

# ASUINKERROSTALON RAKENNELASKENTAOHJE

Suunnittelun tarkastuslista ja esimerkkilaskelmat

Manu Ahokas

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014

Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Ahokas, Manu	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 25.04.2014
	Sivumäärä 98	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi ASUINKERROSTALON RAKENNELASKENTAOHJE - Suunnittelun tarkastuslista ja esimerkkilaskelmat		
Koulutusohjelma RAKENNUSTEKINNIIKAN KOULUTUSOHJELMA		
Työn ohjaaja(t) KONTTINEN, Jukka		
Toimeksiantaja(t) KPM-Engineering Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda rakennelaskelmia koskien tarkastuslista asuinkerrostalokohteisiin, joka toimii projektinhallinnan työkaluna sekä seurantatyökaluna yksittäiselle suunnittelijalle. Työssä käytiin läpi rakenteiden mitoittamiseen liittyvää teoriaa sekä tehtiin esimerkkilaskelmat asuinkerrostalokohteesta. Opinnäytetyön tekemisen aikana pyrittiin samalla kehittämään rakennelaskelmien dokumentointia toimeksiantajayrityksessä. Työn tilaajana toimi rakennetekniikan konsulttitoimisto KPM-Engineering Oy:n Jyväskylän toimipiste, joka on osa kansainvälistä Sweco-konsernia.</p> <p>Työ toteutettiin Excel-pohjaisena taulukkona, joka sisältää rakennushankkeessa esiintyvät suunnitteluvaiheet ja rakenteiden mitoittamiseen liittyviä tehtäviä. Lisäksi tarkastuslista sisältää linkkejä valmisosatoimittajien sähköisiin suunnitteluohjeisiin sekä yrityksen käytössä oleviin suunnitteluohjelmiin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin yksinkertainen ja käyttökelpoinen rakennelaskelmien tarkastuslista. Lisäksi kehitettiin rakennelaskelmien dokumentointiin laskelmaluettelo, joka parantaa samalla myös projektinhallintaa.</p> <p>Rakennelaskelmaosiossa käytiin läpi kohteen perustiedot, kuormien määrittäminen, rakennuksen jäykistäminen ja rakenneosien yksityiskohtaiset mitoittukset. Osiossa esitettävä teoria painottui rakennuksen jäykistykseen ja vaakavoimien jakautumiseen rakenteille. Työssä käytiin läpi myös pilarin mitoittusteoriaa sekä raudoittamattoman seinän mitoitus.</p>		
Avainsanat (asiasanat)  rakennesuunnittelu, rakennelaskelmat, rakennelaskelmien dokumentointi		
Muut tiedot Työn tuloksena saatua rakennelaskelmien tarkastuslista jää toimeksiantajan käyttöön, eikä sitä julkaista opinnäytetyön yhteydessä. Liitteenä rakennelaskelmat, 35 sivua		



Author(s) Manu, Ahokas	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 25.04.2014
	Pages 98	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title Guidelines for of structural engineering in apartment building- Checklist and example of the structural calculations.		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) KONTTINEN, Jukka		
Assigned by KPM-Engineering Oy		
<p>Abstract</p> <p>The objective of the thesis was to create a checklist of structural engineering in an apartment building. Using the checklist can follow progress of structural design and get better conditions in project management. The thesis includes the theory of structural calculations and an example of the calculations. During the making of the thesis documenting of structural calculations were carried out at the same time at the client company. The client company was structural engineering consulting firm KPM-Engineering Oy and their Jyväskylä office. KPM-Engineering Oy is part of international Sweco group.</p> <p>The outcome of the thesis is an Excel-based spreadsheet that includes a construction project used in the planning process and the sizing of structure related tasks. The checklist includes links to manufacturers' electronic design guidelines and the company's existing planning programs.</p> <p>The result was a simple and useful checklist for structure calculations. For documentation of the structure calculations also a list was developed to, improve the project management process.</p> <p>The structural calculating section discusses the basics of the example building, determines the loads, the stiffening of the building and introduces detailed calculations of the building components. The sections theory focuses on stiffening of the building and horizontal force distribution structures. The thesis includes also theory of the columns and non-reinforced concrete walls.</p>		
Keywords  Structural engineering, structural calculations, documentation of the structural calculations		
Miscellaneous The results of this structure calculations checklist will be the client use, is not going to be published in connection with the thesis. Attachments include 35 pages structural calculations.		

# Sisältö

1. TYÖN LÄHTÖKOHDAT	5
1.1. OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET .....	5
1.2. KPM-ENGINEERING OY OSANA SWECO RAKENNETEKNIKKAA .....	5
2. RAKENNUSHANKKEEN SUUNNITTELUVAIHEET	7
2.1. YLEISTÄ .....	7
2.2. HANKESUUNNITTELU .....	8
2.3. EHDOTUSSUUNNITTELU .....	8
2.4. YLEISSUUNNITTELU .....	9
2.5. HANKINTAVAIHEEN SUUNNITTELU .....	10
2.6. TOTEUTUSSUUNNITTELU .....	10
3. URAKKAMUODON VAIKUTUS RAKENNESUUNNITTELUN ETENEMISEEN	11
3.1. URAKKATOTEUTUS .....	11
3.2. PROJEKTINJOHTOTOTEUTUS, KVR- JA ST-URAKKA .....	11
4. ASUINKERROSTALON RAKENNESUUNNITTELUN TARKASTUSLISTAN TOTEUTUS	12
4.1. TAVOITTEET JA LÄHTÖKOHDAT .....	12
4.2. TARKASTUSLISTAN LUONNOSTELU .....	13
4.3. YLEISKUVAUS .....	13
5. MITOITUSLASKELMAT - CASE AS OY MALLI KAUPUNKI	14
5.1. PERUSTIEDOT .....	14
5.2. RAKENTEELLINEN JÄRJESTELMÄ .....	15
5.3. MATERIAALIOMINAISUUDET JA RASITUSLUOKAT .....	15
5.4. KUORMIEN MÄÄRITTÄMINEN JA KUORMITUSTAPAUKSET .....	17
5.4.1. Pysyvät kuormat	18
5.4.2. Hyötykuormat	20
5.5. RAKENNUKSEN JÄYKISTÄMINEN JA STABILITEETTI .....	30
5.5.1. Vaakavoimat	31
5.5.2. Vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille	31
5.5.3. Laskentatulokset stabiliteetin tarkastuksesta	34
5.6. RAKENNEOSIEN YKSITYISKOHTAINEN MITOITUS .....	40
5.6.1. Perustukset	41
5.6.2. Pilarit	41
5.6.3. Seinät	49
5.6.4. Palkit	51
5.6.5. Laatat	53



	2
5.6.6. VSS-rakenteet	54
6. RAKENNELASKELMIEN DOKUMENTOINTI	55
6.1. YLEISTÄ	55
6.2. RAKENNELASKELMIEN DOKUMENTOINNIN KEHITTÄMINEN YRITYKSESSÄ	57
7. POHDINTA	58
7.1. TAVOITTEIDEN TÄYTTÄMINEN	58
7.2. TARKASTUSLISTAN JATKOKEHITTÄMINEN	59
7.3. OPITTUJA ASIOITA	59
LÄHTEET	61
LIITTEET	63
Liite 1: Maanpaineen määrittäminen rakennuksen koillisnurkassa	63
Liite 2: Tuulikuorma vyöhykkeittäin rakennuksen pitkälle sivulle (y-suunta)	65
Liite 3: Tuulikuorma vyöhykkeittäin rakennuksen pätyyn (x-suunta)	66
Liite 4 Tuulen nopeuspaine-kaavio	67
Liite 5 Jäykistyskuormat käyttö- ja murtorajatilassa	68
Liite 6 Jäykistyskuormat murtorajatilassa	69
Liite 7 Rakenteiden vaakakuormien määrittäminen käyttö- ja murtorajatilanteessa	70
Liite 8 Rakennuksen kokonaisstabiiliteetin tarkastus	77
Liite 9 Perustuskuormien laskennassa käytetyt seinien nimet	78
Liite 10 Perustuslaskelmat	79
Liite 11 1. kerroksen aukkopilarin mitoitus	88
Liite 12 Jäykistävän väliseinän mitoitus	91
Liite 13 Aukkopalkin mitoitus	92
Liite 14 Porrashuoneen laattaelementin mitoitus	96
KUVIO 1. Sweco Finland organisaatiokaavio (Sweco-Suomessa 2014)	6
KUVIO 2. Periaate rakentamiskustannusten kertymisestä	8
KUVIO 3. Maastoluokkien kuvaukset RIL 201-1 mukaan	22
KUVIO 4. Pystyseinien vyöhykkeet RIL 201-1 mukaan	24
KUVIO 5. Nopeuspainekorkeus $z_e$ RIL 201-1 mukaan	25
KUVIO 6. Tehollinen hoikkuus $\lambda$ RIL 201-1 mukaan	26

KUVIO 7. Rakennekerroin $c_{s,c_d}$ RIL 201-1 mukaan .....	27
KUVIO 8. Ominaislumikuormat maassa $S_k$ [kN/m <sup>2</sup> ] RIL 201-1 mukaan .....	28
KUVIO 9. Lumikuorman muotokertoimet RIL 201-1 mukaan .....	29
KUVIO 10. Välipohja siirtyy ja kiertyy (RIL 125 1986, 125) .....	33
KUVIO 11. Rakennukseen vaikuttavat vaakavoimat kerroksittain .....	36
KUVIO 12. Rakennuksen jäykistävät seinät 1. kerroksessa .....	39
KUVIO 13. Erillisten sauvojen erilaisia nurjahdusmuotoja ja vastaavat nurjahduspituudet SFS-EN 1992-1-1 mukaan .....	42
KUVIO 14. Virumaluvun määrittäminen $\phi$ SFS-EN 1992-1-1 mukaan .....	43
KUVIO 15. Pilarissa vaikuttava mitoitusmomentit (Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, osa 5. Pilarit 2009) .....	44
KUVIO 16. Toisen kertaluvun vaikutusten aiheuttaman taipuman $e_2$ määrittäminen SFS-EN 1992-1-1 kohdan 5.8.8.3 mukaan .....	44
KUVIO 17. Kaarevuuden määrittäminen SFS-EN 1992-1-1 kohdan 5.8.8.3 mukaan...	45
KUVIO 18. Virumisasteen määrittäminen SFS-EN 1992-1-1 kohdan 5.8.4 mukaan ....	46
KUVIO 19. Puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutusdiagrammi (Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, osa 5. Pilarit 2009) .....	46
KUVIO 20. Halkaisuvoiman suuruus pilarin yläpäässä Runko-BES:n mukaan .....	48
KUVIO 21. Mitoitettu pilari .....	49
KUVIO 22. Jäykistävä väliseinä .....	51
KUVIO 23. Aukkopalkki rakennuksen päädyssä .....	52
KUVIO 24. Porrashuoneen laattaelementti .....	53
KUVIO 25. Laatan alapinnan momentit y-suunnassa [kNm] .....	53
KUVIO 26. Laatan alapinnan momentit x-suunnassa [kNm] .....	54
KUVIO 27. Laatan yläpinnan momentit x-suunnassa [kNm] .....	54
KUVIO 28. Laatan yläpinnan momentit y-suunnassa [kNm] .....	54
 TAULUKKO 1. Betonirakenteiden materiaaliominaisuudet sekä rasitusluokat .....	16
TAULUKKO 2. Kertoimen $\psi$ arvot eurokoodin SFS-EN 1990-A1-AC mukaan .....	18
TAULUKKO 3. Rakenteiden omat painot rakennetyypeittäin .....	19
TAULUKKO 4. Tiivistyksen maahan aiheuttama paine (Geotekniikan perusteet 2009, 187) .....	20
TAULUKKO 5. Käyttötarkoitussuorat eurokoodin SFS-EN 1991-1-1 mukaan .....	21

