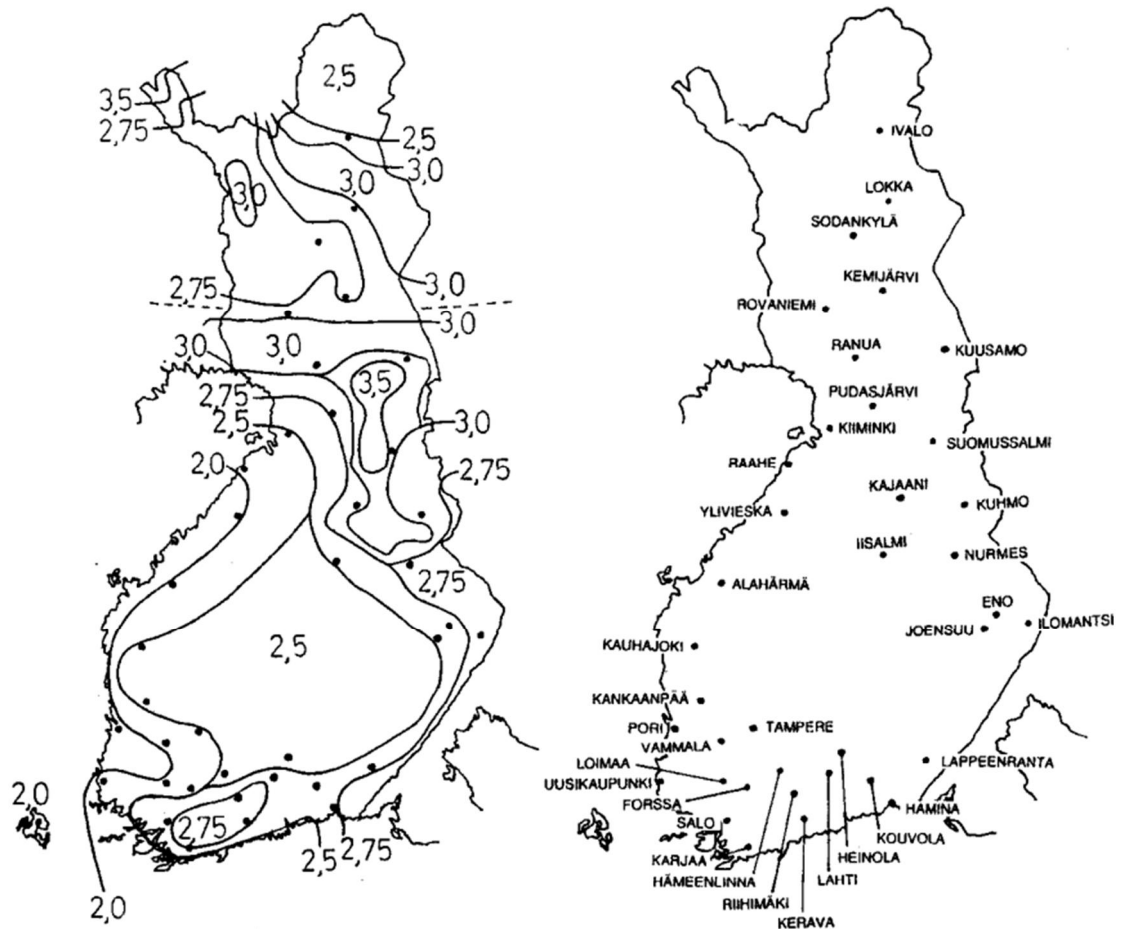
Vesikatto	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Luokka H	q_k	Q_k
<p>HUOM. 1 Luokassa H kuorma q_k voidaan valita väliltä $0,00 \text{ kN/m}^2 \dots 1,0 \text{ kN/m}^2$ ja kuorma Q_k väliltä $0,9 \text{ kN} \dots 1,5 \text{ kN}$.</p> <p>Kansallisessa liitteessä voidaan antaa arvo vaihteluvälin tilalle. Suositusarvot ovat: $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$, $Q_k = 1,0 \text{ kN}$.</p> <p>HUOM. 2 Kansallisessa liitteessä kuorma q_k voidaan antaa katon kaltevuudesta riippuvana.</p> <p>HUOM. 3 Kuorman q_k voidaan olettaa vaikuttavan pinta-alalla A, joka voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä. Alan A suositusarvo on 10 m^2 vaihteluvälin ollessa nolasta katon koko pinta-alaan.</p> <p>HUOM. 4 Ks. myös kohtaa 3.3.2(1).</p>		

TAULUKKO 6. Käyttötarkoitusluokan H hyötykuorma standardin SFS-EN 1991-1-1 mukaan

Lumikuorman määrittäminen

Lumikuorma määritellään standardissa SFS-EN 1991-1-3. Lumikuorman suuruuteen vaikuttaa rakennuksen maantieteellinen sijainti, katon muoto, katon kaltevuus sekä lumen mahdollinen kinostuminen.

Katon lumikuorman ominaisarvon määrittämiseen tarvitaan maanpinnan lumikuorman ominaisarvoa s_k . Kyseessä on maassa oleva lumikuorman arvo, jonka ylittymistodennäköisyys on keskimäärin kerran 50 vuodessa. Maanpinnan paikakuntakohtainen lumikuorman ominaisarvo saadaan kuvasta 1.



KUVA 1. Maanpinnan ominaislumikuormat [kN/m²] (RIL 201-1 2017, 98)

Esimerkkikohte sijaitsee Espoossa, joten maanpinnan lumikuorman ominaisarvo $s_k = 2,75$ kN/m². Katon ominaislumikuormaksi (s) saadaan 2,42 kN/m² kaavasta (3). Kaavan (3) tulos on kerrottu 1,1:llä, sillä kohteen kantavien rakenteiden suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta, joten ilmastosta johtuvien kuormien ominaisarvo korotetaan 10 prosentilla (RIL 201-1 2017, 207).

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3)$$

missä,

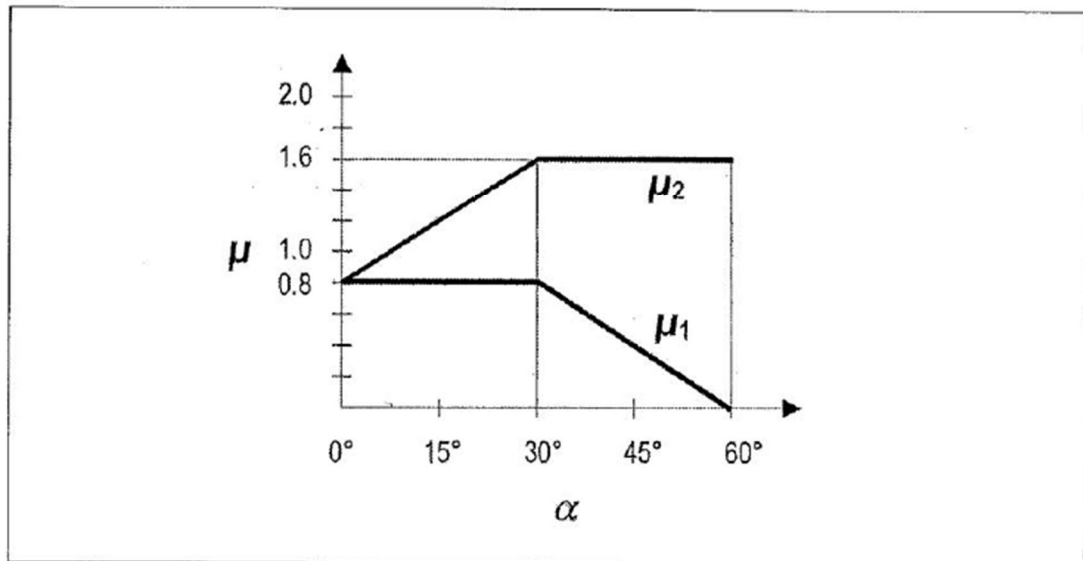
μ_i = lumikuorman muotokerroin, kuvion 1 mukaan

C_e = tuulensuojaisuuskerroin (0,8 tai 1,0 tai 1,2)

C_t = lämpökerroin (tavallisesti 1,0)

s_k = maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m²]

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



KUVIO 1. Lumikuorman muotokertoimet (RIL 201-1 2017, 102)

Kun maastotyyppi on tuulinen, voidaan tuulensuojaisuuskertoimelle käyttää arvoa $C_e = 0,8$ tai kun maastotyyppi on suojainen $C_e = 1,2$. Lämpökerrointa taas voidaan pienentää, jos katon lämmöneristys on vähäinen. Näille kertoimille harvemmin kuitenkin käytetään muuta arvoa kuin 1,0, joten kaava (3) pelkistyy tavallisesti kaavan (4) muotoon. (RIL 201-1 2017, 100.)

$$s = \mu_i \cdot s_k \quad (4)$$

Tuulikuorman määrittäminen

Pysyvien ja muuttuvien pystykuormien lisäksi rakennuksiin vaikuttaa myös vaakakuormia. Merkittävin vaakakuorma on tuulikuorma. Tuulikuorma määritellään standardissa SFS-EN 1991-1-4. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa tuulennopeus, maaston rosoisuus ja maaston paikalliset pinnanmuodot sekä rakennuksen mitat.

Tuulennopeuden modifioimaton perusarvo on Suomessa $v_{b,0} = 21$ m/s. Tämä arvo pätee koko maassa meri- ja tunturialueet mukaan lukien (RIL 201-1 2017, 129).

Rakennuspaikan ympäristön maaston rosoisuus vaikuttaa tuulen voimakkuuteen. Eurokoodissa maasto-olosuhteet on luokiteltu maaston rosoisuuden mukaan viiteen eri maastoluokkaan 0, I, II, III, IV. Nämä luokat ja niiden kuvaukset on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Maastoluokat ja niiden kuvaukset (RIL 201-1 2017, 131)

Kokonaistuulikuorman laskenta aloitetaan määrittämällä maastoluokan ja rakennuksen korkeuden perusteella tuulennopeuspaineen ominaisarvo $q_p(z)$. Tämä saadaan taulukosta 7. Esimerkkikohteen maastoluokka on III ja korkeus 15,8 m, joten taulukon 7 mukaan interpoloimalla tuulennopeuspaineen ominaisarvoksi saadaan 0,57 kN/m².

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

TAULUKKO 7. Tuulennopeuspaineen ominaisarvo $q_p(z)$ [kN/m²] (RIL 201-1 2017, 137)

Rakennukseen kohdistuva kokonaistuulivoima voidaan laskea kahdella eri menetelmällä: joko voimakertoimia käyttäen tai laskemalla voimat pintapaineiden avulla (Liite 1). Tämän kohteen jäykistyslaskenta on tehty stabiliteetin laskentaan tarkoitetulla Sitowisen omalla Excel-laskentapohjalla (Liite 2), jossa kokonaistuulivoimat on laskettu voimakertoimia käyttäen, joten seuraavaksi käydään läpi tämä menetelmä.

Menetelmässä matalien ja korkeiden rakennusten kokonaistuulivoimat lasketaan hiukan eri tavalla. Ero syntyy rakennekertoimen $c_s c_d$ määrittämisessä sekä korkeissa rakennuksissa voi käyttää korkeusaseman mukaan muuttuvaa nopeuspainetta. Esimerkkikohteemme luokitellaan matalaksi, sillä sen korkeus on pienempi kuin leveys ($h < b$). Tällöin rakennukseen kohdistuva kokonaistuulivoima F_w [kN] lasketaan kaavalla (5).

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(h) \cdot A_{ref} \quad (5)$$

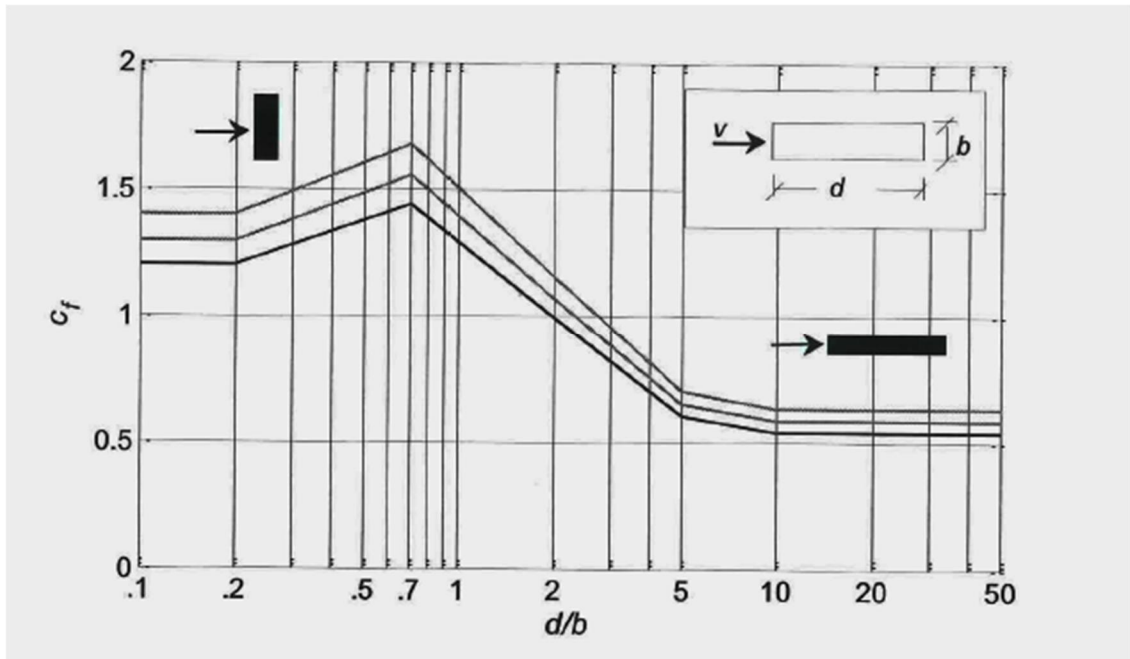
missä,

c_{sC_d} = rakennekerroin (matalissa rakennuksissa = 1,0, varmalla puolella)

c_f = voimakerroin, määrittäminen kuvan 3 mukaan

$q_p(h)$ = maaston pinnan mukaan modifioitu nopeuspaine, taulukon 7 mukaan

A_{ref} = tuulikuorman vaikutusala (= $b \cdot h$), b = rakennuksen leveys "tuulen näkemänä"



KUVA 3. Voimakerroin c_f (RIL 201-1 2017, 141)

Kuten edellä todettiin, esimerkkikohteen kokonaistuulivoimat x- ja y-suuntiin on laskettu stabiliteetin laskentaan tarkoitetulla Sitowisen omalla Excel-pohjaisella laskenta-alustalla (Liite 2). Määrittelyn kautta voimakertoimiksi saatiin $c_{f,y} = 1,40$ ja $c_{f,x} = 1,20$. Laskelmien tuloksena jäykistysjärjestelmään kohdistuviksi kokonaistuulikuormiksi saatiin $q_{w,y} = 0,87 \text{ kN/m}^2$ (pitkälle sivulle) ja $q_{w,x} = 0,75 \text{ kN/m}^2$ (rakennuksen pätyyn).

Taulukkoon 8 on kasattu yhteenvetona esimerkkikohteen hyötykuormat.

KUORMA	[kN/m ²]	KUVAUS
$Q_{k,VP}$	2,0	Välipohjan hyötykuorma
$Q_{k,YP}$	1,0	Yläpohjan hyötykuorma
$Q_{k,lumi}$	2,2	Lumikuorma katolla
$Q_{w,y}$	0,87	Tuulikuorman ominaisarvo rakennuksen pitkälle sivulle korkeudella 15,8 m
$Q_{w,x}$	0,75	Tuulikuorman ominaisarvo rakennuksen päätyyn korkeudella 15,8 m

TAULUKKO 8. Hyötykuormat Esimerkkikohteessa

2.5 Rakennuksen jäykistäminen ja stabiliteetti

Rungon rakenteiden päätehtävänä on siirtää niitä itseään välittömästi rasittavat tai muista rakenneosista niihin välittyvät kuormitukset perustusten kautta maa- tai kallioperään sekä antaa rakennukselle riittävä jäykkyys (By 202 1983, 503).