TAULUKKO 6. Hyötykuormat eurokoodin SFS-EN 1991-1-1 mukaan .....	21
TAULUKKO 7. Nopeuspaineen ominaisarvo $q_p(z)$ maastoluokittain [kN/m <sup>2</sup> ] RIL 201-1 mukaan.....	23
TAULUKKO 8. Ulkopuolisen paineen kertoimet RIL 201-1 mukaan.....	25
TAULUKKO 9. Voimakerroin $C_f$ RIL 201-1 mukaan .....	27
TAULUKKO 10. hyötykuormat esimerkkikohteessa.....	29
TAULUKKO 11. Jäykistävien seinien kuormaosuudet KRT:ssa.....	37
TAULUKKO 12. Jäykistävien seinien kuormaosuudet MRT:ssa .....	38
TAULUKKO 13. Väestönsuojarakenteiden painekuormat.....	55

# 1. Työn lähtökohdat

## 1.1. Opinnäytetyön tavoitteet

Tavoitteena oli luoda toimeksiantajalle rakennesuunnittelun aikana tehtävistä mitoitustaselmissa tarkastuslista, jonka tarkoitus on parantaa suunnittelun laatua sekä projektinhallintaa. Tarkastuslistaa käyttämällä yrityksen projektinhallintaan saadaan tehtyä selkeä malli, jolloin suunnittelusta tulee yhtenäisempää ja näin tehokkaampaa. Tarkastuslista on tehty asuinkerrostalokohteille, mutta listan käyttöä voi soveltaa mahdollisesti myös eri käyttötarkoitukseen tuleviin rakennuksiin. Tarkastuslistan käyttöä korjausrakentamiskohteissa ei ole tutkittu tässä opinnäytetyössä.

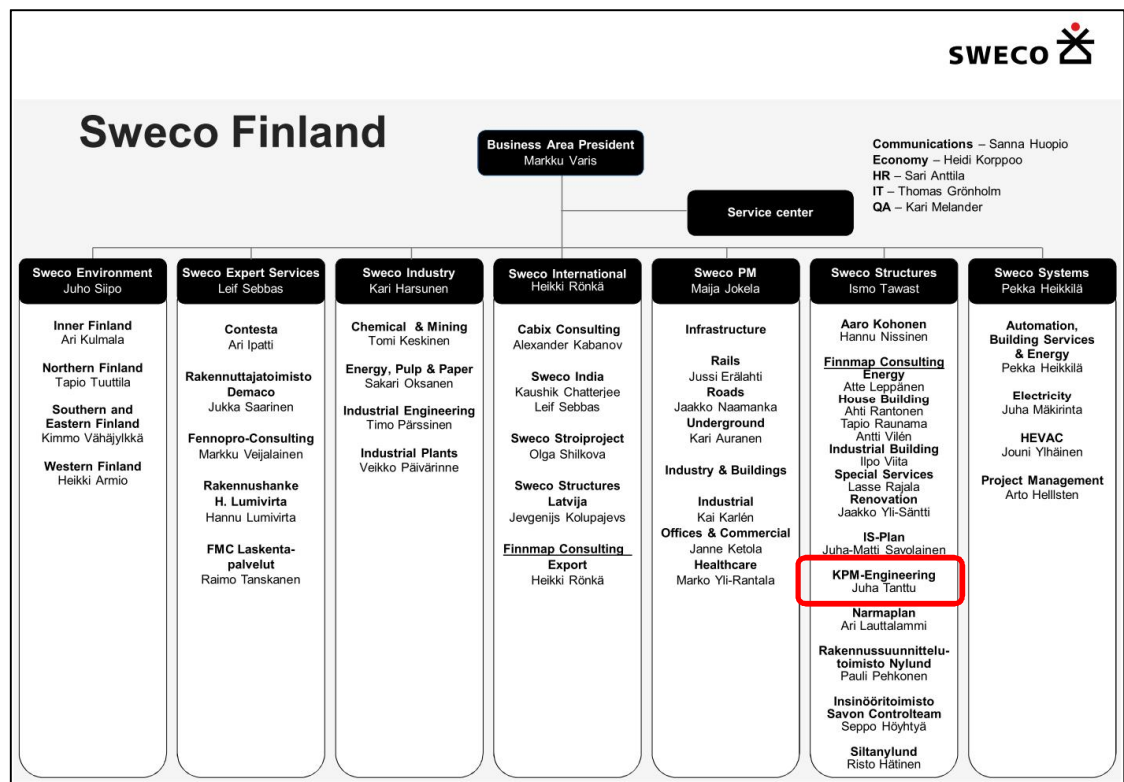
Tarkastuslistan pohjana toimii rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK 12 sekä RAK 95, joista on poimittu rakenteiden mitoitukseen liittyviä tehtäviä. Lisäksi tarkastuslistan lähteenä toimi Rakennesuunnittelun asiakirjaohje RIL 229-1-2013, jossa kerrotaan tarkemmin rakenteiden mitoituksesta sekä ohjeistetaan suunnitelmien dokumentointiin.

Työ on jaettu kahteen osaan, joista toinen osa käsittelee yleisesti rakennesuunnittelua ja sen vaiheita rakennushankkeen aikana ja toinen osa käsittelee esimerkkitapausta As Oy Malli Kaupunki rakennelaskelmia. Rakennelaskelmissa on käyty läpi rakennesuunnitteluun liittyviä yleisimpiä asuinkerrostalokohteissa esiintyviä rakenteita. Mitoitustaselmien yhteydessä on käyty läpi myös laskennan teoriaa. Laskenta-teoriaa on käyty läpi stabiiliteetin laskennasta sekä pilarin ja seinän mitoituksesta.

## 1.2. KPM-Engineering Oy osana Sweco Rakennetekniikkaa

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi KPM-Engineering Oy:n Jyväskylän toimipiste, jossa suoritin kolmannen vuosikurssin harjoittelun keväällä 2013. Jatkoisin työskentelemään yrityksessä kesä-ajan kokopäiväisesti ja talvella osa-aikaisesti. Opinnäytetyön aihe nousi esiin yrityksen kahvipöytäkeskusteluissa, josta aloimme kehittää jaideoimaan aihetta.

Yrityksessä työskentelee noin 140 henkilöä rakennetekniikan sekä kone-, laite-, laitos- ja laivateollisuuden työtehtävissä Tampereen, Kuopion sekä Jyväskylän toimipisteissä. KPM-Engineering on Sweco Rakennetekniikan tytäryhtiö, joka on osa kansainvälistä Sweco-konsernia, jossa työskentelee noin 9 000 henkilöä, joista noin 1800 Suomessa. Sweco Rakennetekniikka työllistää noin 700 henkilöä ympäri Suomen. Sweco Finland koostuu seitsemästä eri yhtiöstä, jotka ovat Sweco Rakennetekniikan lisäksi Sweco Industry Oy, Sweco PM Oy, Sweco Talotekniikka Oy, Sweco Ympäristö Oy, Sweco Architects Oy sekä Arkkitehtitoimisto Brunow & Maunula Oy (Sweco-Suomessa 2014.) Sweco Finlandin organisaatiokaavio on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Sweco Finland organisaatiokaavio (Sweco-Suomessa 2014)

KPM-Engineering Oy:n Jyväskylän toimipisteellä tuotetaan rakennesuunnitelmia uudis- ja korjausrakennuskohteisiin. Pääosa suunnittelusta on asuinrakennusten ja julkisten rakennusten suunnittelua, mutta toimistolla tehdään suunnitelmia myös teollisuuteen ja palvelurakennuksiin. Suunnittelu on painottunut betonirakenteisiin, mutta yrityksellä on laaja tietämys myös puu- ja teräsrakenteista.

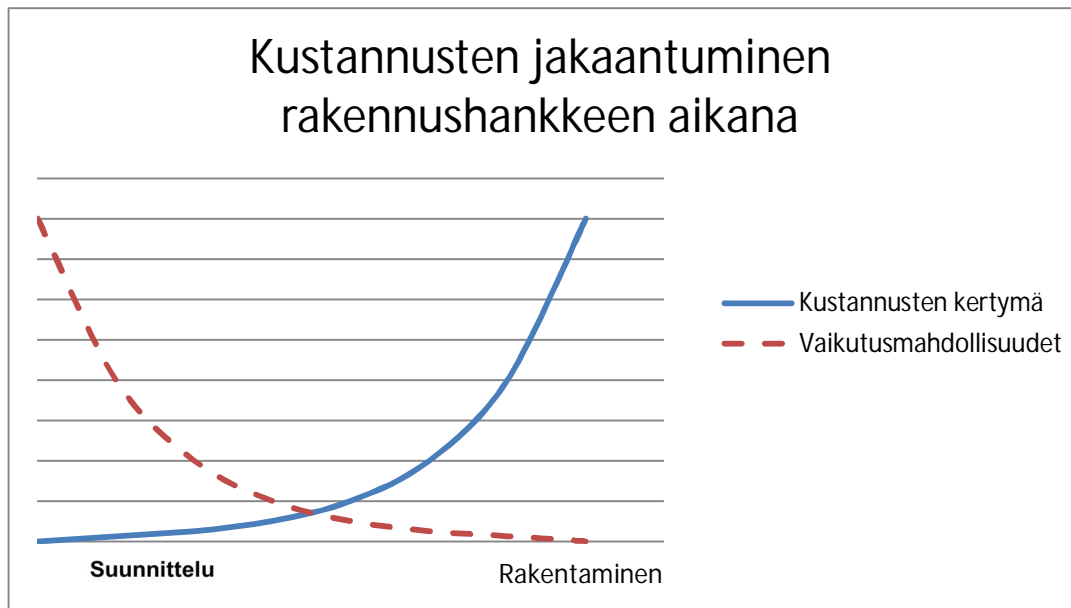
## 2. Rakennushankkeen suunnitteluvaiheet

### 2.1. Yleistä

Rakennushankkeen suunnittelu etenee suunnitteluvaiheittain, joissa jokaiselle suunnitteluvaiheelle on asetettu tavoitteet sekä aikataulu. Suunnittelun edetessä aiempien suunnitteluvaiheiden päätökset toimivat jatkosuunnittelun ja muiden suunnitteluosapuolten lähtötietona. Rakennesuunnittelijan tehtävät projektissa alkavat yleensä ehdotussuunnitteluvaiheessa, jolloin arkkitehti ja tilaaja ovat käyneet läpi tarve- ja hankesuunnitteluvaiheen tehtävät. Työssä käydään yleisesti läpi rakennushankkeen suunnitteluvaiheet, joita on käsitelty Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK 12:ssa sekä RAK 95:ssä.

Suunnittelijoiden tehtäväsisältöön vaikuttaa suuresti hankkeen laajuus, koska pienemmissä hankkeissa yhden suunnittelijan työtehtävät saattavat kattaa suuren osan hankkeen suunnittelutehtävistä, kun taas laajoissa hankkeissa tehtävät jaetaan pienempiin osiin, jolloin yhden suunnittelijan tehtäväkuva kapenee. Tehtävät voidaan jakaa yksittäisille suunnittelijoille tai erillisille suunnitteluryhmille. Kokonaisuudessaan suunnittelutehtävien sisältö ja hankkeiden osapuolet kuitenkin esiintyvät lähes samanlaisina hankkeen laajuudesta riippumatta (RT 10–10387 1989, 3.)

Suunnittelussa on huomioitava rakentamisen kustannusten kerääntyminen hankkeen edetessä. Kuviossa 2 voidaan nähdä, kuinka suuret mahdollisuudet suunnitteluvaiheessa on vaikuttaa kustannusten kertymiseen suhteessa rakentamisaikaan. Rakennesuunnittelijan tulee tehdä kustannuksiin eniten vaikuttavat päätökset suunnittelun alkuvaiheessa ja jättää pienten yksityiskohtien suunnittelu pienemmälle huomiolle rakennesuunnittelun aivan alkuvaiheessa, jolla ei sinänsä ole vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Toki tulee arvioida tarkkaan päätösten vaikutuksia ja toteutettavuutta jo varhaisessa vaiheessa.



KUVIO 2. Periaate rakentamiskustannusten kertymisestä

## 2.2. Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheen tavoitteena on luoda hankesuunnitelma hankkeelle asetettujen tavoitteiden perusteella, joka toimii investointipäätöksen perustana. Tarveselvityksessä alustavasti määritellyt tavoitteet toimivat hankesuunnitelman pohjana, jossa vahvistetaan hankkeen tavoitteet, tilaohjelma, rakennuspaikka, kustannukset ja aikataulu. Hankkeelle asetetaan tavoitteita hankesuunnitteluvaiheessa laadulle, aikataululle, kohteen laajuudelle ja rakentamiskustannuksille (RT 10–10387 1989, 11.)

Rakennesuunnittelija ei tavallisesti ole mukana hankesuunnitteluvaiheessa, mutta voidaan tarpeen mukaan liittää hankkeen suunnitteluun jo tässä vaiheessa. Erityisesti korjausrakentamiskohteissa voi olla tarpeen liittää erityissuunnittelijoita hankkeen suunnitteluun jo suunnittelun alkuvaiheessa.

## 2.3. Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnitteluvaiheessa tehdään eri ratkaisuvaihtoehtoja projektin aiemmissa vaiheissa määritettyjen tavoitteiden ja vaatimusten täyttämiseksi. Projektin kaikki

suunnitteluosapuolet antavat omat lausuntonsa ja vaihtoehtoratkaisunsa arkkitehdin ehdotussuunnitelmista, joiden pohjalta tehdään valintapäätös ja suunnitteluratkaisu jatkosuunnittelun pohjaksi ja tilaajan hyväksyttäväksi. Suunnitteluvaiheen tuloksena syntyneitä suunnitteluratkaisua verrataan tilaajan ja aiempien suunnitteluvaiheiden määrittelemiin tarpeisiin ja vaatimuksiin.

Rakennesuunnittelija tekee luetteloja tarvittavista lähtötiedoista sekä esittää annettujen ehdotusten pohjalta rakennejärjestelmävaihtoehdon, perustamistavan, kuorimitukset, paloluokat sekä tekee alustavat rakennetyypit (RT 10–11128 2012, 5-6). Arkkitehdin tekemien ehdotusten pohjalta esitetään suosituksia jatkosuunnittelusta sekä määritetään vaihtoehtojen rajoituksia sekä mahdollisuuksia. Suunnitteluvaiheessa syntyneessä suunnitteluratkaisussa päätetään kantavien runkorakenteiden dimensiot sekä sijainnit (Sääskilahti 2014).

## 2.4. Yleissuunnittelu

Yleissuunnittelun aikana jatketaan suunnittelua ehdotussuunnittelussa tehdyn suunnitteluratkaisun pohjalta. Suunnitelmia kehitetään niin, että suunnitelmista voidaan määritellä rakennuskohteen toteutuskustannukset.

Suunnitteluvaiheen aikana rakennesuunnittelija tekee lopulliset rakennetyypit aiemmin tehtyjen hyväksytyjen luonnosten pohjalta. Suunnittelua jatketaan valitun rakennejärjestelmän mukaan, jolloin voidaan määritellä tarkemmin kantavien rakenteiden aukotuksia sekä tekniikkaläpivientien sijainteja (Sääskilahti 2014). Kohteesta riippuen voi ehdotussuunnittelu ja yleissuunnittelu olla yksi luonnossuunnitteluvaihe, jossa tehdään näiden kahden vaiheen tehtävät (Flyktman 2014).

Yleissuunnittelun tuloksia ovat hyväksytty yleissuunnitelma ja pääpiirustukset, jotka toimivat lähtötietoina projektin seuraavissa vaiheissa.



## 2.5. Hankintavaiheen suunnittelu

Hankintavaiheessa suunnittelijat laativat yleissuunnitelman ja valitun rakennejärjestelmän pohjalta sellaiset suunnitelmat, joiden pohjalta voidaan määrittää kohteelle rakentamiskustannukset, rakennusosien määrät, työtavat ja laatutaso. (RT 10–11128 2012, 11.)

Rakennesuunnittelijan tehtäviin hankintavaiheessa kuuluu tarkentaa omat suunnitelmat siihen tarkkuuteen, että suunnitelmien pohjalta voidaan laskea tarjoukset. Suunnitelmien sisältö tulee määritellä hankekohtaisesti, kun hankesuunnitelmat toimivat lähtötietona tuoteosahankinnan tarjoukselle, joka sisältää myös tuoteosasuunnittelun. Tällöin hankintasuunnitelmat voivat olla hieman pelkistetympiä, jotta tuoteosasuunnittelijalta saataisiin mahdollisimman paljon omia ehdotuksia suunnitteluratkaisuun. Suunnitelmissa on kuitenkin esitettävä rakenteen mittatiedot, kuormitukset ja laatuvaatimukset. (RIL 229-1 2013, 35–36.)

## 2.6. Toteutussuunnittelu

Suunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelija viimeistelee hankintavaiheen suunnitelmat lopullisiksi toteutussuunnitelmiksi, joissa esitetään kaikki rakennusteknisen toteutuksen kannalta tarvittavat asiat mittoineen ja tuotemäärittelyineen (RT 10–11128 2012, 11). Rakennesuunnittelijan tehtävät suunnitteluvaiheessa sisältää normaalisti piirustusten täydentämistä sekä tarkentavien detaljien tekemistä, koska rakenteita koskevat päätökset on tehty jo suunnittelun aikaisemmissa vaiheissa. Tuoteosasuunnittelija laatii tuoteosasuunnitelmat suunnitteluvaiheen aikana hankintavaiheen suunnitelmien mukaan.

### 3. Urakkamuodon vaikutus rakennesuunnittelun etenemiseen

Rakennushankkeita toteutetaan monilla erilaisilla toteutuksen urakkamuodoilla.

Urakkamuodoissa on eroja mm. hankkeen koordinoinnissa, suunnitteluvastuussa, tuotevastuussa ja toteutusvastuussa. Kohteen urakkamuoto vaikuttaa rakennesuunnittelijan tarvitsemien lähtötietojen hankintaan sekä eri suunnitelmien valmiusasteeseen suunnittelun edetessä. (RIL 229-1 2013, 36.)

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty rakennushankkeen etenemistä perinteisenä urakatoteutuksena, joka toimii urakkamuotona myös esimerkkikohteessa.

#### 3.1. Urakatoteutus

Urakatoteutus on ns. perinteinen urakatoteutusmuoto, jossa tilaaja on vastuussa rakennuttamisesta, kokonaiskoordinoinnista ja suunnittelusta. Tilaaja hankkii hankkeelle suunnittelijat, jotka tekevät suunnitelmat perinteisen hankintavaiheen suunnitelmiksi tilaajan määrittämien tarpeiden mukaisesti. Hankintavaiheen suunnitelmien pohjalta järjestetään urakkakilpailu, jonka perusteella kohteeseen valitaan joko pääurakoitsija tai pää- ja sivu-urakoitsijat. Suunnittelu etenee yleissuunnittelu-/hankintasuunnittelu-/toteutussuunnittelu vaiheiden mukaisesti. (RIL 229-1 2013, 36–37.)

#### 3.2. Projektinjohtototeutus, KVR- ja ST-urakka

Projektinjohtototeutuksessa projektinjohtourakoitsija vastaa projektin johtamisesta. Projektin johtamiseen sisältyy hankkeen kokonaiskoordinointi ja suunnittelun ohjaus, joka tapahtuu yhteistyössä tilaajan kanssa. Tässä toteutusmuodossa suunnittelu ja toteutus etenevät yhtä aikaa, jolloin hankintavaiheen ja toteutuksen suunnitteluvaiheet sekoittuvat, joka tekee suunnittelusta aikataulullisesti nopeampaa kuin perinteisessä urakatoteutuksessa. (RIL 229-1 2013, 37.)

Rakennesuunnitelmien valmiusaste voi vaihdella eri rakennekokonaisuuksien osalta paljonkin, ja rakennesuunnittelu etenee hankinta-aikataulun mukaan. Päärakennesuunnittelijan vastuu korostuu tässä toteutusmuodossa, koska eri suunnittelijoiden laatimien suunnitelmien valmiusasteet voivat erota toisistaan, mutta silti täytyisi huolehtia suunnitelmien yhteensovittamisesta koko suunnittelun ajan. (RIL 229-1 2013, 37.)

KVR- ja ST-urakalla toteutetut projektit ovat suunnittelultaan samankaltaisia kun projektinjohtototeutuksessa, koska kummassakin suunnittelu etenee urakoitsijan ohjauksessa. (RIL 229-1 2013, 37.)

## 4. Asuinkerrostalon rakennesuunnittelun tarkastuslistan toteutus

### 4.1. Tavoitteet ja lähtökohdat

Rakennushankkeissa suunnittelun kokonaiskuva saattaa hämärtä yksittäisen suunnittelijan osalta, jolloin suunnittelun koordinoinnin ja projektinhallinnan vaatimukset kasvavat. Tästä syystä toteutettiin tarkastuslista, joka palvelee projektipäällikköä useiden hankkeiden samanaikaisessa projektinhallinnassa sekä yksittäistä suunnittelijaa, joka voi tarkistaa suunnittelun tehtäväsisältöä ja etenemistä hankkeen aikana. Työkalun tarkoitus on toimia tarkastuslistana rakennesuunnittelun aikana, jota täytetään hankkeen edetessä. Tarkastuslistaa seuraamalla voidaan varmistua, että suunnittelun edetessä on tehty kaikki tarvittavat tehtävät. Työkalun tarkoitus näin ollen on parantaa suunnittelun laatua sekä antaa työkalu projektinhallintaan. Tarkastuslistassa käydään läpi ainoastaan hankkeen päätehtäviä suunnitteluvaiheittain. Tarkastuslistaan on liitetty myös yksityiskohtaisemmat tehtäväkuvaukset rakennesuunnittelun tehtävistä hankkeen eri suunnitteluvaiheissa.

Tarkastuslista on jatkoa yrityksen Tampereen toimipisteelle Olli Kukan 2014 tekemään opinnäytetyöhön. Opinnäytetyössä tehtiin rakennesuunnittelussa käytettävä lähtötietotaulukko, joka perustuu kirjan RIL 229-2-2013 ohjeeseen "Rakenteiden

suunnittelun ja toteutuksen perusteet”. Lähtötietotaulukon tarkoituksena on helpottaa rakennesuunnittelussa tarvittavien lähtötietojen tiedonkeräystä sekä toimia rakennesuunnittelun lähtötietona (Kukka 2014, 8.)

Yrityksen käyttöön jäävää tarkastuslistaa ei julkaista opinnäytetyön yhteydessä.

## 4.2. Tarkastuslistan luonnostelu

Tarkastuslistan rungon hahmottelu aloitettiin tutustumalla käytettävissä olevaan materiaaliin, pääosin RT-kortteihin ”Rakennesuunnittelijan tehtäväluettelot RAK95” ja ”Rakennesuunnittelijan tehtäväluettelot RAK12” sekä Rakennusinsinööriliiton julkaisemaan kirjaan RIL 229-1-2013 ”Rakennesuunnittelun asiakirjaohje, tekstiosa”.