Suunniteltaessa jäykistysjärjestelmää on huomioitava seuraavat asiat:

- Jäykistysjärjestelmän osien kapasiteetit eivät ylitä missään kuormitustapauksessa.
- Rakennuksen ja rakennusosien siirtymät ja muodonmuutokset pysyvät riittävän pieninä, eivätkä ne aiheuta haittoja rakennuksen käytölle turvallisuuden tai käytön suhteen.
- Rakenteen staattinen tasapaino on riittävä eli sen on annettava rungolle riittävä varmuus kaatumista vastaan.
- Onnettomuustilanteissa pyritään estämään ja rajoittamaan määräysten mukaisesti ja rakenteellisin keinoin jatkuva sortuma.
- Asennusvaiheen stabiliteetti on tutkittava aina erikseen eli asennustilanteen jäykistyksen on oltava toimiva.

Oleellista kaikissa jäykistystavoissa on, että vaakakuormat siirtyvät jäykistäville pystyrakenteille tasojen vaakarakenteiden kautta. Jäykistysrakenteita mitoitettaessa on selvitettävä rakenneosien todelliset jäykkyydet riittävällä tarkkuudella,

sillä jäykistävät pystyrakenteet saavat kuormaa jokaiselta tasolta jäykkyyksiensä suhteessa. (Jäykistysjärjestelmät 2010.)

Rungon tarpeellisen jäykkyyden ja kaatumisvarmuuden toteamiseksi rakennuksen stabiloiva järjestelmä mitoitetaan eri kuormitusyhdistelyin, jotta löydetään stabiileetin kannalta määräävä kuormitusyhdistely. Näin tarkastetaan, että rakenteissa ei ylitetä sallittuja jännityksiä tai rajakapasiteetteja. Tarvittaessa tutkitaan myös, että jäykistävällä kokonaissysteemillä on riittävä varmuus kaatumista ja liukumista vastaan. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 1992, 19.)

Rakennus voidaan jäykistää usealla eri tavalla ja käytettävän jäykistysjärjestelmän valintaan vaikuttaa monia eri tekijöitä, kuten esimerkiksi rakennuksen rakennejärjestelmä, mittasuhteet, kustannustehokkuus, vaatimukset rakennuksen muuntojoustavuudelle, arkkitehtuuri sekä käyttötarkoitus. Määräävimmit tekijät jäykistysjärjestelmän valinnassa yleensä ovat kustannustehokkuus sekä käyttötarkoitus ja muuntojoustavuus. (Jäykistysjärjestelmät 2010.)

Yleisimmät rakennusrungon jäykistystavat ovat:

- mastojäykistys
 - mastopilarit
 - mastoseinät
 - jäykistystorni
- kehäjäykistys
- levyjäykistys
- ristikköjäykistys
- useiden jäykistystapojen yhdistelmä (Jäykistysjärjestelmät 2010).

Tyypillisesti asuinkerrostaloissa, kuten tämän työn Esimerkkikohteessa, jäykistys toteutetaan levyjäykistysnä. Tällöin rakennuksen välipohjat toimivat levyrakenteina ja siirtävät vaakakuormien aiheuttamat rasitukset levyjen leikkausvoimina jäykistäville seinille. Jäykistävien seinien ja perustuksien kautta voimat välittyvät maapohjaan.

2.5.1 Vaakavoimat

Rakennukseen vaikuttavia ja sen jäykistysjärjestelmälle tulevia yleisiä vaakakuormia, jotka on otettava huomioon rakennuksen vakavuutta laskettaessa, ovat

- tuulikuorma
- muut laskettavissa olevat kuormat, kuten maanpaineesta aiheutuvat lisävoimat
- pystysuoria kuormia kantavien rakenteiden vinoudesta ja epäkeskisyyksistä aiheutuvat vaakakuormat (By 202 1983, 511).

2.5.2 Vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille

Kun rakennuskohteen kaikki kuormat on saatu laskettua, voidaan alkaa tarkastelemaan rakennuksen jäykistystä tarkemmin. Rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien jakaantuminen jäykistäville seinille tapahtuu jäykistävien seinien jäykkyyksien suhteessa. Kuormien jakaantumiseen vaikuttaa myös jäykistävien rakenneosien sijainti suhteessa voimaresultanttien kiertokeskiöön. Kuormat siirtyvät rakennuksessa eteenpäin välipohjalaataston ja jäykistävien seinien välisen leikkausvoiman välityksellä. (Jäykistysjärjestelmät 2010.)

Alustava jäykistys suunnittelu rakennukselle tulee tehdä jo mahdollisimman varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Alustavassa jäykistys suunnitelman tarkastelussa tulee varmistaa seuraavat asiat:

- Arvioidaan, onko rakennus riittävän jäykkä sekä onko jäykistysjärjestelmä symmetrinen.
- Pääseekö rakennus kiertymään, jolloin kiertymästä syntyy lisärasituksia jäykisteisiin.
- Tarvitaanko liikuntasauvoja ja miten ne vaikuttavat rakennuksen jäykistysjärjestelmään.
- Tarkistetaan, onko jäykistäville pystyrakenteille tuleva pystykuorma riittävän suuri, jolloin rakenteisiin ei muodostu vetoa. Jos vetoa muodostuu, kyseiset rakenteet joudutaan ankkuroimaan kallioperään. Paalutettavissa kohteissa tämä on erityisen tärkeää, sillä silloin ankkurointi voi muodostua vaikeaksi toteuttaa.

Rakennuksen jäykkyyden riittävyyttä voidaan arvioida esimerkiksi seuraavalla kaavalla (6).

$$\sum EI \geq \frac{q^* \cdot h^3}{8} + \frac{P \cdot h^2}{3} \quad (6)$$

missä,

$$q^* = B \cdot q$$

h = rakennuksen korkeus [m]

P = pistekuorma rakennuksen yläreunassa (KRT) [kN]

B = rakennuksen laskentasuuntaa vasten kohtisuorassa [m]

q = rakennuksen vaakakuorma (KRT), sis. tuulen ja lisävaakavoiman [kN/m²]

$\sum EI$ = tarkasteltavassa suunnassa toimivien jäykistysrakenteiden taivutusjäykkyyksien summa [kNm²]

E = rakenneosan kimmomoduuli [kN/m²]

I = rakenneosan jäyhyysmomentti [m⁴]

Seuraavaksi käsitellään Suomen Betoniyhdistyksen julkaisun By 202 (1983) osan 3, s. 514–515 mukaan voimien jakaantumista jäykistäville seinille.

Tapaus, jossa välipohja siirtyy, mutta ei kierry

Tällainen tilanne on mahdollinen, kun jäykistävät seinät ovat symmetrisesti sijoitettuna rakennusta kuormittavien vaakavoimien resultantteihin nähden.

Kullekin jäykistävälle seinälle jakautuva voima (Q_y) saadaan kaavasta (7).

$$Q_y = \frac{k_y}{\sum k_y} \cdot F_y \quad (7)$$

missä,

k_y = seinän y-suuntainen jäykkyys, määritellään seur. tapauksen yhteydessä

F_y = kokonaisvaakavoima [kN]

Tapaus, jossa välipohja siirtyy ja kiertyy

Tässä tapauksessa vaakavoimien F_x ja F_y lisäksi rakennetta kuormittaa kiertävä momentti (M), joka lasketaan kaavalla (8).

$$M = F_y x_1 - F_x y_1 \quad (8)$$

missä,

x_1 = kiertokeskiön x-suuntainen etäisyys F_y -kuorman resultantista

y_1 = kiertokeskiön y-suuntainen etäisyys F_x -kuorman resultantista

Kiertokeskiön sijainti x- ja y- suunnissa origon suhteen saadaan selville kaavoista (9) ja (10).

$$\bar{x} = \frac{\sum k_y x'}{\sum k_y} \quad (9), \quad \bar{y} = \frac{\sum k_x y'}{\sum k_x} \quad (10)$$

joissa,

\bar{x} = kiertokeskiön x-suuntainen etäisyys origosta

\bar{y} = kiertokeskiön y-suuntainen etäisyys origosta

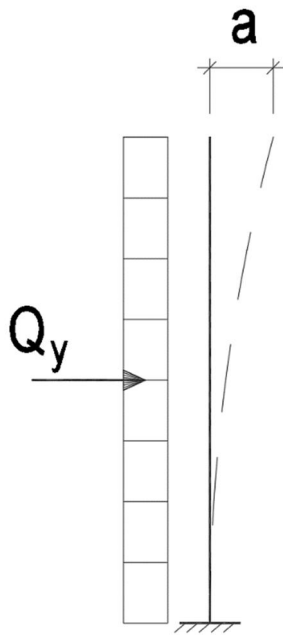
k_y ja k_x = y- ja x-suuntaiset jäykkyyshluvut. Esim. k_y on se voima, joka siirtää y-suunnassa seinän yhden yksikön verran

y' = x-suuntaisen seinän y-suuntainen etäisyys origosta

x' = y-suuntaisen seinän x-suuntainen etäisyys origosta

Oletetaan seinien olevan kiinnitettyinä jäykästi perustuksiin. Jolloin siirtymä voidaan laskea ulokkeen taipumakaavoilla (11) ... (14).

k_y :n määrittäminen tasaisella kuormalla:



$$a = \frac{Q_y L^3}{8EI_x} \quad (11)$$

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

$$k_y = \frac{8EI_x}{L^3} \quad (12)$$

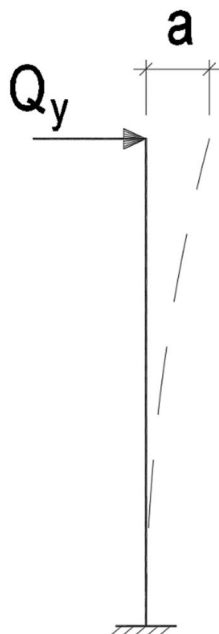
missä,

E = seinän kimmokerroin

I_x = seinän jäyhyysmomentti x-akselin suhteen

L = seinän korkeus

k_y :n määrittäminen pistekuormalla, joka vaikuttaa seinän yläpäässä:



$$a = \frac{Q_y L^3}{3EI_x} \quad (13)$$

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

$$k_y = \frac{3EI_x}{L^3} \quad (14)$$

missä,

E = seinän kimmokerroin

I_x = seinän jäyhyysmomentti x-akselin suhteen

L = seinän korkeus

Jos kaikilla seinillä on sama kimmokerroin, korkeus ja paksuus, voidaan jäykkyyksiä vertailla toisiinsa b_i^3 -arvojen avulla (b_i on seinän leveys).

Siirtymät (v_x) ja (v_y) sekä kiertymä (θ) ratkaistaan ulkoisten kuormien ja jäykistävien seinien sisäisten voimien tasapainoehdoista kaavoilla (15), (16) ja (17).

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x} \quad (15), \quad v_y = \frac{F_y}{\sum k_y} \quad (16)$$

$$\theta = \frac{M}{\sum k_x y^2 + \sum k_y x^2} \quad (17)$$

jossa,

y = x-suuntaisen jäykistysseinän etäisyys kiertokeskiöstä y-suunnassa

x = y-suuntaisen jäykistysseinän etäisyys kiertokeskiöstä x-suunnassa

Kun tunnetaan siirtymät ja kiertymä, saadaan jäykistäville seinille tulevat kuormitukset (Q_x) ja (Q_y) jäykkyyksien ja siirtymien avulla kaavoista (18) ja (19).

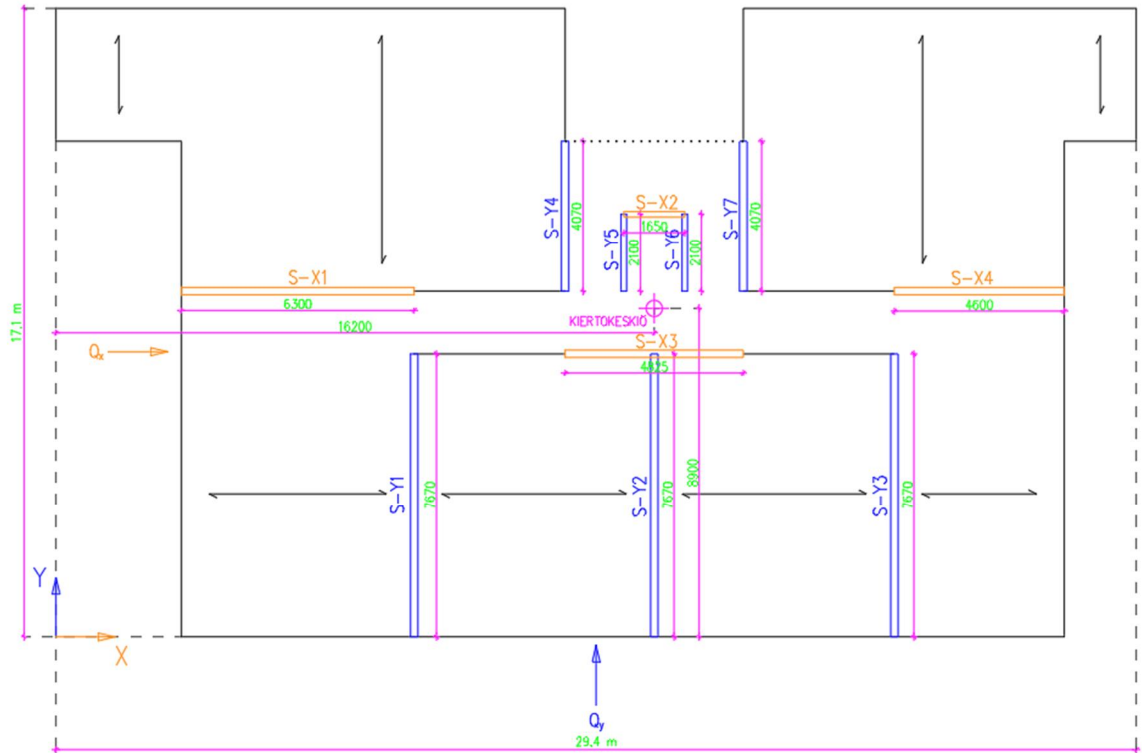
$$Q_x = k_x v_x - k_x y \theta \quad (18), \quad Q_y = k_y v_y - k_y x \theta \quad (19)$$

2.5.3 Esimerkkikohteen stabiliteetin tarkastuksen laskentatulokset

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan rakennuksen rungon ja jäykistysosien stabiliteetit ainoastaan murtorajatilassa. Tarkasteltaviin asioihin kuuluu seuraavat kohdat:

- vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille
- jäykistävän rakenneosan (seinän) kestävyys
- rakennusjärjestelmän kokonaisstabiliteetti.

Esimerkkikohteen rungon jäykistäviksi rakenneosiksi valittiin perustuksilta vesikattoon yltävät pitkät ja ehjät väliseinälinjat sekä hissikuilun elementit. Jäykistävät seinät ja niiden pituudet ovat nähtävissä kuvassa 4. Kyseisessä laskennassa seinien pystysaumot eivät välitä mitään voimia, eli esimerkiksi hissikuilun oletetaan jäykistävän rakennusta kolmena erillisenä kappaleena.



KUVA 4. Esimerkkikohteen jäykistävät seinät ja niiden pituudet

Kuvassa 4 sinisellä on piirretty kaikki Y-suuntaan jäykistävät seinät. X-suuntaan jäykistävät seinät on puolestaan piirretty oranssilla. Jatkossa tässä opinnäytetyössä on käytetty samoja värejä helpottamaan kuvien ja tulosten tulkintaa siten, että väri kertoo, kummasta suunnasta on kyse. Samoja värejä on käytetty mahdollisuuksien mukaan myös erinäisissä taulukoissa.

Esimerkkikohteessa on neljä kerrosta, joiden lisäksi on matala kellarikerros. Kaikissa viidessä kerroksessa on samat rungon stabiliteetilaskennassa käytetyt jäykistävät seinälinjat. Jäykistäviä seiä Y-suuntaan on seitsemän kappaletta (S-Y1...S-Y7) ja X-suuntaan neljä kappaletta (S-X1...S-X4). Näille jäykistäville seinille vaakavoimat kulkeutuvat ontelolaatastojen kautta. Ontelolaattojen kanto-suunnat kuvaan 4 on merkitty mustilla nuolilla. Muita rakenneosia ei siis otettu rungon stabiliteetin laskennassa ollenkaan huomioon, vaikka käytännössä ne jäykistykseen jollain tasolla vaikuttavatkin.