Aluksi oli vaikea hahmottaa kokonais kuvaa, millainen työkalun tulisi olla ja missä muodossa esitettynä siitä saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä, esitysmuodon kuitenkin rajaamatta mitään oleellista pois sisällöstä. Tärkeää oli myös saada tehtyä tarkistuslistasta niin yksinkertainen ja selkeä, että listaa tulisi jatkossa myös käytettyä, eikä vaikeaselkoisuutensa tai liiallisen informaation takia jäisi käyttämättä.

## 4.3. Yleiskuvaus

Tarkastuslista toteutettiin Excel-ohjelmalla taulukkomuotoisena, joka toimi työkalun tekemisessä erittäin hyvin. Lopullisessa muodossa tarkistuslista tiivistyi erittäin yksinkertaiseksi ja helppokäyttöiseksi. Tarkastuslistaa tehdessäni haastateltiin yrityksen projektipäälliköitä, joilta saatiin palautetta sekä kehitysehdotuksia tarkastuslistaa koskien. Tarkastuslistan lisäksi taulukossa on linkkejä eri lähteisiin, joissa on mm. osia rakentamismääräyskokoelmasta, valmistajien omia suunnitteluohjeita sekä yrityksen käyttämiä mitoitusohjelmia.

## 5. Mitoituslaskelmat - Case As Oy Malli Kaupunki

Luvuissa 5.1–5.6 käydään läpi esimerkkikohteen tyypillisten rakenteiden mitoitusta sekä teoriaa yksittäisten rakenneosien mitoituksesta. Lisäksi tarkastellaan rakenteille tulevia kuormia, tarkastetaan rakennuksen stabiliteetti, vaakakuormien jakautuminen jäykistäville seinille sekä kerrotaan kohteesta yleisiä suunnittelussa tarvittavia tietoja.

### 5.1. Perustiedot

As Oy Malli Kaupunki on betonielementtirakenteinen asuinkerrostalokohde. Rakennuksessa on viisi kerrosta, joista neljä ylimmäistä kerrosta ovat asuntoja. Alimman kerroksen pinta-alasta puolet on asuintiloja ja puolet talonyhtiön yhteistä varastotilaa, sähköpääkeskus, lämmönjakohuone sekä väestönsuoja. Neljä ylintä kerrosta ovat tilaratkaisultaan samanlaisia. Rakennuksessa on kaksi puolta, jotka ovat peilikuvia toisistaan.

Rakennuksen runko on ulkomitoiltaan noin 52 m pitkä, noin 16 m leveä ja noin 17 m korkea. Lisäksi rakennuksessa on parveketornit rakennuksen kummassakin päässä. Rakennuksen kerrosala on noin 3500 m<sup>2</sup> ja tilavuus reilu 10 000 m<sup>3</sup>.

## 5.2. Rakenteellinen järjestelmä

Rakentamispaikalla maaperä on pohjatutkimuksen mukaan tiivistä hiekkaa ja hienoa hiekkaa. Maapohjan geotekninen kantavuus on  $250 \text{ kN/m}^2$ . Perustamistapana ovat seinäanturat.

Pääasiallisina runkorakenteina on rakennuksessa käytetty kerroksenkorkeisia teräs-betonielementtejä sekä ontelolaattoja. Kellarikerroksessa on osittain maan-paineseiniä ja osittain kuorielementtejä. Rakennuksen ulkoseinät ovat sisäkuorielementtejä ja julkisivumateriaalina on muuraus. Välipohjat on toteutettu ontelolaatoilla ja 75 mm:n vahvuisella pintavalulla. Yläpohjassa on kevytsorakatto. Väliseinät ovat 200 mm paksuja betonielementtiseiniä. Väestönsuojarakenteet on toteutettu 300 mm paksuna paikallavaluna. Rakennus on jäykistetty kantavilla väli- ja ulkoseinillä.

## 5.3. Materiaaliominaisuudet ja rasitusluokat

Betonirakenteiden materiaaliominaisuudet määräytyvät pitkälti rakenteiden rasitusluokkien mukaan. Rasitusluokat määräytyvät rakenteiden korroosioriskin, jäätymis-sulamisrasituksen ja kemiallisen rasituksen mukaan. Rasitusluokat on esitetty eurokoodissa SFS-EN 1992-1-1. Esimerkkikohteessa käytetyt betonilujuudet sekä rasitusluokat ovat esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Betonirakenteiden materiaaliominaisuudet sekä rasitusluokat

ELEMENTTITUNNUS	ELEMENTTITYYPPI	Betonin lujuus	Rasitusluokat
V-	Väliseinä	C25/30	XC1
SK1-	Sisäkuori-kantava	C25/30	XC1
SK2-	Sisäkuori-kantava	C25/30	XC1
RK1-	Sisäkuori-ei kantava	C25/30	XC1
RK2-	Sisäkuori-ei kantava	C25/30	XC1
S-	Ruutuelementti-kantava	C25/30	Sisäkuori XC1
		C30/37	Ulkokuori XC3, XC4, XF1
R-	Ruutuelementti-ei kantava	C25/30	Sisäkuori XC1
		C30/37	Ulkokuori XC3, XC4, XF1
N-	Nauhaelementti-ei kantava	C25/30	Sisäkuori XC1
		C30/37	Ulkokuori XC3, XC4, XF1
NK-	Nauhaelementti-kantava	C25/30	Sisäkuori XC1
		C30/37	Ulkokuori XC3, XC4, XF1
M-	Parvekepieli	C35/45	XC3, XC4, XF1
CL-	Parvekelaatta	C35/45	XC3, XC4, XF1, XF3
L-	Laatta	C25/30	XC1
AS-	Sokkelielementti-kantava	C25/30	Sisäkuori XC2
		C30/37	Ulkokuori
AN-	Sokkelielementti-ei kantava	C25/30	Sisäkuori XC2
		C30/37	Ulkokuori
TKE-	Tukimuurielementti	C35/45	XC2
	Perustukset	C30/37	XC2

Betoniteräksenä elementtien sisäkuorissa ja laatoissa käytetään A500HW harjaterästä. Verkkoina käytetään B500K teräslajia. Betonielementtien ulkokuorissa sekä sellaisissa rakenteissa, jossa suojapeitepaksuutta ei ole riittävästi tavallista harjaterästä varten käytetään harjaterästankoina kylmämuokattua ruostumatonta B600KX terästä.

Uusi eurokoodijärjestelmän mukainen merkintätapa teräslajeille on BY211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirjassa esitetty seuraavasti. Esimerkkinä B500B, jossa teräslajin tunnuksessa ensimmäinen kirjain "B" tarkoittaa betoniterästä, "500" tarkoittaa lujuusluokan myötölujuuden arvoa kuten ennenkin ja tunnuksen viimeinen kirjain "B" kertoo teräksen sitkeysluokan, joka voi olla joko A, B tai C (BY211 2013, 53). Kylmämuokatut teräkset kuuluvat A luokkaan, B luokkaan kuuluu tyypilliset kuumavalssatut teräkset ja C luokan teräkset ovat lähinnä seismisille alueille tarkoitettuja teräksiä, joilla on erittäin suuret sitkeysominaisuudet (Betonikeskus ry 2009.) Teräslaadulla B500B voi korvata suunnitelmissa A500HW teräslaadun, jos A500HW:lle sallittavia kaikkein pienimpiä taivutussäteitä ei käytetä. Eli teräslaadut ovat kuitenkin omia erillisiä tuotteita, joiden ominaisuudet ovat lähes samanlaiset.

#### 5.4. Kuormien määrittäminen ja kuormitustapaukset

Rakenteita mitoitettaessa käytettäviä kuormia ovat rakenteiden omat painot sekä hyötykuormat. Rakenteita mitoitettaessa tulee valita aina sellainen kuormitustapaus, joka antaa rakenteen mitoituksen kannalta määräävät rasitukset tarkasteltavalle rakenteelle. Rakenteen tai rakenneosien kestävyyttä tai geoteknistä kantavuutta mitoitettaessa käytettävät kuormitusyhdistelyt murtorajatilassa saadaan kaavoista (1) ja (2)

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

*kuitenkin vähintään*

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

Eri kuormitustapauksissa tehtävät kuormien ja kuormayhdistelmien yhdistelykertoimet ovat taulukossa 2.



## TAULUKKO 2. Kertoimen $\psi$ arvot eurokoodin SFS-EN 1990-A1-AC mukaan

Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) <sup>*)</sup>			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien $\psi$ arvot voidaan määritellä kansallisessa liitteessä. <sup>*)</sup> Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

Esimerkkikohteessa käytettävät kuormitukset on määritetty ”RIL 201 Suunnittelupe-  
rusteet ja rakenteiden kuormat” kirjan mukaan, eikä kuormien määrittämisessä ole  
otettu huomioon pienennyskertoimia  $\alpha_A$  ja  $\alpha_n$ . Kuormien määrittämisestä löytyy tie-  
toa tarkemmin standardissa EN 1991-1-1.

### 5.4.1. Pysyvät kuormat

Esimerkkikohteessa olevia pysyviä kuormia ovat rakenteiden omat painot sekä  
maanpaine. Rakenteiden omien painojen laskentaan tehtiin erillinen Excel laskenta-  
taulukko, johon määritellään rakenteen materiaali sekä materiaalipaksuus.  
Laskentapohja laskee vaakarakenteiden kuormat neliöpainoina ja pystyrakenteiden  
kuormat metripainoina. Taulukossa 3 on esitetty kohteessa olevia rakenteiden omia  
painoja rakennetyypeittäin.

### TAULUKKO 3. Rakenteiden omat painot rakennetyypeittäin

Rakennetyyppi	Gk	Yksikkö
KS1	25,0	kN/m
KS2	35,5	kN/m
US1	17,7	kN/m
US2	12,4	kN/m
US3	21,8	kN/m
US4	17,3	kN/m
US5	17,3	kN/m
VS1	15	kN/m
VS2	8,2	kN/m
VSS-seinä	22,5	kN/m
YP1	5,3	kN/m <sup>2</sup>
VP1	5,9	kN/m <sup>2</sup>
VP2	9,1	kN/m <sup>2</sup>
VP3	9,6	kN/m <sup>2</sup>
VP4	8	kN/m <sup>2</sup>
Parvekelaatta hl=240mm	6,0	kN/m <sup>2</sup>

### Maanpaineen määrittäminen

Maanpaineen ominaisarvona on käytetty  $mp_{gk}(3,5m) = 27,9 \text{ kN/m}^2$  sekä pintakuormasta aiheutuva maanpaine  $mp_{qk}=2,0 \text{ kN/m}^2$ . Laskentapohjassa tiivistyspaineena on oletuksena käytetty 3000 kg:n täryjyrää, joka on liioittelua talonrakennustöissä, mutta antaa varmalle puolelle menevän tuloksen. Maanpaineen laskennasta on tietoa tarkemmin liitteessä 1. Laskentatuloksissa näkyvä maanpaine pintakuormasta on laskettu aktiivipainekertoimella, jota ei ole käytetty laskennassa.

Lepopainetta käytetään mitoitettaessa liikkumattomia rakenteita. Lepopaineen määrittämisessä otetaan huomioon rakennuksen ulkopuolisen maanpinnan taso, täyttömaan ominaisuudet sekä pohjavesipinnan taso. Yleisesti voidaan olettaa, että talon-

rakennuskohteissa täyttömaa on aina routimatonta soraa, jonka tilavuuspainona voidaan käyttää  $20 \text{ kN/m}^3$  ja leikkauskestävyyskulmana  $\sim 37^\circ$ .

Maan painosta aiheutuvan maanpaineen lisäksi rakennuksen vierellä oletetaan maanpinnalla olevan  $5 \text{ kN/m}^2$  pintakuorma sekä rakentamisaikainen tiivistyspaine. Lisäksi on huomioitava seinän vieressä paikallisesti esiintyvät pintakuormat, esim. palokunnan tikasauton tukijalka, jolloin kuorma on huomioitava maanpaineen määrittämisessä. Tiivistyspaineelle Jääskeläinen (2009, 187) esittää taulukossa 4 näkyviä arvoja.

TAULUKKO 4. Tiivistyksen maahan aiheuttama paine (Geotekniikan perusteet 2009, 187)

Tiivistyskone	Tiivistysker- tojen määrä	Kerrospaksuus h [m]	Vaikutussyvyys z [m]	Tiivistyspaine p [kN/m <sup>2</sup> ]
Täryjyvä, 3000 kg	6	0,40	0,5	19
Tärylevy, 400 kg	4	0,35	0,5	16
Tärylevy, 100kg	4	0,20	0,3	12

Maanpaineesta aiheutuvat rasitukset rakenteille määritetään rakenneosan mitoituksen yhteydessä. Rasituksista määritetään momentti ja leikkausvoima. Maanpaineeseen mitoitetaan laattana, jota rasittaa maanpaineesta aiheutuva momentti. Maanpaineeseen ja anturan välinen liitos mitoitetaan maanpaineesta aiheutuvalla leikkausvoimalla, joka siirretään anturalle tappivaarnaliitoksella. Rasitusten laskennassa on syytä käyttää statiikkaohjelmia, koska maanpaineesta aiheutuvat kuormituskaaviot ovat yleensä tiivistyspaineen takia portaittaisia kolmiokuormia. Rakennemallina käytetään päistään nivelöityä sauvaa, joten rakennemalli sinänsä ei ole vaikea ratkaista.

#### 5.4.2. Hyötykuormat

Rakenteiden hyötykuormia ovat muuttuvia liikkuvia kuormia, joiden määrittäminen tehdään rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Rakenteille aiheutuu hyötykuormia tilojen käytöstä

- normaali henkilökäyttö

- huonekalut ja siirrettävät kohteet
- ajoneuvot
- odotettavissa olevat harvinaiset tapahtumat, kuten henkilöiden kokoontuminen, huonekalujen kasaantuminen tai tavaroiden siirtäminen. (RIL 201-1 2008, 64)

Esimerkkikohteen hyötykuormat välipohjille määräytyvät taulukoiden 5 ja 6 mukaan, jolloin käytetään arvoa  $2,0 \text{ kN/m}^2$ , joka sisältää  $0,5 \text{ kN/m}^2$  kevyistä väliseinistä aiheutuva kuormaa. Parvekkeiden hyötykuormana käytetään arvoa  $2,5 \text{ kN/m}^2$ .

#### TAULUKKO 5. Käyttötarkoitukseluokat eurokoodin SFS-EN 1991-1-1 mukaan

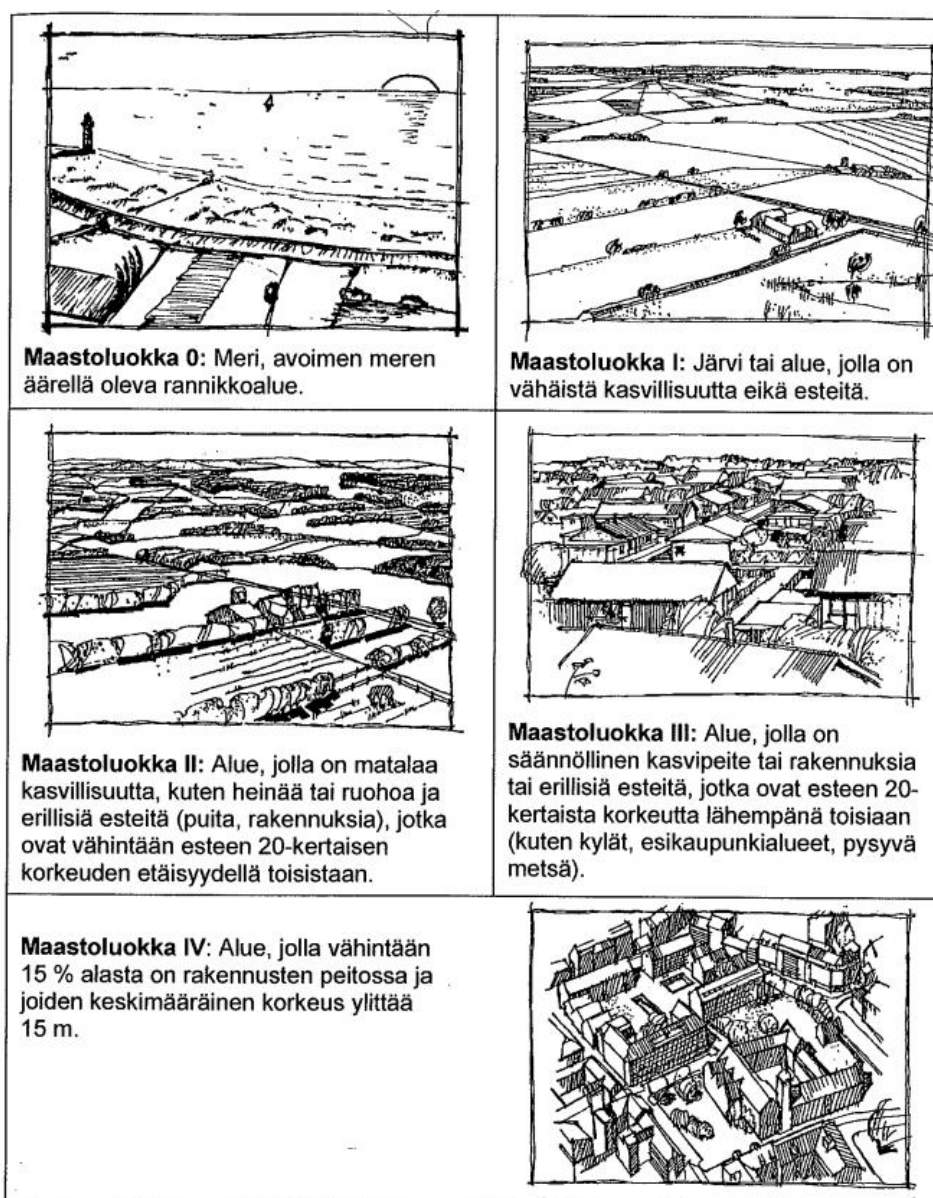
Luokka	Käyttötarkoitus	Esimerkki
A	Asuin- ja majoitustilat	Asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien ja retkeilymajojen makuuhuoneet, keittiöt ja WC:t.
B	Toimistotilat	
C	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (poikkeuksena luokkiin A, B, ja D kuuluvat tilat) <sup>1)</sup>	<p><b>C1:</b> Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat.</p> <p><b>C2:</b> Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat.</p> <p><b>C3:</b> Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit.</p> <p><b>C4:</b> Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt.</p> <p><b>C5:</b> Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapahtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit.</p>
D	Myyvälätilat	<p><b>D1:</b> Tavallisten vähittäiskauppojen tilat.</p> <p><b>D2:</b> Tavaratalojen tilat.</p>
<p><sup>1)</sup> 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 6. Hyötykuormat eurokoodin SFS-EN 1991-1-1 mukaan

Kuormitettujen tilojen luokat	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<b>Luokka A</b>		
— 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
<b>Luokka B</b>	2,0... <u>3,0</u>	1,5... <u>4,5</u>
<b>Luokka C</b>		
— 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>
<b>Luokka D</b>		
— 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>

## Tuulikuorman määrittäminen

Tuulikuorman määrittämisessä on käytettävissä kaksi eri tapaa mitoituslanteesta riippuen. Kokonaistuulivoimaa, jäykistävää runkoa tai perustuksia suunniteltaessa voidaan käyttää joko voimakerroinmenetelmää tai painekertoimiin perustuvaa menetelmää. Yksittäisen rakenneosan mitoituksessa tuulikuorma määritetään painekertoimien mukaan. Tuulikuorman määrittäminen vaikuttaa maastoluokkaan, joka määrittyy rakennuspaikan mukaan. Maastoluokat ovat jaoteltu viiteen eri luokkaan rakennuspaikan avoimuuden mukaan. Maastoluokat on esitetty kuviossa 3. Tuulen nopeuspaineeseen vaikuttaa myös rakennuksen korkeus, jonka arvoja eri maastoluokissa on esitetty taulukossa 7.



KUVIO 3. Maastoluokkien kuvaukset RIL 201-1 mukaan

TAULUKKO 7. Nopeuspaineen ominaisarvo  $q_p(z)$  maastoluokittain [ $\text{kN/m}^2$ ] RIL 201-1 mukaan

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

#### Tuulikuorman määrittäminen painekertoimen avulla

Painekertoimien avulla laskettuun tuulikuormaan huomioidaan rakenteen ulkopintaan vaikuttavan tuulen paineen sekä rakenteen sisäpintoihin vaikuttavan tuulenpainneiden yhteisvaikutus. Mitoitettaessa jäykistävää runkoa tai perustuksia tuulikuorman määrittämisessä ei oteta huomioon rakennuksen sisäpintoihin vaikuttavaa painetta, vaan kokonaistuulikuorma lasketaan tuulenpuoleisen painekertoimen ja tuulen imun puoleisen kertoimien itseisarvojen summana. Painekertoimien eri vyöhykkeet ja niiden määräytymisperusteet on esitetty kuviossa 4 sekä ulkopuolisten painekertoimien arvot taulukossa 7. Rakennuksissa, joiden korkeus on suurempi kuin tuulen suuntainen leveys, voidaan käyttää tuulikuorman määrittämisessä nopeuspaineelle profiilia, joka on esitetty kuviossa 5. Näin vältetään korkeilla rakennuksilla ylisuurista tuulenpaineista rakennuksen alaosissa, jolloin laskentatarkkuus paranee.