Kuormien jakautumista jäykistäville seinille on tarkasteltu kaikkien kerrosten osalta, mutta tämän työn liitteessä 2 on esitetty tulokset vain 1. kerroksen jäykis-

tävien seinien osalta, sillä tässä raportissa tutkitaan kuormien jakaantumista tarkemmin vain 1. kerroksen jäykistäville seinille. Näihin kohdistuvat vaakakuormat on luettavissa taulukoista 9 ja 10.

Vaakakuormat alimman kerroksen jäykistäville seinille

Excel-laskentapohjalla rakennuksen pitkälle sivulle 1. kerroksen kattoon eli 1. kerroksen seinien yläpään korkeudelle tason viivakuormaksi tuulesta ($w_{d,y}$) saatiin 4,03 kN/m. Päätyyn tason viivakuormaksi tuulesta ($w_{d,x}$) saatiin 3,45 kN/m.

Jäykistäville rakenneosille aiheutuu tuulikuormien lisäksi lisävaakavoimia pystykuormien epäkeskisyyden ja rakenteiden vinouden yhteisvaikutuksesta. Lisävaakavoimien tarkat tarkastelut voidaan tehdä käyttämällä eurokoodissa EN 1992-1-1 esitettyä menetelmää (kohta 5.2 Mittaepätarkkuudet). Ellei tarkempia mittaepätarkkuuslaskelmia tehdä, saadaan pystyrakenteille tulevat lisävaakavoimat (H_{dt}) ja (H_{dl}) kaavoista (20) ja (21).

Rakennuksen lyhyemmässä suunnassa

$$H_{dt} = \frac{N_d}{150} \quad (20)$$

Rakennuksen pidemmässä suunnassa

$$H_{dl} = \frac{b}{l} \cdot \frac{N_d}{150} \geq \frac{N_d}{250} \quad (21)$$

joissa,

N_d = ko. lisävaakavoiman aiheuttavan pystykuorman laskenta-arvo

b = rakennuksen leveys

l = rakennuksen pituus. (RIL 201-1 2017, 78–79.)

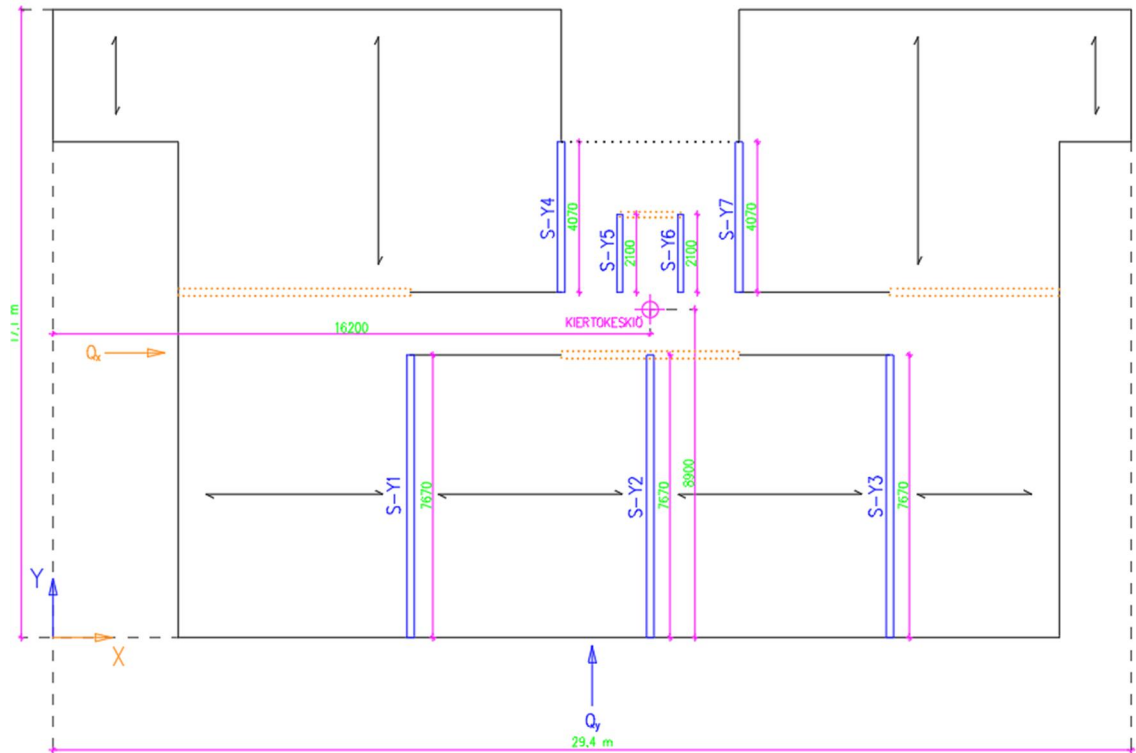
Excel-laskentapohjassa lisävaakavoimien laskenta-arvoina käytettiin molemmissa suunnissa samaa arvoa eli varmallalla puolella olevaa arvoa, joka saatiin kaavalla (20). 1. kerroksessa lisävaakavoiman suuruus molempiin suuntiin on

44,77 kN. Tuulikuormat ja ylemmiltä kerroksilta tulevat kuormat lisäämällä kokonaisvaakavoimien laskenta-arvoiksi 1. kerroksessa näin ollen saatiin Y-suuntaan 658 kN (Q_y) ja X-suuntaan 420 kN (Q_x).

Kuten jo luvussa 2.5.2 todettiin, niin rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien jakaantuminen jäykistäville seinille tapahtuu jäykistävien seinien jäykkyyksien suhteessa. Excel-pohjalla lasketut 1. kerroksen jäykistäville seinille jakaantuneet vaakakuormat murtorajatilassa on esitetty taulukoissa 9 ja 10. Jäykistävät seinät ja niiden sijainnit näkyvät kuvissa 5 ja 6.

SEINÄ	Q_y [kN]	Seinän ottama osuus kokonaiskuormasta prosentteina
S-Y1	190	29 %
S-Y2	172	26 %
S-Y3	154	23 %
S-Y4	64	10 %
S-Y5 (Hissikuilu)	11	2 %
S-Y6 (Hissikuilu)	10	1 %
S-Y7	59	9 %
YHT:	658 kN	100 %

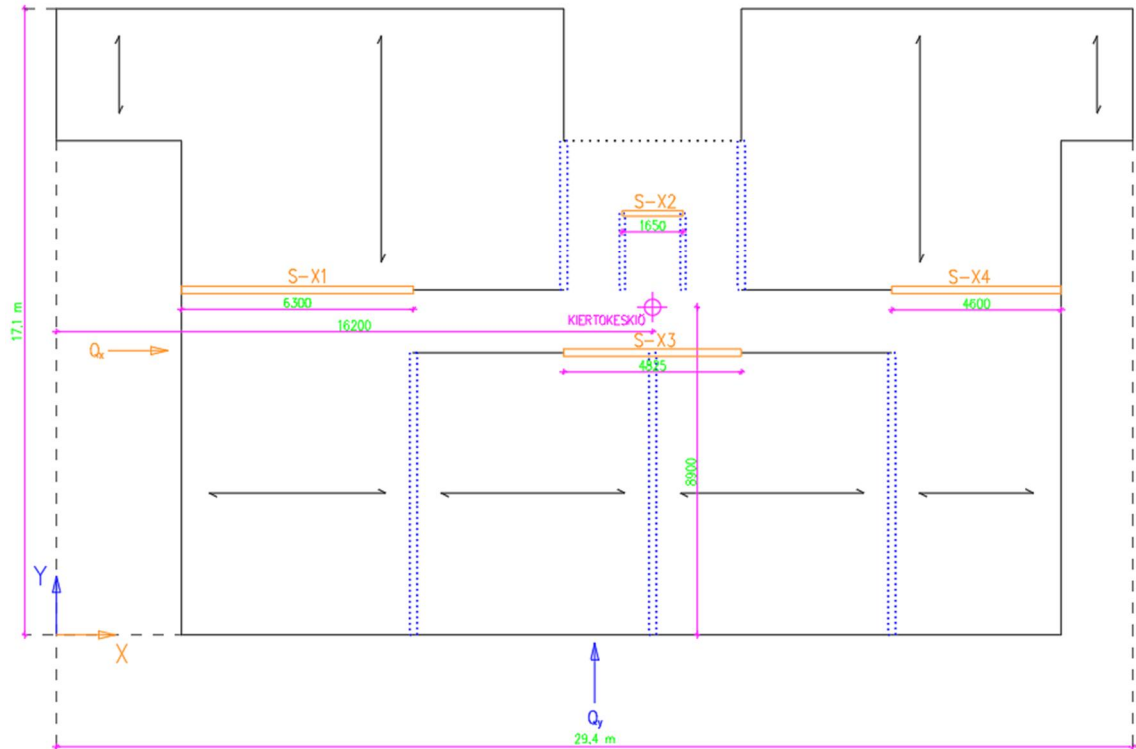
TAULUKKO 9. Y-suuntaan jäykistävien seinien kuormaosuudet MRT:ssa



KUVA 5. Y-suuntaan jäykistävät seinät ja niiden pituudet

SEINÄ	Q_x [kN]	Seinän ottama osuus kokonaiskuormasta prosentteina
S-X1	167	40 %
S-X2 (Hissikuilu)	4	1 %
S-X3	151	36 %
S-X4	100	23 %
YHT:	420 kN	100 %

TAULUKKO 10. X-suuntaan jäykistävien seinien kuormaosuudet MRT:ssa



KUVA 6. X-suuntaan jäykistävät seinät ja niiden pituudet

Jäykistävän seinän kestävyys

Tarkastetaan Y-suuntaisen seinän S-Y1 kestävyys raudoittamattomana kantokykytaulukoiden avulla. Väliseinien kantokykytaulukot (Liite 3) löytyvät elementti-suunnittelu.fi -sivustolta.

Seinälle S-Y1 (Kuva 7) vaikuttavat kuormat saatiin Excel-laskentapohjasta (Liite 2).

$$N_{Ed} = 188,4 \text{ kN/m}$$

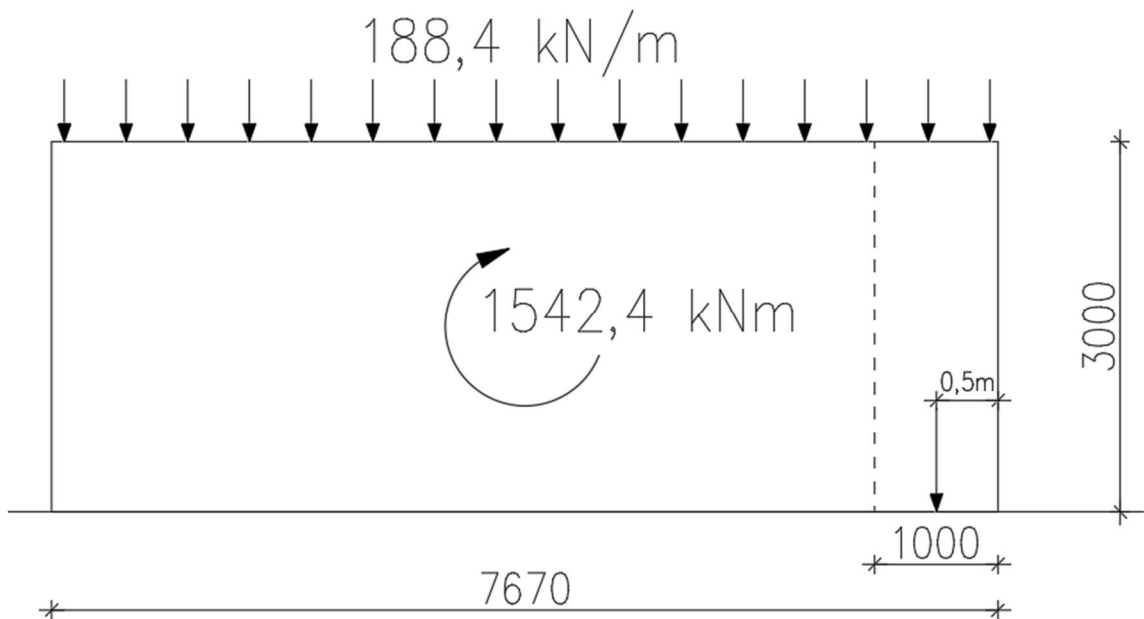
$$M_{kaatava} = 1542,4 \text{ kNm} (= \text{vaakavoima} \times \text{seinän } h + \text{ylemmiltä krs:lta tuleva } M)$$

Momentista aiheutuu seinän päähän yhden metrin matkalle lisäkuormaa (N_{Ed_M}) kaavan (22) mukaan

$$N_{Ed_M} = \frac{M_{kaatava}}{l - 0,5 \text{ m}} \quad (22)$$

jossa,

l = seinän pituus [m]



KUVA 7. Jäykistävän väliseinän (S-Y1) mitat ja siihen vaikuttavat voimat

S-Y1 seinän pituus on 7,67 m, joten momentin aiheuttamaksi lisäkuormaksi saatiin 215,1 kN. Tällöin metrin levyiselle kaistalle vaikuttavan voiman resultantin arvo on $188,4 \text{ kN} + 215,1 \text{ kN} = 403,5 \text{ kN}$.

Seinän paksuus on 200 mm ja korkeus 3000 mm. Betonin lujuus on C25/30. Joten kantokykytaulukon (Liite 3) mukaan seinän kantokyky epäkeskisyydet huomioiden on 717 kN. Tällöin seinän käyttöasteeksi raudoittamattomana saatiin 56 % ($= 403,5 \text{ kN} / 717 \text{ kN} \times 100 \%$).

Rakennuksen kokonaisstabiliteetin tarkastus

Rakennuksen kokonaisstabiliteetin tarkastus tehtiin vertaamalla rakennuksen omasta painosta aiheutuvaa stabiloivaa momenttia kaatavaan momenttiin, joka aiheutui aikaisemmin raportissa mainituista vaakavoimista.

Ehto: $M_{\text{stb}_d} > M_{\text{dst}_d}$

M_{stb_d} = stabiloiva momentti [kNm]

M_{dst_d} = kaatava momentti [kNm]

Laskentaa yksinkertaistaen oletetaan kuormien jakaantuvan tasaisesti rakennuksen pohjan alueelle, jolloin kuormien resultantti tulee keskelle rakennusta.

Omasta painosta aiheutuvat stabiloivat kuormat huomioidaan edullisina kuormina, jolloin niiden laskennassa käytetään osavarmuuskerrointa 0,9.

Stabiloiva momentti saadaan kaavalla (23)

$$M_{stb_d} = N_{d_edul} \cdot \frac{b}{2} \quad (23)$$

jossa,

N_{d_edul} = omasta painosta aiheutuva stabiloiva pystykuorma [kN]

b = rakennuksen leveys kaatumissuunnassa [m]

Kaatava momentti saadaan kaavalla (24)

$$M_{dst_d} = \Sigma Q_y \cdot \frac{h}{2} \quad (24)$$

jossa,

ΣQ_y = kokonaisvaakavoima Y-suuntaan (pitkällä sivulla) [kN]

h = rakennuksen korkeus [m]

Esimerkkikohteen kuormat on laskettu Excel-laskentapohjalla ja ne on esitetty liitteessä 2.

Kuormista aiheutuvaksi stabiloivaksi momentiksi Esimerkkikohteessa saatiin 184697 kNm (= 21602 kN x (17,1 m / 2)). Kaatavaksi momentiksi taasen saatiin 6336 kNm (= 802 kN x (15,8 m / 2)). Tällöin stabiloiva momentti > kaatava momentti, joten stabiliteettiehto täyttyy varmuudella 29,2 (= 184697 kNm / 6336 kNm).

3 Tulokset

Tässä luvussa kerrotaan Excel-laskentapohjilla sekä ETABS-laskentaohjelmalla saatuja tuloksia. Aluksi käydään läpi yhden kerroksen kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmat kolmella erilaisella jäykistystavalla. Tämän jälkeen esitetään Excel-laskentapohjalla ja ETABS-laskentaohjelmalla saadut voimat 1. kerroksen jäykistäville suorille seinälinjoille.