Tuulikuorma määritetään kaavoista (3-7)

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i}, \text{ kokonaistuulikuorma} \quad (3)$$

jossa

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum w_e A_{ref}, \text{ ulkopuolinen kuorma} \quad (4)$$

$$F_{w,i} = \sum w_i A_{ref}, \text{ sisäpuolinen kuorma} \quad (5)$$



$$w_e = q_p(z_e)c_{pe}, \text{ yksittäiseen pintaan korkeudella } z_i \\ \text{vaikuttava ulkopuolinen paine} \quad (6)$$

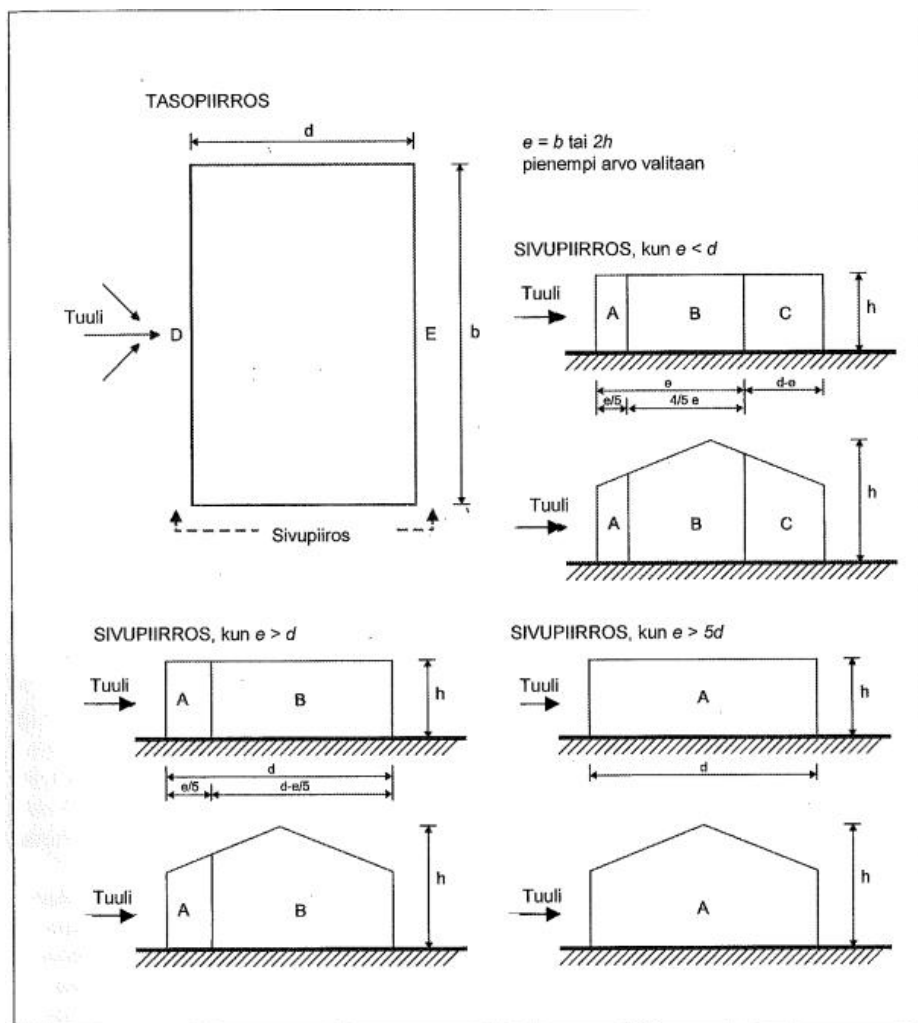
$$w_i = q_p(z_e)c_{pi}, \text{ yksittäiseen pintaan korkeudella } z_i \\ \text{vaikuttava sisäpuolinen paine} \quad (7)$$

$c_s c_d$  = rakennekerroin

$q_p(z_e)$  = maaston pinnan mukaan modifioitu nopeuspaine

$c_{pe}$  = ulkoisen paineen kerroin

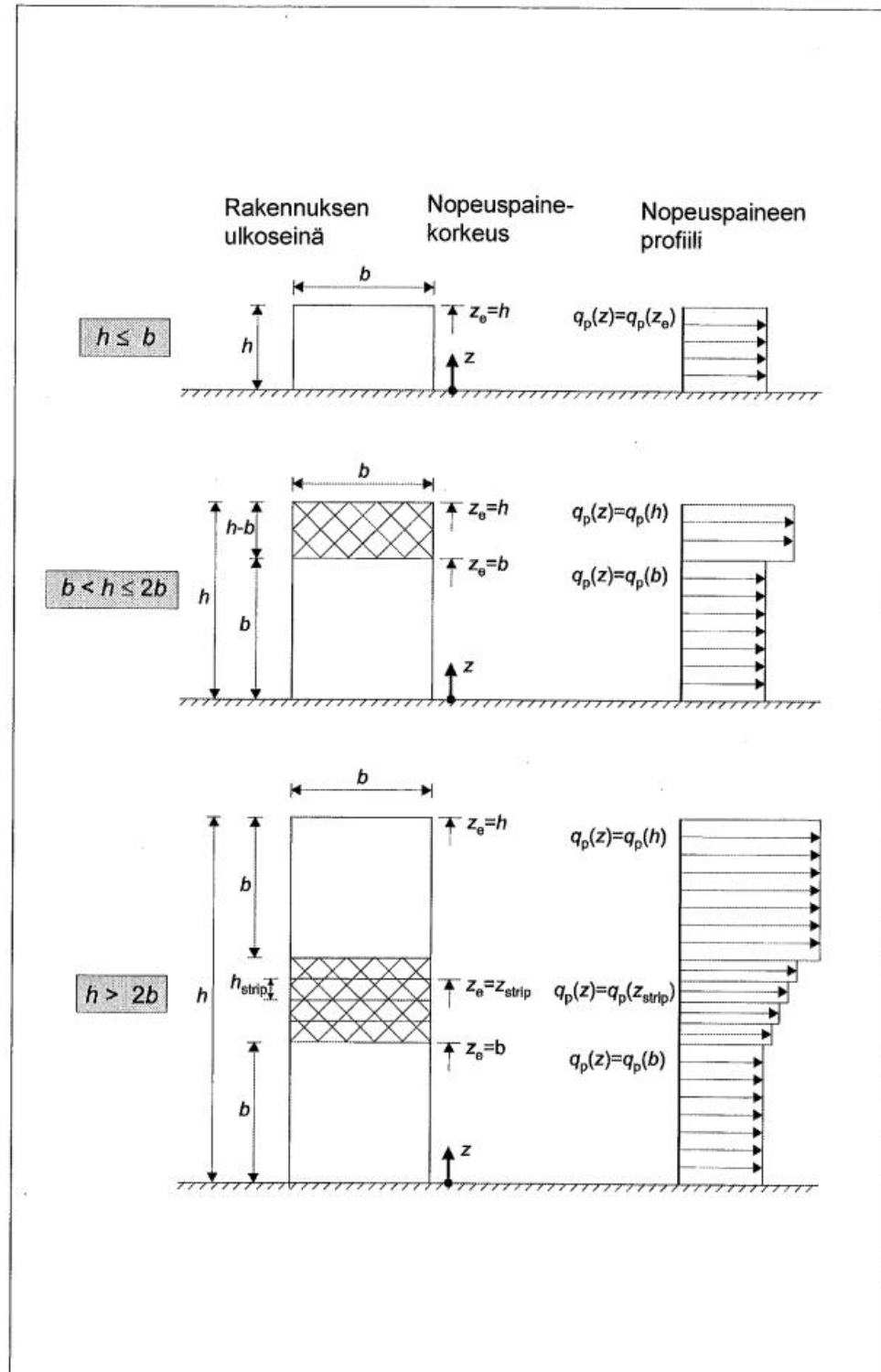
$c_{pi}$  = sisäisen paineen kerroin



KUVIO 4. Pystyseiniä vyöhykkeet RIL 201-1 mukaan

TAULUKKO 8. Ulkopuolisen paineen kertoimet RIL 201-1 mukaan

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

KUVIO 5. Nopeuspaine korkeus  $z_e$  RIL 201-1 mukaan



## Tuulikuorman määrittäminen voimakertoimen avulla

Voimakertoimen avulla saadaan rakennukseen vaikuttava kokonaistuulikuorma, joka lasketaan harjankorkeudella vaikuttavan tuulen nopeuspaineen mukaan. Tarvittaessa korkeille rakennuksille ( $h \geq 15$  m) voi käyttää kokonaistuulikuorman laskennassa rakennuksen korkeusaseman mukaan muuttuvaa nopeuspainetta, josta saatava tuulikuorma edustaa paremmin rakennukseen vaikuttavaa todellista tuulikuormaa, eikä tapahdu turhaa ylimitoitusta. Tämä on esitetty kuviossa 5. Kokonaistuulivoima voidaan laskea kaavalla (8)

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

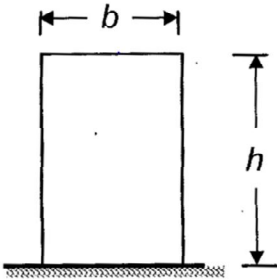
jossa

$c_s c_d$  = rakennekerroin = 1,0 tai tarkemmin kuvion 7 mukaan.

$c_f$  = voimakkerroin, määrittäminen kuvion 6 ja taulukon 9 mukaan

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

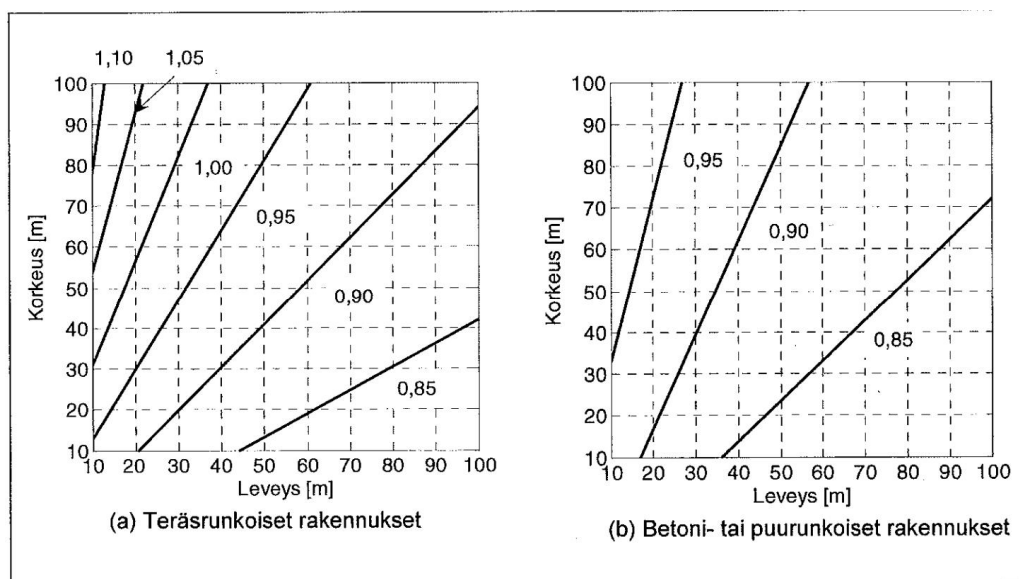
$A_{ref}$  = tuulikuorman vaikutusala

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

KUVIO 6. Tehollinen hoikkuus  $\lambda$  RIL 201-1 mukaan

TAULUKKO 9. Voimakerroin  $C_f$  RIL 201-1 mukaan

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

KUVIO 7. Rakennekerroin  $c_s c_d$  RIL 201-1 mukaan

Rakennekerroin  $c_s c_d$  voidaan käyttää arvoa 1,0 kun

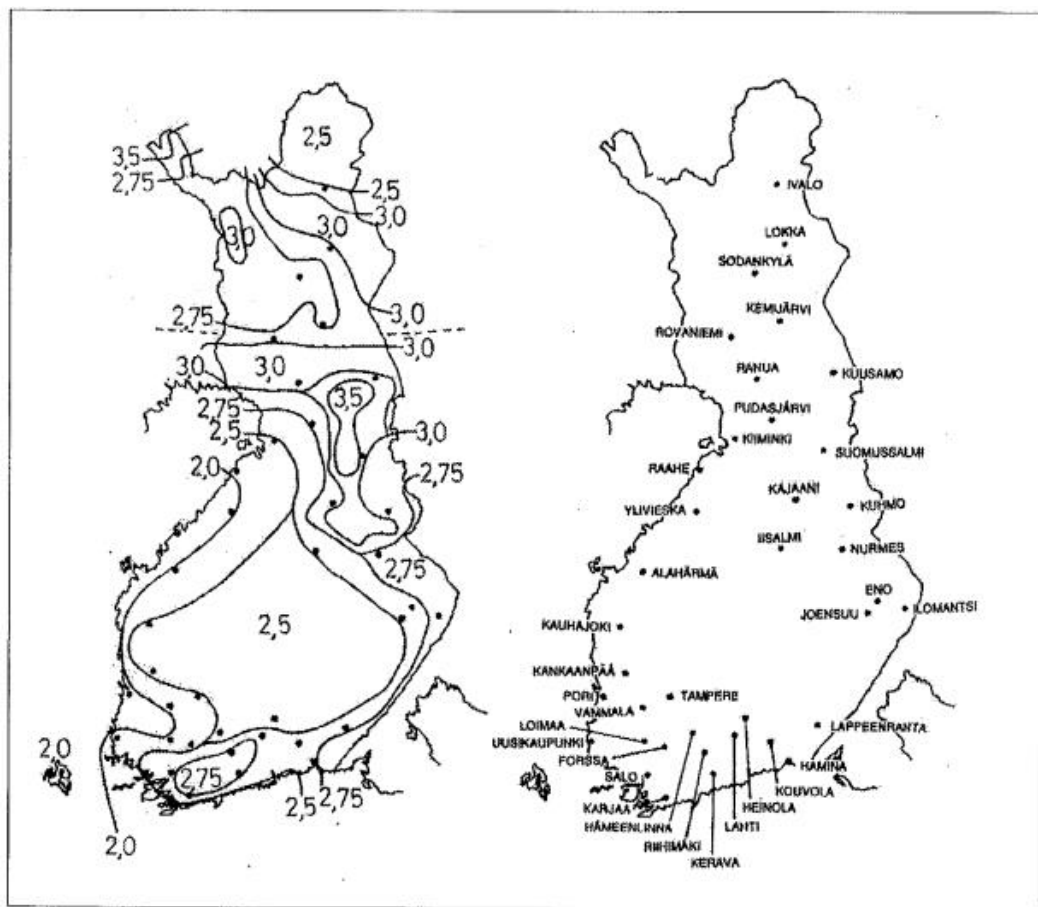
- Rakennuksille, joiden korkeus on alle 15 m
- Ulkoseinän ja vesikaton rakenteille, joiden ominaistajuus on yli 5 Hz
- Rakennuksille, joiden rungossa on kantavat seinät ja joiden korkeus on alle 100 m ja samalla pienempi kuin 4 kertaa rakennuksen tuulensuuntainen mitta (RIL 201-1 2008, 141).

Esimerkkikohteen tuulikuorma määritettiin pintapaineiden avulla valmiilla Excel pohjilla. Laskelmien tuloksena rakennukseen kohdistuva tuulenpaine on  $q_k(h=17,1\text{m}; b=52\text{m}) = 0,571 \text{ kN/m}^2$ . Tästä saadaan rakennuksen jäykistysjärjestelmään kohdistuva vaakavoima vyöhykkeiden D ja E summana. Rakennuksen pitkälle sivulle vaikuttava tuulikuorma  $q_{k,tuuli1} = 0,745 \text{ kN/m}^2$  ja rakennuksen pätyyn vaikuttava tuulikuorma  $q_{k,tuuli2} = 0,589 \text{ kN/m}^2$ . Laskelmat näkyvät liitteissä 2, 3 ja 4. Arvoista saadaan lasket-

tua 1. ja 2. kerroksen väliselle välipohjan ontelolaatastolle tuleva vaakavoima metrikuormana, jota käytetään jäykistykseen laskennassa. Rakennuksen pitkälle sivulle vaakavoima tuulesta on 8,42 kN/m ja rakennuksen pätyyn 7,47 kN/m.

### Lumikuorman määrittäminen

Lumikuorman ominaisarvona maassa käytetään esimerkkikohteessa arvoa  $S_k = 2,5$  kN/m<sup>2</sup>, jonka ylittymistodennäköisyys on 0,02. Arvolle on määritetty paikkakunta-kohtainen arvo, joka esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. Ominaislumikuormat maassa  $S_k$  [kN/m<sup>2</sup>] RIL 201-1 mukaan

Katon lumikuormana käytetään arvoa 2,0 kN/m<sup>2</sup>, jossa ei ole otettu huomioon tuulensuojaisuuskertoimen ja lämpökertoimen pienentävää vaikutusta. Esimerkkikohteessa on tasakatto, joten lumen kinostumista ei tapahdu. Lumikuorma on määritetty kaavasta (9)

$$s = \mu_i C_e C_t S_k \quad (9)$$

jossa

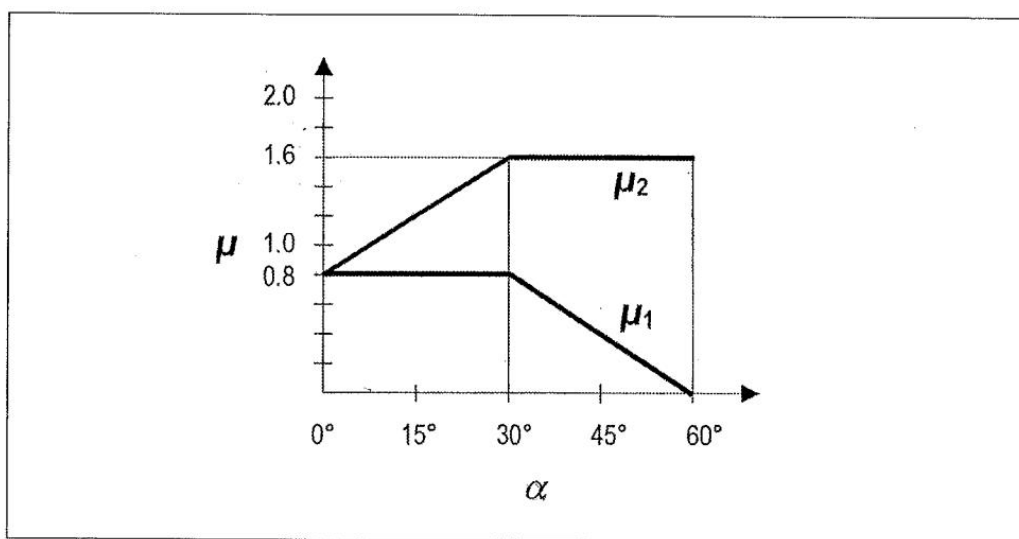
$\mu_i$  = lumikuorman muotokerroin, kuvion 9 mukaan

$S_k$  = maassa olevan lumikuorman ominaisarvo, kuvion 8 mukaan

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

$C_t$  = lämpökerroin, jonka arvo tavallisesti on 1,0

Katon kaltevuuskulma $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	1,6



KUVIO 9. Lumikuorman muotokertoimet RIL 201-1 mukaan

Yhteenvetona kohteen hyötykuormat ovat taulukossa 10.

TAULUKKO 10. hyötykuormat esimerkkikohteessa

Hyötykuormat		
$Q_{k_{vp}}$	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Välipohjan hyötykuorma
$Q_{k_{lumi}}$	2,0 kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma katolla
$Q_{k_{tuuli1}}$	0,745 kN/m <sup>2</sup>	Tuulikuorman ominaisarvo rakennuksen pitkälle sivulle korkeudella 17,1m
$Q_{k_{tuuli2}}$	0,589 kN/m <sup>2</sup>	Tuulikuorman ominaisarvo rakennuksen päätyyn korkeudella 17,1m

## 5.5. Rakennuksen jäykistäminen ja stabiliteetti

Rakennuksen rungon kokonaisstabiliteetilla kuvataan rakennuksen rungon kykyä siirtää sille tulevia pystykuormia alas perustuksille ilman, että rungon vakavuus vaakasuunnassa menetetään, sekä ajoittain esiintyvien vaakakuormien kuten esim. tuulikuorman vaikuttaessa omaa riittävän jäykkyyden siirtää vaakakuormat pystyrakenteiden kautta perustuksille niin, että vaakakuorman vaikutuksen lakattua rakenne palautuu alkuperäiseen normaalitilan asentoonsa. (Heino 2002,3.)

Rakennusten jäykistämisessä käytettäviä jäykistysjärjestelmiä on kehäjäykistys, levyjäykistys, mastojäykistys ja sydänjäykistys.

Rakennuksen rungolle asetettavista stabiliteettia koskevista vaatimuksista Heino esittää seuraavaa:

- *Sen on annettava rungolle riittävä varmuus kaatumista vastaan*
- *Jäykistettävä rakennusrunko*
- *Rajoitettava taipumia ja heilahtelua sekä*
- *Varmistettava riittävä stabiiliusreservi katastrofitilanteiden varalle*  
(Heino 2002,3)

Rungon stabiliteettia tulee tutkia eri kuormitusyhdistelyin, jotta löydetään stabiliteetin kannalta määräävä kuormitusyhdistely, jonka mukaan rasitukset jäykistäville rakennenosille määritetään. Lisäksi rakennuksen jäykistävä runko täytyy pyrkiä suunnittelemaan niin, että vaikka jokin kantavista ja jäykistävistä osista menettäisi kantokykynsä ei menetettäisi koko rakennuksen stabiliteettia. (Heino 2002, 3.)

Stabiliteettitarkastelu tulee tehdä myös asennusaikaisia tilanteita varten. Erityisesti elementtirakenteisien rakennusten asennusaikainen vakavuus täytyy tarkastaa, sillä asennusaikana rakennuksen rungon stabiloiva järjestelmä ei toimi kuten käyttötilanteessa. Asennusaikaisen stabiliteetin tarkastelussa on huomioitava asennusaikana esiintyvät määräävät kuormitustilanteet, jotka usein poikkeavat käytönaikaisista kuormitustilanteista. Suunnitteleamalla elementtien asennusjärjestyksen eli elementtiasennussuunnitelman tulee tämäkin asia huomioitua. (Heino 2002, 4.)

Asuinkerrostalokohteiden jäykistys tapahtuu tyypillisesti levyjäykistysten ja mastojäykistysten yhteistoimintana. Rakennuksen välipohjat toimivat levyrakenteina ja siirtävät vaakakuormia kerroskohtaisesti jäykistäville seinille, jotka välittävät vaakakuormat perustuksien kautta maapohjaan.

#### 5.5.1. Vaakavoimat

Rakennuksen jäykistysjärjestelmälle tulevia yleisiä vaakakuormia on mm.

- *Tuulikuorma*
- *rakenteiden vinoudesta aiheutuva vaakakuorma*
- *epäkeskisyyksistä johtuvat vaakakuormat*
- *rakennuksen toispuoleinen maanpaine (Elementtisuunnittelu 2014)*

Kohteesta riippuen jäykistyksestä vastaavan suunnittelijan täytyy mahdollisesti ottaa huomioon myös mm.

- *pitkäaikaismuodonmuutosten, kutistuman ja viruman aiheuttamat kuormitukset*
- *jännevoimien aiheuttamat kuormitukset*
- *törmäys ja jarrukuormat ja*
- *toisen kertaluvun vaakakuormat tarvittaessa (Elementtisuunnittelu 2014)*

#### 5.5.2. Vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille

Kun rakennuskohteen vaakakuormat on saatu selvitettyä, voidaan tarkastella rakennuksen jäykistystä tarkemmin. Rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien jakautuminen jäykistäville rakenteille tapahtuu jäykistävien rakenneosien jäykkyyksien suhteessa sekä rakenneosien sijainnin suhteessa voimaresultanttien kiertokeskiöön välipohjalaataston ja jäykistävien seinien välisen leikkausvoiman välityksellä. Vaakavoimien vaikutussuunta valitaan stabiiliteetin kannalta määräävän kuormitussuunnan mukaan.

Seuraavassa on käsitelty BY202 osan 3 (1983) ja RIL 125 (1986) mukaan voimien jakautumista jäykistysseinille.

### Tapaus jossa välipohja siirtyy, mutta ei kierry

Tapaus on mahdollinen sellaisessa tilanteessa, kun jäykistävät seinät ovat symmetrisesti sijoiteltuna rakennusta kuormittavien vaakavoiman resultantteihin nähden.