3.1 Kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmat

Kuten edellä todettiin, esimerkikohteen rungon jäykistyslaskentaan jäykistäviksi rakenneosiksi valittiin vain perustuksilta vesikattoon yltävät pitkät ja aukottomat väliseinälinjat sekä hissikulun elementit. Kyseisessä laskennassa seinien pystysaumamat eivät siis välitä mitään voimia. Vertailua varten yhden kerroksen kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmat tehtiin myös kahdessa muussa tapauksessa:

- valittiin jäykistäviksi seinälinjoiksi kaikki vähintään metrin pituiset suorat seinälinjat
- valittiin jäykistäviksi seinälinjoiksi kaikki vähintään metrin pituiset seinälinjat ja yhdistettiin kaikki toisensa kohtaavat seinät jäykiksi seinäyhdistelmiksi ns. monoliiteiksi.

Runko jäykistetty valituilla jäykistävillä seinillä

Esimerkkikohteen jäykistyslaskelmat on siis tehty niin, että vain osa suorista seinälinjoista valittiin mukaan jäykistyslaskelmaan. Jäykistävät seinälinjat ovat nähtävissä kuvissa 4, 5 ja 6.

Taulukossa 11 on esitetty yhden kerroksen kokonaisjäyhyysmomentti ($\sum I$) Y-suuntaan sekä jäyhyysmomentit seinäkohtaisesti. Taulukosta selviää myös seinän paksuus (b), seinän pituus (h), seinän pituuden prosenttiosuus seinien yhteenlasketusta pituudesta ($\%_h$), seinän jäyhyysmomentti (I) sekä seinän jäyhyysmomentin prosenttiosuus seinien kokonaisjäyhyysmomentista ($\%_I$). Yksittäisen seinän jäyhyysmomentti on laskettu kaavalla (25).

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad (25)$$

SEINÄ	b_i [m]	h_i [m]		$\%_h$		I_i [m ⁴]		$\%_i$
S-Y1	0,2	7,67		21,7		7,52		30,0
S-Y2	0,2	7,67		21,7		7,52		30,0
S-Y3	0,2	7,67		21,7		7,52		30,0
S-Y4	0,2	4,07		11,5		1,12		4,5
S-Y5 (Hissikuilu)	0,15	2,1		5,9		0,12		0,5
S-Y6 (Hissikuilu)	0,15	2,1		5,9		0,12		0,5
S-Y7	0,2	4,07		11,5		1,12		4,5
	Σ	35,35	m			25,04	m ⁴	100 %

TAULUKKO 11. Jäyhyysmomentit valituilla seinälinjoilla Y-suuntaan

X-suuntaan jäykistävien seinien jäyhyysmomentit sekä kokonaisjäyhyys kyseisellä laskentamenetelmällä on esitetty taulukossa 12.

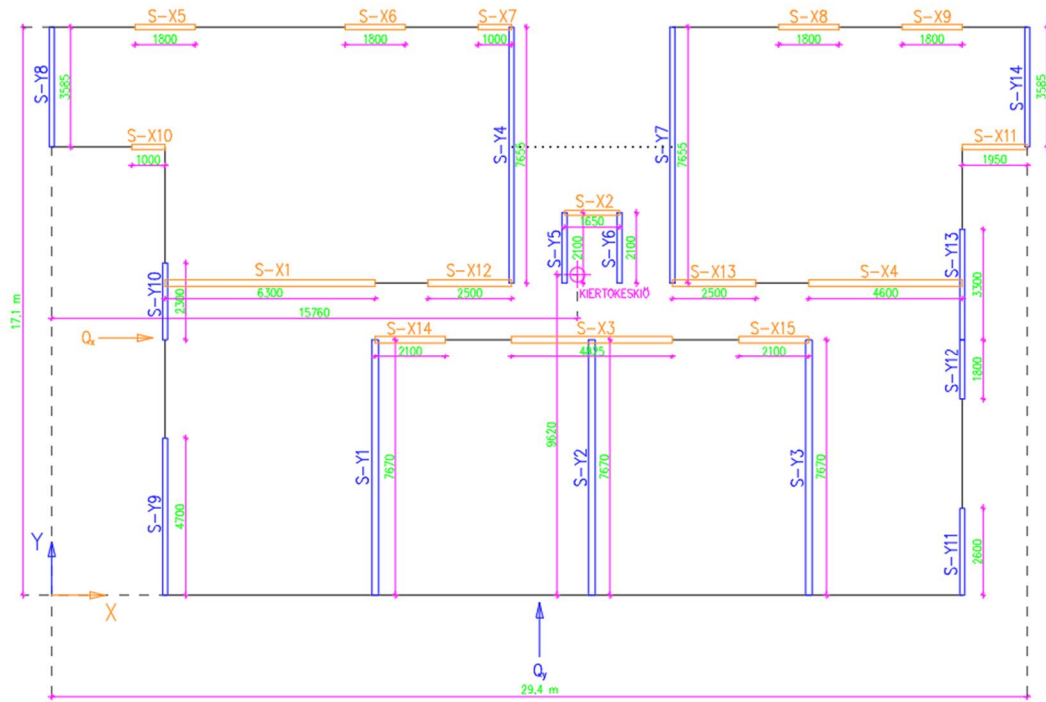
SEINÄ	b_i [m]	h_i [m]		$\%_h$		I_i [m ⁴]		$\%_i$
S-X1	0,2	6,3		36,3		4,17		54,0
S-X2 (Hissikuilu)	0,15	1,65		9,5		0,06		0,7
S-X3	0,2	4,825		27,8		1,87		24,3
S-X4	0,2	4,6		26,5		1,62		21,0
	Σ	17,38	m			7,72	m ⁴	100 %

TAULUKKO 12. Jäyhyysmomentit valituilla seinälinjoilla X-suuntaan

Näillä jäykistyksen laskentaan mukaan valituilla seinillä kokonaisjäyhyysmomentiksi saatiin Y-suuntaan 25,04 m⁴ ja X-suuntaan 7,72 m⁴.

Runko jäykistetty kaikilla vähintään metrin pituisilla jäykistävillä seinillä

Ensimmäiseksi vertailtavaksi menetelmäksi valittiin menettely, jossa kokonaisjäyhyysmomentin laskentaan valittiin kaikki vähintään metrin pituiset seinälinjat (Kuva 8). Tässäkään laskennassa jäykistävien seinien pystysaumamat eivät välitä voimia, joten kaikki laskentaan valitut rakenneosat ovat suorina seinälinjoja.



KUVA 8. Kaikki vähintään metrin pituiset jäykistävät seinälinjat ja niiden sijainnit

Taulukosta 13 nähdään laskennassa käytettyjen kaikkien vähintään metrin pituisten seinien tiedot ja jäyhyysmomentit Y-suuntaan.

SEINÄ	b_i [m]	h_i [m]	$\%_h$	I_i [m ⁴]	$\%_I$
S-Y1	0,2	7,67	11,9	7,52	20,1
S-Y2	0,2	7,67	11,9	7,52	20,1
S-Y3	0,2	7,67	11,9	7,52	20,1
S-Y4	0,15	7,655	11,9	5,61	15,0
S-Y5 (Hissikuilu)	0,15	2,1	3,3	0,12	0,3
S-Y6 (Hissikuilu)	0,15	2,1	3,3	0,12	0,3
S-Y7	0,15	7,655	11,9	5,61	15,0
S-Y8	0,15	3,585	5,6	0,58	1,5
S-Y9	0,15	4,7	7,3	1,30	3,5
S-Y10	0,15	2,3	3,6	0,15	0,4
S-Y11	0,15	2,6	4,0	0,22	0,6
S-Y12	0,15	1,8	2,8	0,07	0,2
S-Y13	0,15	3,3	5,1	0,45	1,2
S-Y14	0,15	3,585	5,6	0,58	1,5
Σ		64,39	m	37,35	m ⁴ 100

TAULUKKO 13. Vähintään metrin pituisten seinälinjojen jäyhyysmomentit Y-suuntaan

Taulukossa 14 on esitetty laskennassa käytettyjen kaikkien vähintään metrin pituisten seinien tiedot ja jäyhyysmomentit X-suuntaan.

SEINÄ	b_i [m]	h_i [m]	$\%_{0h}$	I_i [m ⁴]	$\%_{0i}$
S-X1	0,2	6,3	16,7	4,17	46,5
S-X2 (Hissikuilu)	0,15	1,65	4,4	0,06	0,6
S-X3	0,2	4,825	12,8	1,87	20,9
S-X4	0,2	4,6	12,2	1,62	18,1
S-X5	0,15	1,8	4,8	0,07	0,8
S-X6	0,15	1,8	4,8	0,07	0,8
S-X7	0,15	1	2,7	0,01	0,1
S-X8	0,15	1,8	4,8	0,07	0,8
S-X9	0,15	1,8	4,8	0,07	0,8
S-X10	0,15	1	2,7	0,01	0,1
S-X11	0,15	1,95	5,2	0,09	1,0
S-X12	0,2	2,5	6,6	0,26	2,9
S-X13	0,2	2,5	6,6	0,26	2,9
S-X14	0,2	2,1	5,6	0,15	1,7
S-X15	0,2	2,1	5,6	0,15	1,7
Σ		37,73 m		8,96 m ⁴	100 %

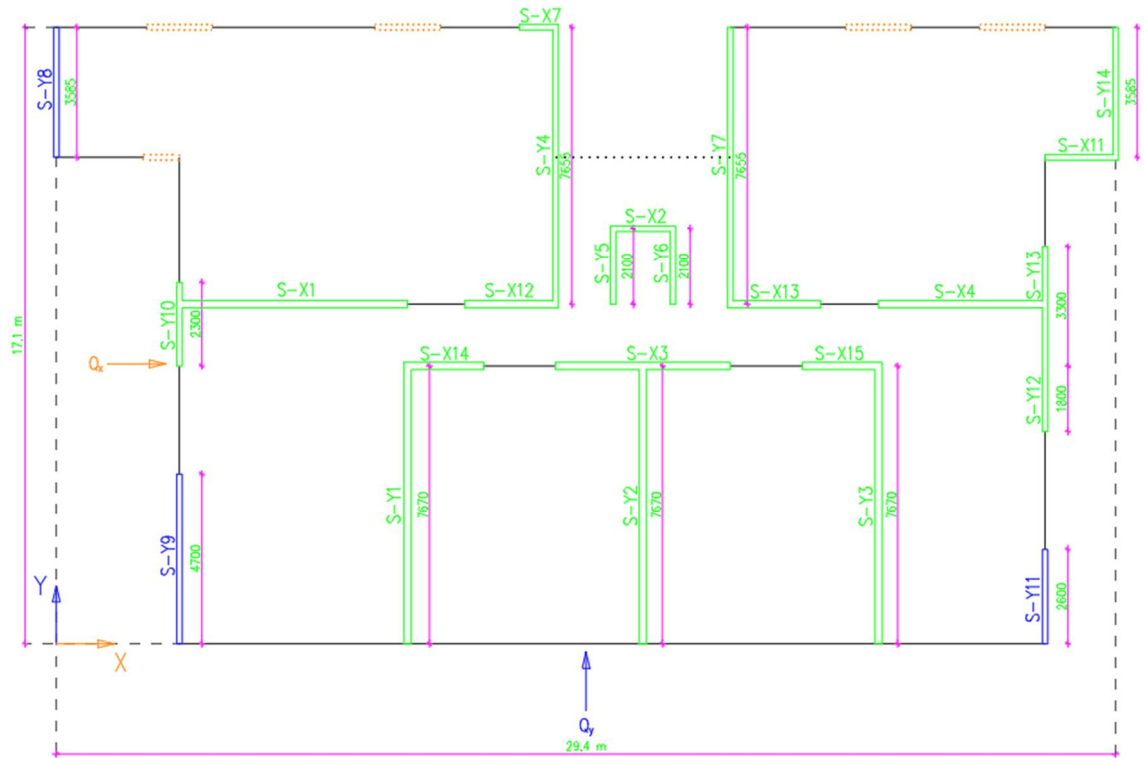
TAULUKKO 14. Vähintään metrin pituisten seinälinjojen jäyhyysmomentit X-suuntaan

Kun kaikki vähintään metrin pituiset seinät valittiin mukaan jäykistyslaskentaan, kokonaisjäyhyysmomenteiksi saatiin Y-suuntaan 37,35 m⁴ ja X-suuntaan 8,96 m⁴.

Runko jäykistetty seinäyhdistelmillä ja kaikilla vähintään metrin pituisilla jäykistävillä seinillä

Toisessa vertailtavassa menetelmässä yhdistettiin kaikki toisensa kohtaavat seinät jäykiksi seinäyhdistelmiksi ns. monoliiteiksi sekä valittiin jäykistäviksi seinälinjoiksi kaikki jäljelle jääneet vähintään metrin pituiset seinälinjat. Eli käytännössä jäykistyslaskelmaan valitut seinälinjat ovat samat kuin edellä, mutta kaikkien toisensa kohtaavien seinien pystysaumojen oletetaan olevan nyt jäykkiä ja näin ollen siirtävän myös leikkaus- ja taivutusvoimia. Näiden seinäyhdistelmien jäyhyysmomentit on laskettu liitteessä 4.

Jäykistävät seinät ja seinäyhdistelmät Y-suuntaan tässä laskentatapauksessa on merkitty kuvaan 9. Seinäyhdistelmät on piirretty vihreällä ja suorat seinälinjat sinisellä värillä.



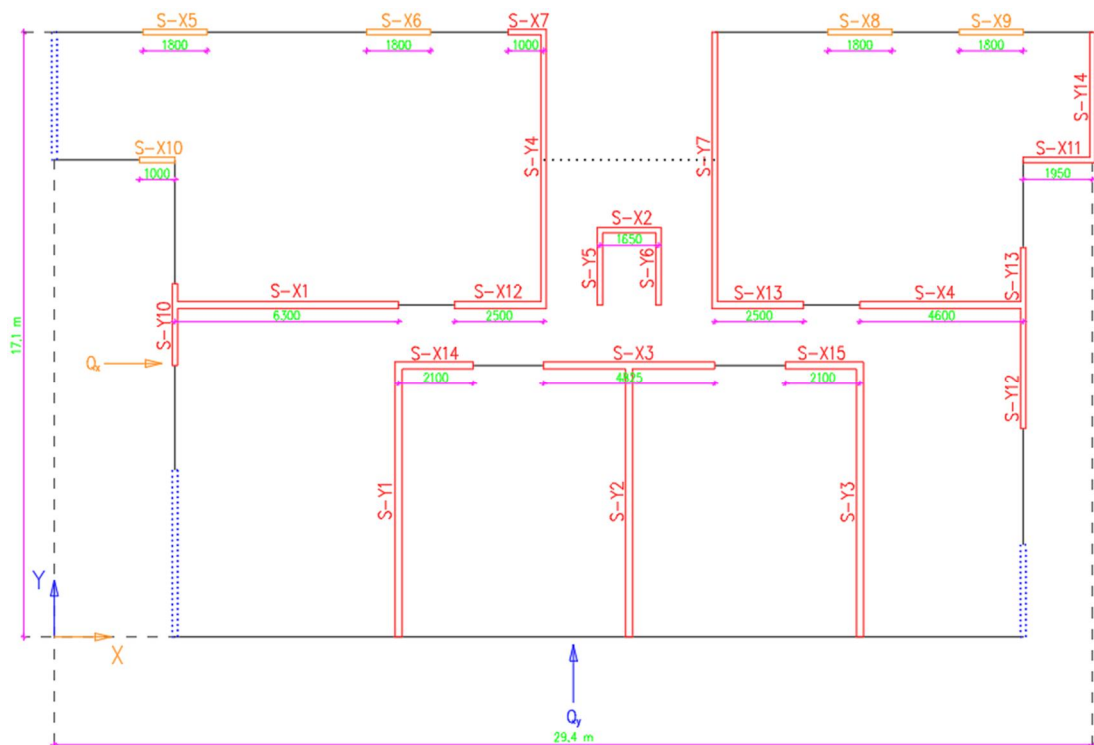
KUVA 9. Jäykistävät seinät ja seinäyhdistelmät Y-suuntaan

Taulukkoon 15 on listattu Y-suuntaan jäykistävien osien jäyhyysmomentit sekä kokonaisjäyhyysmomentti.

SEINÄ/YHDISTELMÄ	b_i [m]	h_i [m]		l_i [m ⁴]	$\%_i$
S-Y1 + S-X14				12,37	17,2
S-Y2 + S-X3				16,24	22,6
S-Y3 + S-X15				12,37	17,2
S-Y4 + S-X12 + S-X7				14,13	19,7
S-Y5 + S-X2 + S-Y6	(Hissikuilu)			0,43	0,6
S-Y7 + S-X13				10,71	14,9
S-Y8	0,15	3,585		0,58	0,8
S-Y9	0,15	4,7		1,30	1,8
S-Y10 + S-X1				0,24	0,3
S-Y11	0,15	2,6		0,22	0,3
S-Y12 + S-Y13 + S-X4				2,04	2,8
S-Y14 + S-X11				1,19	1,7
			Σ	71,81 m ⁴	100 %

TAULUKKO 15. Seinien ja seinäyhdistelmien jäyhyysmomentit Y-suuntaan

X-suuntaan jäykistävät seinät ja seinälinjat tässä laskentatapauksessa on merkitty kuvaan 10. Jäykistävät seinäyhdistelmät on piirretty punaisella ja suorat seinälinjat oranssilla värillä. Seinäyhdistelmät ovat tässä tapauksessa samat kuin Y-suunnassa, mutta nyt niiden jäyhyysmomentit on laskettu toisessa suunnassa.



KUVA 10. Jäykistävät seinät ja seinäyhdistelmät X-suuntaan

Taulukossa 16 on listattu X-suuntaan jäykistävien osien jäyhyysmomentit sekä kokonaisjäyhyysmomentti.

SEINÄ/YHDISTELMÄ	b_i [m]	h_i [m]			I_i [m ⁴]		$\%_i$
S-X1 + S-Y10					6,86		42,1
S-X2 + S-Y5 + S-Y6	(Hissikuilu)				0,49		3,0
S-X3 + S-Y2					1,88		11,5
S-X4 + S-Y12 + S-Y13					3,83		23,5
S-X5	0,15	1,8			0,07		0,4
S-X6	0,15	1,8			0,07		0,4
S-X7 + S-Y4 + S-X12					0,82		5,0
S-X8	0,15	1,8			0,07		0,4
S-X9	0,15	1,8			0,07		0,4
S-X10	0,15	1			0,01		0,1
S-X11 + S-Y14					0,27		1,7
S-X13 + S-Y7					0,81		5,0
S-X14 + S-Y1					0,52		3,2
S-X15 + S-Y3					0,52		3,2
					Σ 16,30	m ⁴	100 %

TAULUKKO 16. Seinien ja seinäyhdistelmien jäyhyysmomentit X-suuntaan

Kun jäykistyslaskenta suoritettiin niin, että jäykistäviksi rakenneosiksi valittiin jäykät seinäyhdistelmät ja muutama suora seinälinja, niin kokonaisjäyhyysmomentteiksi saatiin Y-suuntaan 71,81 m⁴ ja X-suuntaan 16,30 m⁴.

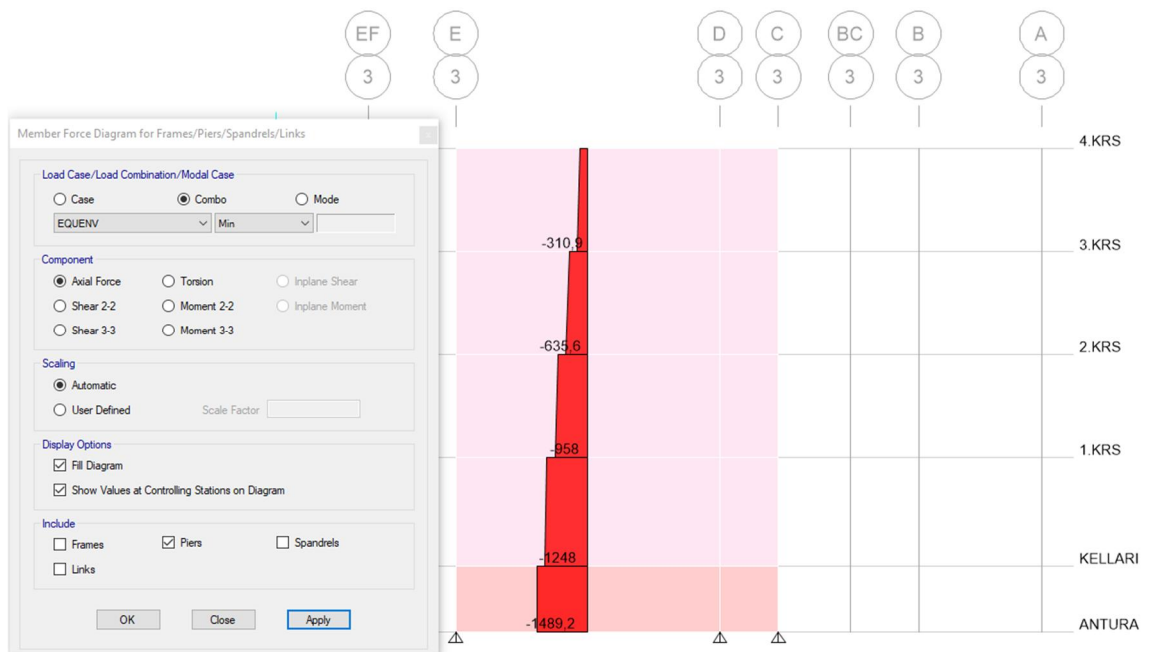
3.2 Ensimmäisen kerroksen jäykistäville seinille tulevat kuormat

Sitowisen toimesta haluttiin saada lisätietoa siitä, kuinka paljon käsinlaskennalla ja FEM-laskennalla saaduissa jäykistäviin seiniin vaikuttavissa voimissa on eroja sekä miten voimat jakautuisivat, jos kerrostalo tehtäisiin elementtitalon sijasta paikallavalettuna. Elementtitalon jäykistävinä seininä on käytetty kuvassa 4 esitettyjä seiniä. Paikallavaletun talon rungon jäykistyneen käsinlaskennassa jäykistäviksi seinälinjoiksi valittiin kuvassa 8 näkyvät vähintään yli metrin pituiset suorat seinälinjat. Paikallavaletun talon jäykistyneen käsinlaskentaa varten tehtiin toinen laskelma Sitowisen omalla Excel-laskentapohjalla, johon tasokuormiksi muutettiin paikallavalulaattaa vastaavat arvot sekä uudet kuormitusleveydet. Käsinlas-

	ELEMENTTITALO				PAIKALLAVALETTU TALO			
	EXCEL		ETABS		EXCEL		ETABS	
	Q	N	Q	N	Q	N	Q	N
S-Y1	190	1300	181	1123	120	1155	173	1248
S-Y2	172	1315	117	1135	116	1155	97	1151
S-Y3	154	1171	91	1035	113	1048	138	1173
S-Y4	64	330	24	299	88	914	74	807
S-Y5	11	141	11	187	7	177	8	160
S-Y6	10	141	10	189	7	177	8	160
S-Y7	59	330	21	288	86	824	80	774
S-Y8	-	-	-	-	26	302	39	361
S-Y9	-	-	-	-	43	418	36	510
S-Y10	-	-	-	-	10	194	32	288
S-Y11	-	-	-	-	11	219	35	240
S-Y12	-	-	-	-	5	152	11	168
S-Y13	-	-	-	-	19	278	32	318
S-Y14	-	-	-	-	23	302	39	334
Σ	660	4728	455	4256	674	7315	802	7692

TAULUKKO 17. Ensimmäisen kerroksen Y-suuntaan jäykistäviin seiniin vaikuttavat voimat

Kuvassa 12 on nähtävillä ETABS:lla saadut paikallavaletun talon seinälinjan S-Y1 seiniin vaikuttavat pystyvoimat murtorajatilassa.



KUVA 12. Paikallavaletun talon seinälinjan S-Y1 seiniin vaikuttavat pystyvoimat

Taulukosta 18 nähdään ensimmäisen kerroksen X-suuntaan jäykistäviin seiniin vaikuttavat vaaka- ja pystykuormat.

	ELEMENTTITALO				PAIKALLAVALLETTU TALO			
	EXCEL		ETABS		EXCEL		ETABS	
	Q	N	Q	N	Q	N	Q	N
S-X1	167	879	126	676	141	1155	92	941
S-X2	4	92	7	136	5	139	4	125
S-X3	151	401	76	380	103	648	51	705
S-X4	100	641	54	492	84	844	41	645
S-X5	-	-	-	-	3	152	14	188
S-X6	-	-	-	-	3	177	11	231
S-X7	-	-	-	-	1	98	22	112
S-X8	-	-	-	-	3	177	19	199
S-X9	-	-	-	-	3	177	8	166
S-X10	-	-	-	-	1	84	34	202
S-X11	-	-	-	-	7	164	60	191
S-X12	-	-	-	-	24	336	9	370
S-X13	-	-	-	-	24	336	7	357
S-X14	-	-	-	-	17	282	46	328
S-X15	-	-	-	-	17	282	39	305
Σ	422	2013	263	1684	436	5051	457	5065

TAULUKKO 18. Ensimmäisen kerroksen X-suuntaan jäykistäviin seiniin vaikuttavat voimat

4 Tulosten vertailu

Tämän luvun ensimmäisessä osiossa vertaillaan Luvussa 3.1 esitettyjä kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmista saatuja tuloksia. Toinen osio sisältää Luvussa 3.2 esitettyjen ensimmäisen kerroksen jäykistäville seinille tulevien kuormien vertailun.

4.1 Kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmien vertailu

Yhden kerroksen kokonaisjäyhyysmomentit laskettiin siis kolmessa eri tapauksessa. Valittiin jäykistäviksi seinälinjoiksi:

- 1) pitkät ja aukottomat väliseinälinjat sekä hissikuilun elementit
- 2) kaikki vähintään metrin pituiset suorat seinälinjat
- 3) kaikki vähintään metrin pituiset seinälinjat ja yhdistettiin kaikki toisensa kohtaavat seinät jäykiksi seinäyhdistelmiksi

Jäyhyysmomentti kuvaa poikkileikkaukseltaan tietyn muotoisen homogeenisen kappaleen kykyä vastustaa taipumaa poikkileikkaustason tietyn akselin suuntaan. Eli mitä suurempi jäyhyysmomentti, sitä suurempi on jäykkyys. Taulukkoon 19 on koottu kokonaisjäyhyysmomentit kaikista kolmesta tarkastelutapauksesta. Tapauksissa 1) ja 2) kerros jäykistettiin vain suoria seinälinjoja käyttäen, joten näissä tapauksissa on voitu laskea myös seinälinjojen yhteenlasketut pituudet, jotka on esitetty myös alla olevassa taulukossa. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on tapauksen jäyhyysmomentin prosenttiosuus suurimmasta jäyhyysmomentista.

JÄYHYYSMOMENTTI Y-SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

	Σh		Σl		$\%_i$
1) VAIN VALITUT SEINÄLINJAT	35,35	m	25,04	m ⁴	35
2) KAIKKI YLI METRIN PITKÄT SEINÄLINJAT	64,39	m	37,35	m ⁴	52
3) SEINÄYHDISTELMÄT + SUORAT SEINÄT	-		71,81	m ⁴	100
		MAKS	71,81	m ⁴	

JÄYHYYSMOMENTTI X-SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

	Σh		Σl		$\%_i$
1) VAIN VALITUT SEINÄLINJAT	17,38	m	7,72	m ⁴	47
2) KAIKKI YLI METRIN PITKÄT SEINÄLINJAT	37,73	m	8,96	m ⁴	55
3) SEINÄYHDISTELMÄT + SUORAT SEINÄT	-		16,30	m ⁴	100
		MAKS	16,30	m ⁴	

TAULUKKO 19. Kokonaisjäyhyysmomentit

Taulukon 19 tuloksista voidaan selkeästi todeta, että selvästi suurin jäykkyys saadaan, kun rungon jäykistykseen käytetään seinäyhdistelmiä. Jäykistävillä suorilla seinälinjoilla kokonaisjäyhyyksiksi saadaan vain reilut 50 % siitä jäykyydestä, joka seinäyhdistelmiä käyttämällä saavutetaan.

Taulukoissa 11-16 esitetyistä tuloksista käy myös ilmi, että jopa kahdella seinäyhdistelmällä voidaan saavuttaa suurempi jäykkyys kuin peräti 15:llä yksittäisellä suoralla seinällä. Huomioitavaa on myös se, että kohteessa, josta löytyy pitkiä jäykistäviä suoria seinälinjoja, hissikuilun osuus kaikissa tapauksissa kerroksen kokonaisjäyhyyteen on huomattavan pieni.

Taulukossa 19 on esitetty kahden ensimmäisen jäykistystapauksen kohdalla myös jäykistävien seinälinjojen yhteenlasketut pituudet. Näistä tuloksista onkin helppo todeta, että seinälinjojen kokonaispituudella ei ole suurta merkitystä kerroksen kokonaisjäyhyysmomenttiin. Sillä vaikka tapauksessa 2) seinien kokonaispituus X-suuntaan tuplaantuu, verrattuna tapaukseen 1), niin vaikutus kokonaisjäyhyysmomenttiin on lähes mitätön. Toki Y-suuntaan myös kokonaisjäyhyysmomentti kasvaa huomattavasti tapauksien 1) ja 2) välillä, mutta tämä johtuu pääosin siitä, että tapauksessa 2) seinät S-Y4 ja S-Y7 on laskettu yli kolme metriä pidempinä, kuin tapauksessa 1).

4.2 1. kerroksen jäykistäville seinille tulevien kuormien vertailu

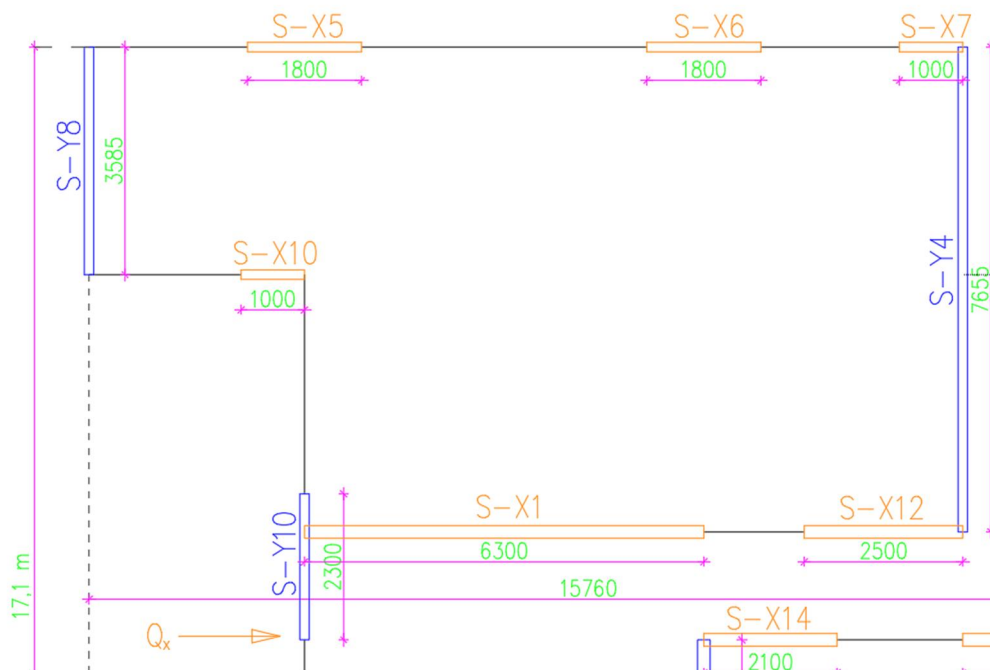
Taulukoissa 17 ja 18 on esitetty ensimmäisen kerroksen jäykistäville seinille tulevat vaaka- ja pystykuormat. Tuloksia varten tehtiin kaksi ETABS-mallia, joista ensimmäinen mallinnettiin elementtitalona ja toinen paikallavalutalona, sekä tehtiin kaksi Excel-laskentaa Sitowisen omalla jäykistykseen laskentaan tarkoitetulla Excel-alustalla.

EXCEL vs ETABS

Elementtitalon kohdalla Y-suuntaan jäykistäviin seiniin vaikuttavissa pystykuormissa ei ole merkittäviä eroja Excelin ja ETABS:n välillä. ETABS:sta saadut voimat olivat kauttaaltaan hiukan pienemmät, kuin Excelistä saadut arvot. Myös X-suuntaan jäykistävissä seinissä pystykuormien suhde jatkaa samaa kaavaa kuin Y-suuntaan jäykistävissä seinissä. Mutta ETABS:sta saadut vaakavoimat ovat molemmissa suunnissa huomattavasti pienempiä verrattuna Excelin arvoihin. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että vaikka ETABS-mallissa jäykistävien seinien pystysaumot on ns. vapautettu ja ei-jäykistävien seinien ominaisuudet määriteltiin siten, että ne siirtävät kuormia vain pystysuunnassa, niin todennäköisesti osa vaakakuormista ETABS-mallissa jakautuu kuitenkin ei-jäykistäville seinille, sillä onhan suurin osa mallin seinistä ei-jäykistäviä seiniä. Pieni ero pystykuormissa johtuu mahdollisesti samasta syystä.

Paikallavaletussa talossa ETABS:lla saadut pystykuormat olivat seinäkohtaisesti pääosin suunnilleen samat kuin Excel-pohjasta saadut arvot. Pientä heittoa oli

molempiin suuntiin, mutta tämä johtuu siitä, että tasoilta seinille vaikuttavien kuormitusleveyksien tarkka määrittäminen Excel-laskentapohjaan kahteen suuntaan kantavissa paikallavauloholveissa oli vaikeaa. Yksi suurempi poikkeus sieltä kuitenkin pisti silmään, sillä seinälle S-X10 vaikuttava pystyvoima oli ETABS-mallissa yli kaksinkertainen Excel-laskennasta saatuun arvoon verrattuna. Todennäköisin syy suureen eroon löytyy siitä, että kun seinä S-X10 on sisäkulmassa ja vieressä on suurehko avoin taso, niin ETABS-laskee tältä tasolta jakautuvan kuormia ko. seinälle enemmän, kuin mitä Exceliin määritetty kuormitusleveys ottaa huomioon (Kuva 13.)



KUVA 13. Seinä S-X10 sisäkulmassa

Vaakakuormat paikallavaletun talon ETABS-mallissa jakautuu huomattavasti tasaisemmin kaikille seinille kuin Excel-laskennassa. Tämä johtuu siitä, että ETABS:lla mallinnetussa paikallavaletussa rungossa kuormat liikkuvat kaikissa seinissä, kun taas Excelissä jäykistävien seinien välissä on selkeitä aukkoja ja vaakakuormat liikkuvat vain tasojen kautta.

Elementtitalo vs Paikallavalettu talo

Vertailtaessa elementtitalon ja paikallavaletun talon yksittäisiin seiniin vaikuttavia voimia huomataan, että paikallavalettuna pystykuormat kasvavat merkittävästi

muutamalla seinällä. Esimerkiksi seinillä S-Y4 ja S-Y7 pystykuormat ovat miltei kolminkertaisia elementtiseiniin verrattuna. Tämä johtuu siitä, että elementtitalossa nämä seinät eivät ole ns. kantavia seiniä eli tasokuormat ontelolaatoilta on välitetty muille seinälinjoille, kun taas paikallavaletussa talossa tasot siirtävät pystykuormia kaikilta reunoiltaan. Tämä on syynä myös X-suuntaisten seinien S-X1, S-X3 ja S-X4 merkittäviin pystykuorma-arvojen eroihin. Toinen merkittävä syy siihen, että paikallavalettuna pystykuormat seinillä S-Y4 ja S-Y7 ovat suuremmat, on se, koska paikallavalettuun taloon kyseiset seinät mallinnettiin lähes kolme metriä pidempinä kuin elementtitaloon. On myös muistettava, että paikallavaletun talon kokonaisuudessa on hiukan suurempi, koska PV-taloon mallinnetut paikallavaletut ovat painavampia kuin elementtitalon ontelolaatat.

Seinäkohtaiset vaakakuormat ovat paikallavaletussa talossa pääsääntöisesti pienempiä johtuen siitä, että paikallavaletussa talossa ne jakautuvat useammalle seinälle. Ero ei kuitenkaan ole merkittävä. Eroavaisuutta mahdollisesti pienentää se seikka, että koska PV-talon kokonaispystykuorma on suurempi, se samalla kasvattaa seiniin kohdistuvia epäkeskisyydestä johtuvia lisävaakavoimia. Suurimmat erot vaakakuormissa tulee seinille S-Y4 ja S-Y7. Paikallavaletussa talossa näihin kohdistuvat vaakavoimat ovat merkittävästi suuremmat, johtuen seinien pituuseroista. Kuten edellä jo todettiin, PV-taloon kyseiset seinät mallinnettiin huomattavasti pidempinä, ja koska vaakavoimat jakautuvat jäykistäville rakenneosille osien jäykkyyksien suhteessa, niin PV-talon pidemmät seinät ottavat suuremman osan Y-suuntaisesta kokonaisvaakavoimasta.

5 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada selville tietoa siitä, miten asuinkerrostalon rungon jäykistyslaskentaan valittavien jäykistävien rakenneosien määrät ja muodot vaikuttavat kokonaisjäyhyysmomenttiin. Toinen tavoite oli selvittää elementtitalon ja paikallavaletun talon ensimmäisen kerroksen jäykistäviin seiniin vaikuttavia voimia.

Työn alussa kerrottiin Esimerkkikohteen perustiedot, käytetyt materiaalit sekä rakennukseen vaikuttavat kuormat. Käytiin läpi myös teoriaa kuormien laskennasta. Seuraavaksi perehdyttiin rakennuksen jäykistämiseen ja stabiliteettiin sekä kerrottiin Esimerkkikohteen stabiliteetin tarkastuksen laskentatulokset.

Vertailuja varten Sitowisen omalla stabiliteetin laskenta-alustalla tehtiin kaksi Excel-laskentaa Esimerkkikohteen rungon stabiliteetista: elementtitalona sekä Excelin mahdollisuuksien mukaan myös paikallavalutalona. Esimerkkikohde mallinnettiin molemmissa tapauksissa myös FEM-pohjaisella ETABS-laskentaohjelmalla. Kokonaisjäyhyysmomenttivertailua varten tehtiin oma Excel-laskentapohja, jolla pystyttiin laskemaan seinäyhdistelmien jäyhyysmomentit. Tulokset ja tulosten vertailu käytiin läpi omissa luvuissaan.

Kokonaisjäyhyysmomenttilaskelmista saatiin mielestäni selkeää tietoa siitä, miten jäykistävien rakenneosien määrä ja muoto vaikuttaa kokonaisjäyhyysmomenttiin. Suorien seinälinjojen tapauksista voidaan todeta, että lyhyillä seinillä eli alle neljä metriä pitkillä seinillä ei ole juurikaan vaikutusta kerroksen kokonaisjäykkyyteen. Jäykistyslaskentaa varten paras vaihtoehto olisi siis löytää rakennuksista pitkiä suorita seinälinjoja, jotka kattavat rakennuksen koko korkeuden perustuksilta vesikattoon asti. Tämä voi olla kuitenkin haastavaa, sillä seiniin upotetut hormit tai muut aukot katkaisevat usein ehjän seinälinjan. Stabiliteetin kannalta suotuisaa olisi, että jäykistävä seinälinja olisi myös kantava seinälinja.

Selkeästi paras tulos jäyhyysmomentin suhteen saatiin kuitenkin seinäyhdistelmillä. Näiden käyttö jäykistyksessä edellyttää kuitenkin sitä, että seinien liitoksista saataisiin jäykkiä eli liitos kestäisi seinien väliset taivutus- ja leikkausvoimat. Paikallavaletussa talossa tämä ei ole suuri ongelma, mutta elementtitalossa liitoksen eli elementtisauman kestävyys on vaikeampi taata. Laskelmien perusteella voidaan myös todeta, että yleisesti rungon jäykistykseen osallistuvan hissikuilun osuus kokonaisjäyhyysmomentista kaikissa laskentatapauksissa on melko mitätön.

Kuten jo todettu, ensimmäisen kerroksen jäykistäviin seiniin vaikuttavissa voimissa ei ollut huolestuttavia eroja suuntaan tai toiseen. ETABS:illa laskettuna

suurimmat voimat tulivat samoille seinille kuin Excelillä laskettuna. Myös elementtitalon seinien suurimmat kuormitukset tulivat samoille seinille kuin paikalla valetussa talossa. Suurempia eroja olisi mahdollisesti saatu, jos Esimerkkikohde olisi mallinnettu esimerkiksi kahdeksankerroksisena.

Kokonaisuudessaan työn tekeminen oli opettavainen kokemus. Opin tunnistamaan asuinkerrostalon rungon stabiliteetin laskentaan vaikuttavat seikat sekä opin ETABS-laskentaohjelman käytön perusteet. Uskonkin tästä työstä olevan hyötyä rakenne- ja elementtisuunnittelijan tehtävissä tulevilla työprojekteilla.

Lähteet

By 202. Suomen Betoniyhdistys ry. 1983: Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 3. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

By 211. Suomen Betoniyhdistys ry. 2015: Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013 – osa 1. Helsinki: BY – Koulutus Oy.

CSI. ETABS. <http://www.csiamerica.com/products/etabs>. Luettu 6.5.2019.

Jäykistysjärjestelmät 2010. Elementtisuunnittelu. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>. Luettu 9.4.2019.

SFS-EN 1991-1-1 + AC. 2002. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.10.2002. Luettu 4.4.2019.

SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1. 2015. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 5.10.2015. Luettu 4.4.2019.

SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 24.1.2011. Luettu 4.4.2019.

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC. 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1. Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 19.1.2015. Luettu 24.4.2019.

Sitowise. Yritys. <http://www.sitowise.com/fi/sitowise/yritys>. Luettu 6.5.2019.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 1992. Betonielementtien liitosten ja saumojen suunnittelu. Helsinki: Suomen Betonitieto r.y.

RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Väliseinät. Elementtisuunnittelu. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/kantokykykayrat/valiseinat>. Luettu 30.4.2019.

TUULI JA MITTAEPÄTARKKUUDET

10.5.2019

Joni Ukkonen

Kohde: TALO A

RIL 201-1-2017

! OHJE !

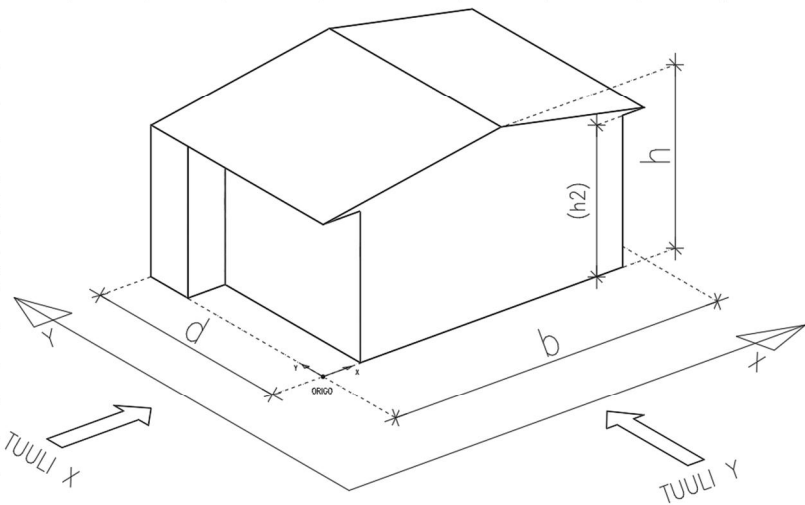
Työn numero:

VAAKAKUORMIEN MÄÄRITTELY

Rakennuksen mitat:

Korkeus: $h = 15,8$ mLeveys: $b = 29,4$ mSyvyys: $d = 17,1$ m

100 v ? Kyllä

**KOKONAISTUULIVOIMAT****LASKENTATAPA 1****Kokonaistuulivoiman laskenta voimakertoimen c_f avulla (s.140)**

Kokonaistuulivoima: $F_w = c_s c_d c_f q_p(h) A_{ref}$ (Tuuli kohtisuoraan pitkää sivua kohti
=> tuulen suunta Y-suunta)

, missä $c_s c_d = 1,00$

(rakennekerroin, s.142 ja 145)

<= varmallalla puolella $c_s c_d = 1,0$, s.140 $c_{f,y} = 1,4$

(voimakerroin, määrittely RIL 201-1 2017, s.140-141)

(<= $d/b = 0,58$ ja hoikkuus $h/b = 0,54$) $q_p(h) = 0,57$ kN/m²

(modifioitu nopeuspaine, s.136-137)

 $A_{ref,y} = 464,5$ m²(= $b \cdot h$, missä b = rakennuksen leveys "tuulen näkemänä"=> $b = 29,4$ m) $F_{w,y} = 404,2$ kN=> $q_{w,y} = 0,87$ kN/m²

Kokonaistuulivoima: $F_w = c_s c_d c_f q_p(h) A_{ref}$ (Tuuli kohtisuoraan lyhyttä sivua kohti
=> tuulen suunta X-suunta)

, missä $c_s c_d = 1,00$

(rakennekerroin, s.142 ja 145)

<= varmallalla puolella $c_s c_d = 1,0$, s.140 $c_{f,x} = 1,2$

(voimakerroin, määrittely RIL 201-1 2017, s.140-141)

(<= $d/b = 1,72$ ja hoikkuus $h/b = 0,92$) $q_p(h) = 0,565$ kN/m²

(modifioitu nopeuspaine)

 $A_{ref,x} = 270,2$ m²(= $b \cdot h$, missä b = rakennuksen leveys "tuulen näkemänä"=> $b = 17,1$ m) $F_{w,x} = 201,5$ kN=> $q_{w,x} = 0,75$ kN/m²

LASKENTATAPA 2



Kokonaistuulivoiman laskenta pintapaineiden avulla (s. 143)

Kokonaistuulivoima:	$F_w = \gamma_e F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr}$	(Tuuli kohtisuoraan pitkää sivua kohti => tuulen suunta Y-suunta)	
, missä	$\gamma_{e,y} = 0,85$	(kerroin, jonka avulla huomioidaan, että rakennuksen etu- ja takapuolella esiintyvien paine- ja imuvoimien huippuarvot eivät esiinny samaan aikaan, s. 144) ($\leq h/d = 0,92$ $d = \text{rak. pituus tuulen suunnassa}$)	
	$F_{w,e} = 344,2$ kN	(ulkopuolinen kuorma)	
	$F_{w,e} = c_{s,c_d} \cdot \sum_{\text{pinnat}} w_e \cdot A_{ref}$	($c_{s,c_d} = 1,00$ (s. 142, voidaan käyttää $c_{s,c_d} = 1,0$, s. 143))	
	$w_{e,y} = 0,741$ kN/m ²	(yksittäiseen pintaan kork. z_e vaikuttava ulkopuolinen paine, tässä tapauksessa koko seinä on yksittäinen pinta)	
	$w_e = q_p(z_e) c_{pe}$		
, missä	$q_p(z_e) = 0,57$ kN/m ²	(puuskanopeuspaine, s. 149 ja s. 136-137)	
	$c_{pe,yht} = 1,3$	(ulkoisen paineen kerroin yhteensä, "D - E")	
	$h/d = 0,92$	=> Tuulenpuoli (Alue D) $c_{pe,10} = 0,8$ (s. 150) Suojanpuoli (Alue E), imu $c_{pe,10} = -0,5$ (s. 150)	
	$A_{ref,y} = 464,5$ m ²	(= $b \cdot h$, missä $b = \text{rakennuksen leveys "tuulen näkemänä"}$)	
	$F_{w,y} = 321,8$ kN	=> $q_{w,y} = 0,69$ kN/m ²	
Kokonaistuulivoima:	$F_w = \gamma_e F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr}$	(Tuuli kohtisuoraan lyhyttä sivua kohti => tuulen suunta X-suunta)	
, missä	$\gamma_{e,x} = 0,85$	($\leq h/d = 0,54$ $d = \text{rak. pituus tuulen suunnassa, s. 144}$)	
	$F_{w,e} = 172,5$ kN	(ulkopuolinen kuorma)	
	$F_{w,e} = c_{s,c_d} \cdot \sum_{\text{pinnat}} w_e \cdot A_{ref}$	($c_{s,c_d} = 1,00$ (s. 142, voidaan käyttää $c_{s,c_d} = 1,0$, s. 143))	
	$w_{e,x} = 0,638$ kN/m ²	(yksittäiseen pintaan kork. z_e vaikuttava ulkopuolinen paine, tässä tapauksessa koko seinä on yksittäinen pinta)	
	$w_e = q_p(z_e) c_{pe}$		
, missä	$q_p(z_e) = 0,57$ kN/m ²	(puuskanopeuspaine, s. 149 ja s. 136-137)	
	$c_{pe,yht} = 1,12$		
	$h/d = 0,54$	=> Tuulenpuoli (Alue D) $c_{pe,10} = 0,74$ (s. 150) Suojanpuoli (Alue E), imu $c_{pe,10} = -0,38$ (s. 150)	
	$A_{ref,x} = 270,2$ m ²	(= $b \cdot h$, missä $b = \text{rakennuksen leveys "tuulen näkemänä"}$)	
	$F_{w,x} = 161,3$ kN	=> $q_{w,x} = 0,60$ kN/m ²	
		Y-suunta	
YHTEENVETO:	Voimakertoimen avulla:	$F_{w,y} = 404,2$ kN	X-suunta
	Pintapaineiden avulla:	$F_{w,y} = 321,8$ kN	$F_{w,x} = 201,5$ kN
		Ero: 20 %	20 %

MUUT POIKITTAISVOIMAT

SFS-EN 1992-1-1

! OHJE!

Toisen kertaluvun vaikutukset: (s.54)

Toisen kertaluvun vaikutuksia ei tässä tapauksessa tarvitse huomioida.

(Perustelut EN 1992-1-1, kohta 5.8.3.3 kaava 5.18, s.66)

Mittaepätarkkuudet: (s.54)

Mittaepätarkkuuksista johtuvat vaikutukset huomioidaan murtorajatilassa.

Epätarkkuudet voidaan laskea vinouden θ_i laskentakaavalla:

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

, missä $\theta_0 = 1 / 200$ (suositusten mukainen vinouden perusarvo) $\alpha_h = 0,50$ (pituuteen tai korkeuteen perustuva pienennyskerroin) $\alpha_h = 2/\sqrt{L}$ ($L =$ rakennuksen korkeus $= h = 15,8$ m)Ehto: $2/3 \leq \alpha_h \leq 1,0$ Valitaan $\alpha_{h, \text{val}} = 0,67$ $\alpha_m = 0,74$ (rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin)

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

 $m = 10$ ($m =$ jäykistysjärjestelmän vaakavoimaan vaikuttavien pystyrakenneosien määrä, varmalla puolella $m = 10$) $\theta_i = 0,00248 = 1 / 403$

Jaetaan mittaepätarkkuuksista aiheutuvat pysyvät ja muuttuvat kuormat kerroksille:

KUORMAT / KRS					
Kerroksen A = 411,3 m ² + parvekkeet 0 m ² = 411,3 m ²					
Pysyvät:	A tai L		g _k		G _k [kN]
Ontelot	331,2	m ²	4,0	kN/m ²	1324,8
Kylpyhuoneet	45,9	m ²	8,4	kN/m ²	385,56
Tasoite	411,3	m ²	0,5	kN/m ²	205,65
Hormit					0
Kantavat väliseinät	81,4	m	15	kN/m	1221
Porraslaatat	34,2	m ²	6,5	kN/m ²	222,3
Ulkoseinät	100,0	m	19,2	kN/m	1920
Parvekkeet	0	m ²	6,6	kN/m ²	0
					G _{k,yht} = 5279,3 kN
Muuttuvat:	A tai L		q _k		Q _k [kN]
Hyöty	377,1	m ²	2,0	kN/m ²	754,2
Porrashuoneiden hyötyk.	34,2	m ²	2,0	kN/m ²	68,4
Parvekkeiden hyötyk.	0	m ²	2,5	kN/m ²	0
Kevyet väliseinät		m		kN/m	0
					Q _{k,yht} = 822,6 kN

Pystykuormat yhteensä:

$$\Sigma N_{Ed/krs} = 7305,1 \text{ kN}$$

$$\Sigma N_{Ed/krs} = 1,15 \cdot G_{k,yht} + 1,5 \cdot Q_{k,yht}$$

Tasot: $n = 5$

($n = \text{jäykistävien tasojen lukumäärä}$)

$$\Sigma N_{Ed} = 36526 \text{ kN}$$

$$\Sigma N_{Ed} = n \cdot \Sigma N_{Ed/krs}$$

Yhdelle kerrokselle tulevat poikittaisvoimat:

Y- ja X- suunta: $Hg_k = 13,12 \text{ kN/krs}$

$$Hg_k = G_k \cdot \theta_i$$

$Hq_k = 2,04 \text{ kN/krs}$

$$Hq_k = Q_k \cdot \theta_i$$

Kokonaispoikittaisvoimat:

$n = 5$

($n = \text{jäykistävien tasojen lukumäärä}$)

$HG_k = 65,58 \text{ kN}$

$$HG_k = n \cdot Hg_k$$

$HQ_k = 10,22 \text{ kN}$

$$HQ_k = n \cdot Hq_k$$

$H_k = 75,80 \text{ kN}$

$$H_k = HG_k + HQ_k$$

$H_d = 90,75 \text{ kN}$

$$H_d = 1,15 \cdot HG_k + 1,5 \cdot HQ_k$$

VAAKAVOIMAT YHTEENSÄ

Lasketaan seinien saamat poikittaisvoimat Y- ja X- suunnissa kuormitusyhdistelmällä 1.

Y- suunta: $\Sigma Q_y = 692,4 \text{ kN}$

$$\Sigma Q_y = 1,15 \cdot HG_k + 0,7 \cdot 1,5 \cdot HQ_k + 1,5 \cdot F_{w,y}$$

X- suunta: $\Sigma Q_x = 388,4 \text{ kN}$

$$\Sigma Q_x = 1,15 \cdot HG_k + 0,7 \cdot 1,5 \cdot HQ_k + 1,5 \cdot F_{w,x}$$

SITOWISE OY

SITOWISE

Tekijä: Joni Ukkonen

Projekti: TALO A, ELEMENTTISEINÄT

Päiväys: 17.4.2019

Sisältö: Rungon stabiileihin laskenta.

Tuulikuormat huomioidaan eurokoodin (SFS-EN 1991-4) ohjeistuksen mukaisesti.
Maanpäine laskeaan tuulikuormana laskennan yksinkertaistamiseksi.

ALÄ POISTA TAI LISÄÄ RIVEJÄ!

TÄYTTÄVÄ KÄYTTÄJÄN TOIMESTA

RAKENNUKSEN KUORMAT (RIL 201-1-2014)

RAKENNUKSEN KORKEUS	
ZH =	15,80 m

TUULENPAINIEN PERUSARVO [kN/m ²]				
0	1	2	3	4
1,18	0,84	0,73	0,57	0,42

Paine	
25	kN/m ³

MAASTOLUOKKA

3

NOPEUSPAINIEN OMINAISARVO

q₀ = 0,57 kN/m²

VOIMAKERROIN

c_f y = 1,40c_f x = 1,20

KOKONAISTUULIKUORMA

q_w y = 0,87 kN/m²q_w x = 0,75 kN/m²

TASON VIVAKUORMA TUULUSTA

Kerros	Kuorm. leveydet [m]	W _f y [kN/m]	W _f x [kN/m]
Vestikatto	0,00	0,00	0,00
4. KRS	3,25	4,26	3,65
3. KRS	3,00	3,93	3,37
2. KRS	3,00	3,93	3,37
1. KRS	3,08	4,03	3,45
KELLARI	2,53	3,31	2,84
	0,95	1,24	1,07
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00

SEINIEN KORKEUDET

H	HL	Y-suurta	X-suurta
1,75	0,000	1,750	1,750
3,00	0,265	2,735	2,735
3,00	0,320	2,680	2,680
3,00	0,320	2,680	2,680
3,15	0,320	2,830	2,830
1,90	0,320	1,580	1,580
		0,000	0,000
		0,000	0,000
		0,000	0,000

PARVEKKEET

Parvekkeiden leveydet [m]		Origon etäisyys rakennuksen reunasta [m]	
Pidempi sivu	Lyhyempi sivu	X-suurta	Y-suurta
0	0	0	0

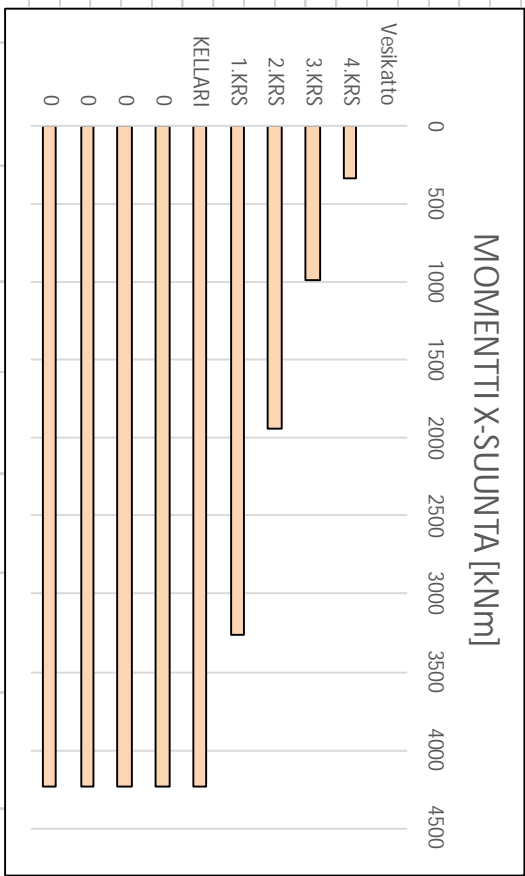
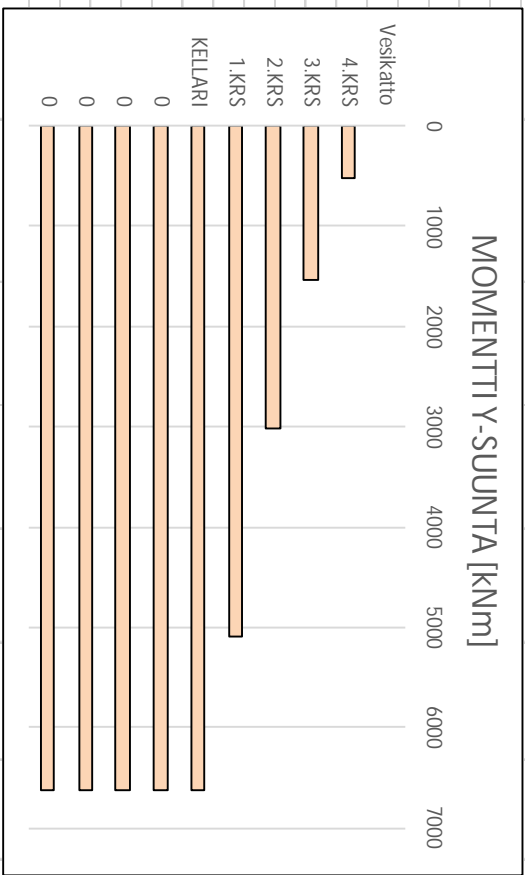
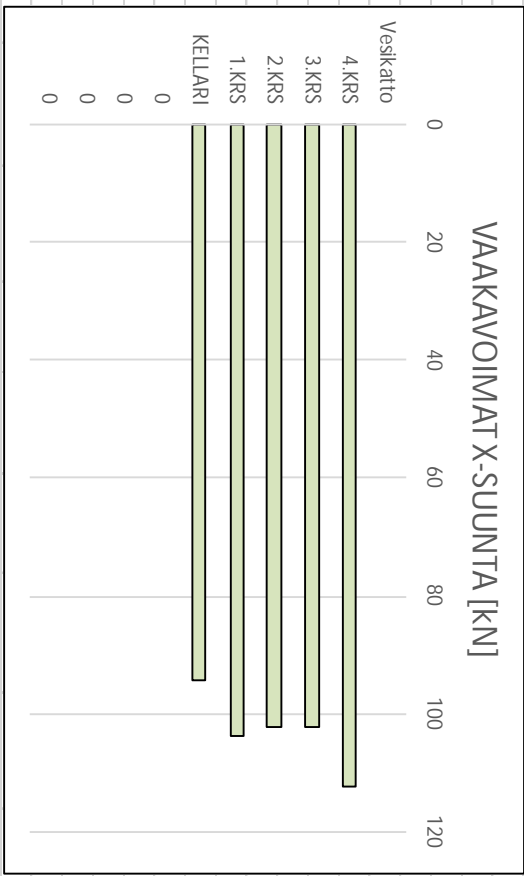
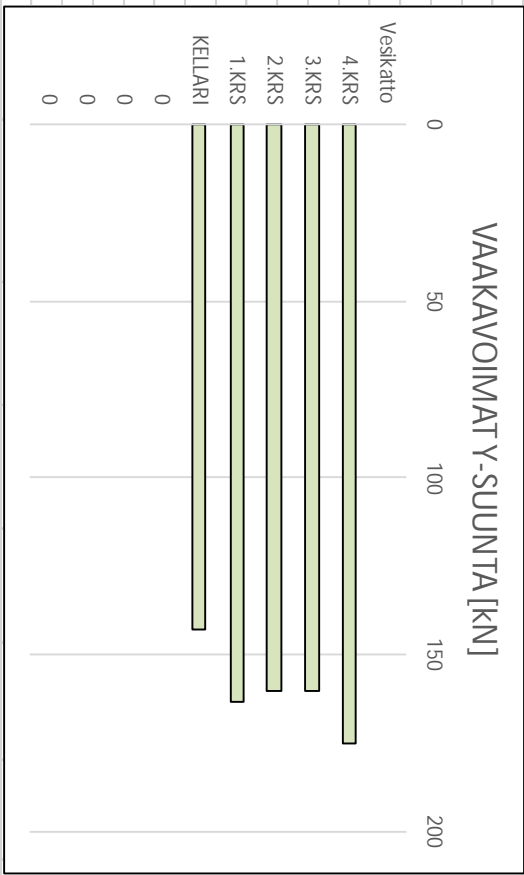
OSAVARMUUSKERTOIMET	
Tuulikuorma	Pysyvä kuorma
w _w = 1,5	w _{el} = 1,15
Hyötykuorma	Pysyvä kuorma (edull.)
y _a = 1,5	y _{ez} = 0,9
Lumiikuorma	
y _{sn} = 1,5	

K _{ri}	1
1000V ? kylä	

RAKENNUKSEN DIMENSIOT			TASON TUULIKUORMAN RESULTANTTI			
Kerros	X [m]	Y [m]	Y-suunta [kN]	X-suunta [kN]	Leveys [m]	Syvyyys [m]
Vesikatto	29,4	17,10	0,00	0,00		
4.KRS	29,4	17,10	125,20	62,42	29,4	17,1
3.KRS	29,4	17,10	115,57	57,62	29,4	17,1
2.KRS	29,4	17,10	115,57	57,62	29,4	17,1
1.KRS	29,4	17,10	118,46	59,06	29,4	17,1
KELLARI	29,4	17,10	97,27	48,49	29,4	17,1
0			0,00	0,00	0	0
0			0,00	0,00	0	0
0			0,00	0,00	0	0
0			0,00	0,00	0	0

RAKENNUKSEN PYSTYKUORMAT $N_{Ed,epä}$							
Kerros	Vaakarak. [kN/m ²]	Lumikuorma [kN/m ²]	Hyötykuorma [kN/m ²]	Pystyrak. [kN/m ²]	Pinta-ala [m ²]	ΣN_{Ed} MRT [kN]	$\Sigma N_{d,Edul}$ EDUL. [kN]
Vesikatto				6,4	411		
4.KRS	5,30	2,2	1	6,4	411	7503	4328
3.KRS	5,20		2	6,4	411	6716	4291
2.KRS	5,20		2	6,4	411	6716	4291
1.KRS	5,20		2	6,4	411	6716	4291
KELLARI	5,30		2	6,6	411	6858	4402
0							
0							
0							
0							
						Σ 34508	21602

LISÄVAAKAVOIMAT KERROKSISSA				Σ VAAKAVOIMAT		Σ MOMENTTI	
Kerros	Hd [kN]	Y-suunta [kN/m]	X-suunta [kN/m]	Y-suunta [kN]	X-suunta [kN]	Y-suunta [kNm]	X-suunta [kNm]
Vesikatto	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
4.KRS	50,02	1,70	2,93	175	112	526	337
3.KRS	44,77	1,52	2,62	160	102	1532	982
2.KRS	44,77	1,52	2,62	160	102	3020	1933
1.KRS	44,77	1,52	2,62	163	104	5096	3260
KELLARI	45,72	1,55	2,67	143	94	6620	4239
0	0,00	#JAKO/0!	#JAKO/0!	0	0	6620	4239
0	0,00	#JAKO/0!	#JAKO/0!	0	0	6620	4239
0	0,00	#JAKO/0!	#JAKO/0!	0	0	6620	4239
0	0,00	#JAKO/0!	#JAKO/0!	0	0	6620	4239
	230,05			$\Sigma Q =$ 802	515		



1.KRS

Y-AKSELIIN SUUNTAISET SEINÄT

Seinän tunnus	Lujuus [MPa]	E _m [GPa]	G [GPa]	x-etäisyys [m]	Paksuus: b [m]	Pituus: l [m]	I _y [m ⁴]	k _y	k _y *x	Δx [m]	k _y *x ²
S-Y1	25	31,48	13,11	9,7	0,200	7,670	7,52	4312	41828	-6,50	182162
S-Y2	25	31,48	13,11	16,2	0,200	7,670	7,52	4312	69857	0,00	0
S-Y3	25	31,48	13,11	22,7	0,200	7,670	7,52	4312	97886	6,50	182214
S-Y4	25	31,48	13,11	13,785	0,200	4,070	1,12	1542	21252	-2,41	8988
S-Y5	25	31,48	13,11	15,375	0,150	2,100	0,12	265	4074	-0,82	180
S-Y6	25	31,48	13,11	17,025	0,150	2,100	0,12	265	4511	0,83	181
S-Y7	25	31,48	13,11	18,61	0,200	4,070	1,12	1542	28690	2,41	8957
S-Y8		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y9		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y10		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y11		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y12		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y13		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y14		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y15		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y16		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y17		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y18		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y19		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y20		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y21		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y22		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y23		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y24		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
S-Y25		20,58	8,57				0,00	-	-	-16,20	-
							25,04				
								Σk _y	Σk _y *x		Σk _y *x ²
								16550	268096		382681

Kiertokeskiön sijainti x-suunnassa
 $x' = \frac{\sum k_y \cdot x^2}{\sum k_y}$
 $x' = 16,200 \text{ m}$

$$1/k_x = \frac{H^3}{3EI_y} + \kappa_x \frac{H}{GA}$$

$$1/k_y = \frac{H^3}{3EI_x} + \kappa_y \frac{H}{GA}$$

Kappa ~1,2

KUORMITUSTAPAUS 1: KUORMAT PIDEMMÄLLÄ SIVULLA			
Kiertokeskiön epäkeskisyyss	$e_y = -1,4995$ m	Laatasta kiertävä momentti	$M_y = -245$ kNm
Siirtymä y-akselin suuntaisesti	$v_y = 0,0398$ kN/m ⁴	Rakennuksen kiertymä	$\theta_y = -0,0006396$ kN/m ⁵
KUORMITUSTAPAUS 2: KUORMAT LYHYEMMÄLLÄ SIVULLA			
Kiertokeskiön epäkeskisyyss	$e_x = -0,3784$ m	Laatasta kiertävä momentti	$M_x = -62$ kNm
Siirtymä x-akselin suuntaisesti	$v_x = 0,0567$ kN/m ⁴	Rakennuksen kiertymä	$\theta_x = -0,0117928$ kN/m ⁵

$\Delta e_y =$	$0,000$ m	$\Delta e_x =$	$0,000$ m
$v_y = \sum \frac{F_y}{k_y}$		$v_x = \sum \frac{F_x}{k_x}$	

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

$$Q_y = k_y * v_y + k_x * x * \theta$$

S-Y1	ERITYISTARKASTELU																		
KERROS	Pituus [m]	Paksuus [m]	N _{Ed} [kN]	M _{Max} [kNm]	Seinän päästä kuormaa T ₁ [kN]	Seinäkengin tyyppi	Seinänkenkä T ₂ [kN]	Seinäkengin etäisyys reunasta e ₂ [m]	e _{Ed} [m]	e _{Seinän} [m]	Varmuusluku	Stabiileetti	Lujus [MPa]	Sallittu puristusjännitys σ _{c,sall} [MPa]	Puristusjännitys σ _c [MPa]	Puristuksen käyttöaste	Kuormituspituus [m]	Z _N [kN]	Z _N [kNm]
4 KRS	7,670	0,200	329	194	0	N/A	0	0	3,835	0,59	6,5	OK	25	14,17	0,25	2%	6,49	328,55	50,62
3 KRS	7,670	0,200	651	507	0	N/A	0	0	3,835	0,78	4,9	OK	25	14,17	0,53	4%	6,11	650,78	106,48
2 KRS	7,670	0,200	973	945	0	N/A	0	0	3,835	0,97	3,9	OK	25	14,17	0,85	6%	5,73	973,01	169,88
1 KRS	7,670	0,200	1300	1542	0	N/A	0	0	3,835	1,19	3,2	OK	25	14,17	1,23	9%	5,30	1300,42	245,46
KEULARI	7,670	0,200	1589	1938	0	N/A	0	0	3,835	1,22	3,1	OK	25	14,17	1,52	11%	5,23	1589,11	303,79
0	0,000	0,000	0	1938	0	N/A	0	0	-	-	-	-	25	14,17	-	-	-	-	-
0	0,000	0,000	0	1938	0	N/A	0	0	-	-	-	-	25	14,17	-	-	-	-	-
0	0,000	0,000	0	1938	0	N/A	0	0	-	-	-	-	25	14,17	-	-	-	-	-

Väliseinät*Lähtökohdat ja rajoitukset***Raudoittamaton seinä**- Viivakuorma $q_{ed} = 0,5$ kN/m 1,2m korkeudella- $\gamma_c = 1.5$ (2.4.2.4)

- Ensimmäisen kertaluvun epäkeskisyyys

$$e_0 = \max(M_{02}/N_{ed}; M_{0Ed}/N_{ed}; h_w/30; 20\text{mm}) \quad (12.12; 6.1.4)$$

- Jännitystilä poikkileikkauksessa: $f_{cd,pl} \leq \sigma_c \leq f_{ctd,pl}$ - $\beta = 1.0$ (Taulukko 12.1)- Hoikkuus $\lambda \leq 86$ (12.6.5.1.5)

paksuus	korkeus	C25/30			C30/37			C35/45		
		e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20	e1=e2=0	e1=0,e2=20	e1=e2=20
120	2400	290	290	146	348	348	204	406	406	243
	2700	246	246	0	295	295	102	344	344	138
150	2400	532	532	424	638	638	511	744	744	598
	2700	488	488	364	585	585	440	683	683	516
	3000	443	443	304	532	532	368	621	621	433
	3300	399	399	241	479	479	295	559	559	348
	3600	355	355	173	426	426	216	497	497	259
180	2400	773	773	669	928	928	805	1 082	1 082	940
	2700	729	729	612	875	875	736	1 021	1 021	860
	3000	685	685	554	822	822	666	959	959	779
	3300	641	641	495	769	769	597	897	897	699
	3600	596	596	437	716	716	527	835	835	618
	3900	552	552	378	663	663	457	773	773	536
	4200	508	508	317	610	610	385	711	711	453
200	2400	934	934	832	1 121	1 121	999	1 308	1 308	1 167
	2700	890	890	774	1 068	1 068	931	1 246	1 246	1 087
	3000	846	846	717	1 015	1 015	862	1 184	1 184	1 007
	3300	801	801	659	962	962	793	1 122	1 122	927
	3600	757	757	602	909	909	724	1 060	1 060	847
	3900	713	713	544	856	856	655	998	998	766
	4200	669	669	486	803	803	586	936	936	686
	4500	625	625	427	750	750	516	875	875	605
	4800	580	568	368	697	684	445	813	800	523

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y1 + S-X14

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y1	0,2	7,67	1,534	3,835	5,88289	22,56088315	7,520294383
2	S-X14	2,1	0,2	0,42	7,67	3,2214	24,708138	0,0014
3				0		0	0	0
Σ				1,954		9,104	47,269	7,522

$$y_0 = 4,659 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 12,371 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X14 + S-Y1

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X14	0,2	2,1	0,42	1,05	0,441	0,46305	0,15435
2	S-Y1	7,67	0,2	1,534	0	0	0	0,005113333
3				0		0	0	0
Σ				1,954		0,441	0,463	0,159

$$x_0 = 0,226 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 0,523 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y2 + S-X3

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y2	0,2	7,67	1,534	3,835	5,88289	22,56088315	7,520294383
2	S-X3	4,825	0,2	0,965	7,67	7,40155	56,7698885	0,003216667
3				0		0	0	0
Σ				2,499		13,284	79,331	7,524

$$y_0 = 5,316 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 16,235 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X3 + S-Y2

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X3	0,2	4,825	0,965	2,4125	2,3280625	5,616450781	1,87215026
2	S-Y2	7,67	0,2	1,534	2,415	3,70461	8,94663315	0,005113333
3				0		0	0	0
Σ				2,499		6,033	14,563	1,877

$$x_0 = 2,414 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 1,877 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y3 + S-X15

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y3	0,2	7,67	1,534	3,835	5,88289	22,56088315	7,520294383
2	S-X15	2,1	0,2	0,42	7,67	3,2214	24,708138	0,0014
3				0		0	0	0
Σ				1,954		9,104	47,269	7,522

$$y_0 = 4,659 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 12,371 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X15 + S-Y3

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X15	0,2	2,1	0,42	1,05	0,441	0,46305	0,15435
2	S-Y3	7,67	0,2	1,534	2,1	3,2214	6,76494	0,005113333
3				0		0	0	0
Σ				1,954		3,662	7,228	0,159

$$x_0 = 1,874 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 0,523 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y4 + S-X12 + S-X7

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y4	0,15	7,655	1,14825	3,8275	4,394926875	16,82158261	5,607194205
2	S-X12	2,5	0,2	0,5	0	0	0	0,001666667
3	S-X7	1	0,15	0,15	7,655	1,14825	8,78985375	0,00028125
Σ				1,79825		5,543	25,611	5,609

$$y_0 = 3,083 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 14,134 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X7 + S-Y4 + S-X12

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X7	0,15	1	0,15	2	0,3	0,6	0,0125
2	S-Y4	7,655	0,15	1,14825	2,5	2,870625	7,1765625	0,002152969
3	S-X12	0,2	2,5	0,5	1,25	0,625	0,78125	0,260416667
Σ				1,79825		3,796	8,558	0,275

$$x_0 = 2,111 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 0,821 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y5 + S-X2 + S-Y6 (Hissikuilu)

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y5	0,15	2,1	0,315	1,05	0,33075	0,3472875	0,1157625
2	S-X2	1,65	0,15	0,2475	2,1	0,51975	1,091475	0,000464063
3	S-Y6	0,15	2,1	0,315	1,05	0,33075	0,3472875	0,1157625
Σ				0,8775		1,181	1,786	0,232

$$y_0 = 1,346 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 0,428 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X2 + S-Y5 + S-Y6 (Hissikuilu)

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X2	0,15	1,65	0,2475	0,825	0,2041875	0,168454688	0,056151563
2	S-Y5	2,1	0,15	0,315	0	0	0	0,000590625
3	S-Y6	2,1	0,15	0,315	1,65	0,51975	0,8575875	0,000590625
Σ				0,8775		0,724	1,026	0,057

$$x_0 = 0,825 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 0,486 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y7 + S-X13

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y7	0,15	7,655	1,14825	3,8275	4,394926875	16,82158261	5,607194205
2	S-X13	2,5	0,2	0,5	0	0	0	0,001666667
3				0		0	0	0
Σ				1,64825		4,395	16,822	5,609

$$y_0 = 2,666 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 10,712 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X13 + S-Y7

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X13	0,2	2,5	0,5	1,25	0,625	0,78125	0,260416667
2	S-Y7	7,655	0,15	1,14825	0	0	0	0,002152969
3				0		0	0	0
Σ				1,64825		0,625	0,781	0,263

$$x_0 = 0,379 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 0,807 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y10 + S-X1

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y10	0,15	2,3	0,345	1,15	0,39675	0,4562625	0,1520875
2	S-X1	6,3	0,2	1,26	1,7	2,142	3,6414	0,0042
3				0		0	0	0
Σ				1,605		2,539	4,098	0,156

$$y_0 = 1,582 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 0,238 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X1 + S-Y10

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X1	0,2	6,3	1,26	3,15	3,969	12,50235	4,16745
2	S-Y10	2,3	0,15	0,345	0	0	0	0,000646875
3				0		0	0	0
Σ				1,605		3,969	12,502	4,168

$$x_0 = 2,473 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 6,856 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y12 + S-Y13 + S-X4

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y12	0,15	1,8	0,27	0,9	0,243	0,2187	0,0729
2	S-Y13	0,15	3,3	0,495	3,45	1,70775	5,8917375	0,4492125
3	S-X4	4,6	0,2	0,92	3,5	3,22	11,27	0,003066667
Σ				1,685		5,171	17,380	0,525

$$y_0 = 3,069 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 2,038 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X4 + S-Y12 + S-Y13

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X4	0,2	4,6	0,92	2,3	2,116	4,8668	1,622266667
2	S-Y12	1,8	0,15	0,27	4,6	1,242	5,7132	0,00050625
3	S-Y13	3,3	0,15	0,495	4,6	2,277	10,4742	0,000928125
Σ				1,685		5,635	21,054	1,624

$$x_0 = 3,344 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 3,833 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI Y-AKSELIN SUUNTAAN (= X-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-Y14 + S-X11

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$y_i = \text{osan painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	y _i	A _i y _i	A _i y _i ²	I _i
1	S-Y14	0,15	3,585	0,53775	1,7925	0,963916875	1,727820998	0,575940333
2	S-X11	1,95	0,15	0,2925	0	0	0	0,000548438
3				0		0	0	0
Σ				0,83025		0,964	1,728	0,576

$$y_0 = 1,161 \text{ m} \quad y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } y - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_x = 1,185 \text{ m}^4 \quad I_x = \sum I_i + \sum A_i y_i^2 - y_0^2 \sum A_i$$

SEINÄYHDISTELMÄN JÄYHYYSMOMENTTI X-AKSELIN SUUNTAAN (= Y-AKSELIN YMPÄRI)

Yhdistelmä: S-X11 + S-Y14

$$A_i = b_i \cdot h_i$$

$$x_i = \text{osan painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta}$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

		[m]	[m]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
OSA	Seinä	b _i	h _i	A _i	x _i	A _i x _i	A _i x _i ²	I _i
1	S-X11	0,15	1,95	0,2925	0,975	0,2851875	0,278057813	0,092685938
2	S-Y14	3,585	0,15	0,53775	1,95	1,0486125	2,044794375	0,001008281
3				0		0	0	0
Σ				0,83025		1,334	2,323	0,094

$$x_0 = 1,607 \text{ m} \quad x_0 = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (\text{painopisteen } x - \text{suuntainen etäisyys origosta})$$

$$I_y = 0,274 \text{ m}^4 \quad I_y = \sum I_i + \sum A_i x_i^2 - x_0^2 \sum A_i$$