Kullekin jäykistyksessä toimivalle seinälle jakautuva voima saadaan kaavoista 10–12 jossa,

$$Q_y = \frac{k_y}{\sum k_y} F_y \quad (10)$$

$Q_y$  = seinän ottama voima

$k_y$  = kunkin seinän jäykkyys y-suunnassa kaavan 11 tai 12 mukaan

$F_y$  = kokonaisvaakavoima

Tasaisella kuormalla

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

jossa,

$E$  = seinän kimmokerroin

$I_x$  = seinän jäyhyysmomentti x-akselin suhteen

$L$  = seinän korkeus

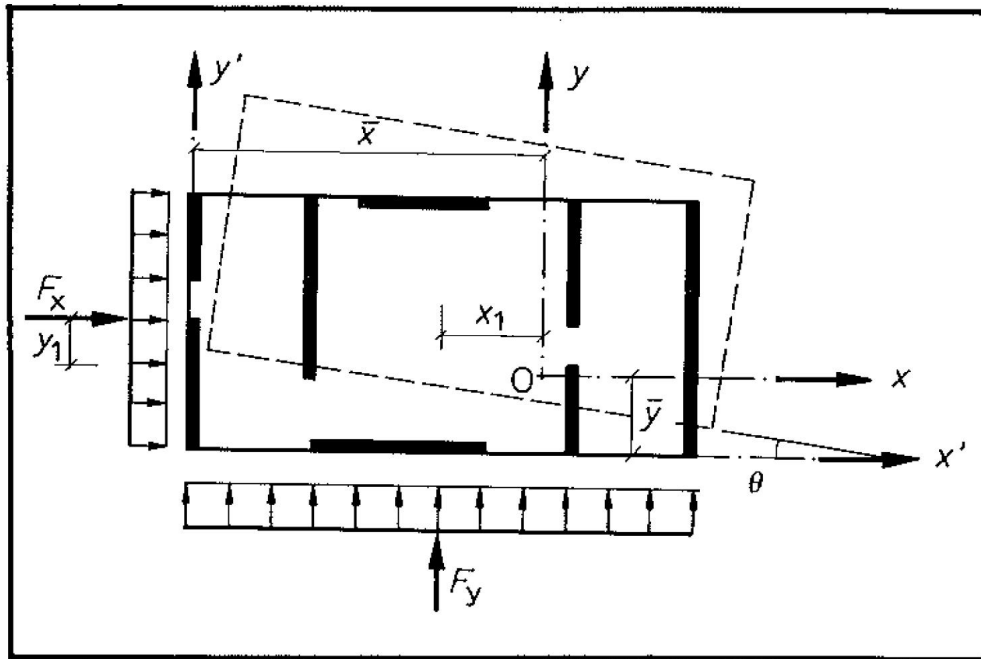
Pistekuormalla joka vaikuttaa seinän yläpäässä

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

Jos kaikki seinät ovat samankorkuisia, levyisiä ja niillä on sama kimmokerroin, voidaan jäykkyyksiä verrata toisiinsa  $b_i^3$ -arvojen avulla ( $b_i$  on seinän leveys)

### Tapaus jossa välipohja siirtyy ja kiertyy

Tapauksessa ulkoisten kuormien resultantit ei sijaitse rakennuksen jäykistävien seinien kiertokeskiössä. Tästä syystä välipohja kiertyy kiertokeskiön ympäri. Jäykistysrakennetta kuormittaa nyt vaakavoima sekä kiertymästä johtuva momentti. Tapausta on havainnollistettu kuviossa 10.



KUVIO 10. Välipohja siirtyy ja kiertyy (RIL 125 1986, 125)

Kiertokeskiön sijainti saadaan selville origon suhteen  $x$ - ja  $y$ - suunnassa kaavoista 13 ja 14

$$\bar{x} = \frac{\sum k_y x'}{\sum k_y} \quad (13)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum k_x y'}{\sum k_x} \quad (14)$$

jossa,

$\bar{x}$  = kiertokeskiön  $x$  – suuntainen etäisyys origosta

$\bar{y}$  = kiertokeskiön  $y$  – suuntainen etäisyys origosta

$k_y$  = kunkin seinän jäykkyys  $y$ -suunnassa

$k_x$  = kunkin seinän jäykkyys  $x$ -suunnassa

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

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

Ratkaistaan tasapainoehtojen avulla siirtymät kaavoista 15 ja 16

$$v_x = \frac{F_x}{\sum k_x} \quad (15)$$

$$v_y = \frac{F_y}{\sum k_y} \quad (16)$$



sekä kiertymä kaavasta 17

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

jossa,

$M$  = laatastoa kiertävä momentti kaavan 18 mukaan

$y$  =  $x$ - suuntaisen jäykistysseinänä  $y$ -suuntainen etäisyys kiertokeskiöstä

$x$  =  $y$ - suuntaisen jäykistysseinänä  $x$ -suuntainen etäisyys kiertokeskiöstä

$$M = F_y x_1 - F_x y_1 \quad (18)$$

Kun siirtymät ja kiertymä on ratkaistu, voidaan ratkaista jäykistysseinälle tuleva kuorma kaavoista 19 ja 20

$$Q_x = F_x v_x - k_x y \theta \quad (19)$$

$$Q_y = F_y v_y - k_y x \theta \quad (20)$$

### 5.5.3. Laskentatulokset stabiliteetin tarkastuksesta

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ainoastaan käyttö- ja murtorajatilanteen stabiliteetit, joissa tarkastellaan seuraavat kohdat

- Vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille
- Kuormien siirto perustuksille
- Yhden jäykistävän seinän kestävyys
- Rakennuksen kokonaisstabiliteetti

Kuormien jakaantumista on tarkasteltu 1. kerroksen seinille, joihin vaikuttaa suurimmat vaakakuormat. Kuormien jakautumista on tarkasteltu yrityksen Excel-pohjaisella ohjelmalla. Jäykistyskuormat käyttö- ja murtorajatilassa on esitetty liitteissä 5 ja 6.

### Vaakakuormat alimman kerroksen seinille

Rakennuksen pitkälle sivulle vaakavoimat tuulesta ominaiskuormana on 8,42 kN/m ja rakennuksen päädyn 7,47 kN/m, jotka vaikuttavat 1. seinien yläpään korkeudella. Lisäksi jäykistysrakenteille aiheutuu vaakakuormaa pystykuormien ja rakenteiden vinouden yhteisvaikutuksesta. Rakenteiden vinoudelle saadaan arvo kaavasta 21.

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \quad (21)$$

missä

$\theta_0$  on perusarvo  $= 1/200$

$\alpha_h$  on pituuteen tai korkeuteen perustuva pienennyskerroin:  $\alpha_h = 2/\sqrt{l}$  ;  $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$

$\alpha_m$  on rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin:  $\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)}$

$l$  on pituus tai korkeus [m], ks. kohtaa (6)

$m$  on kokonaisvaikutuksen aiheuttavien pystyrakenneosien määrä

Jäykistysjärjestelmään vaikuttava vaakavoima saadaan arvo kaavasta (22)

$$H_i = \theta_i N \quad (22)$$

jossa

$N$  = Rakenteeseen vaikuttava normaalivoima

Kun pienennyskertoimia ei oteta huomioon, kaava yksinkertaistuu muotoon

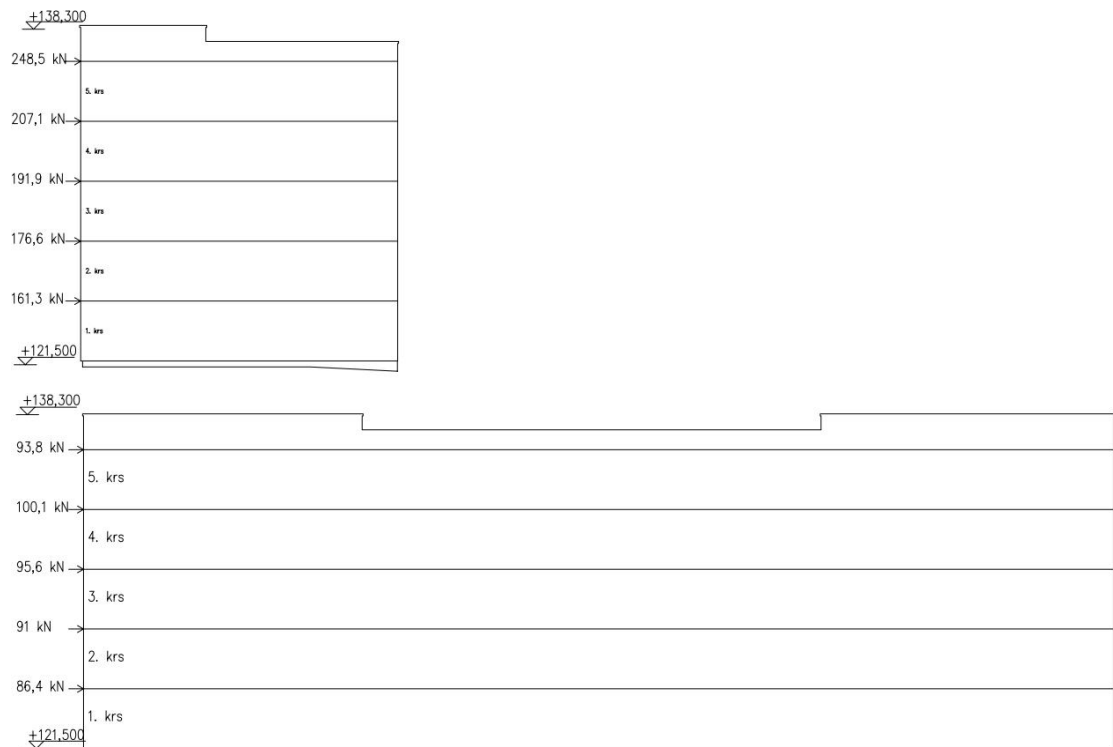
$$H_i = \frac{1}{200} N \quad (23)$$

Alimman kerroksen jäykistäville seinille aiheutuva vaakavoima saatiin neljän kerroksen kokonaiskuorman ja vinouden avulla. Kuormien määrittämisestä laskelmat ovat liitteessä 7. Kokonaiskuormaksi rakenteille on saatu käyttörajatilanteessa 48513,7 kN, josta hyötykuorman osuus on 8117 kN. Käyttötilanteen kuormien aiheuttama lisävaakavoima rakenteiden vinoudesta on 242,6 kN. Rakennuksen pitkälle sivulle vaikuttavan tuulikuorman ja vinouden aiheuttaman vaakavoiman summa on 680,4 kN ja rakennuksen päädyn vaikuttavan tuulikuorman ja epäkeskisyyden aiheuttaman vaakavoiman summa on 358,7 kN.

Murtorajatilakuormana vastaavasti kokonaiskuorma on 58 023,2 kN, josta hyötykuorman osuus on 11568,3 kN. Lisävaakavoima vinoudesta näillä kuormilla on 290,1 kN. Rakennuksen pitkälle sivulle vaikuttavan tuulikuorman ja vinouden aiheuttaman vaakavoiman summa on 946,4 kN ja rakennuksen päädyssä vaikuttavan tuulikuorman ja epäkeskisyyden aiheuttaman vaakavoiman summa on 464,4 kN.

Kuviossa 11 on esitetty rakennukseen vaikuttavat vaakavoimat kerroksittain.

Kerroksittain jaettujen vaakavoimien summa ei ole täysin sama kuin kokonaisvaakavoimat, jotka esitetty edellä, koska tuulikuorman laskennassa on käytetty kerroksittain pienenevää tuulikuormaa ja kokonaisvaakavoima on määritetty todellisen kolmiomaisen tuulenpainekuvion mukaan, joka on esitetty liitteessä 4.



KUVIO 11. Rakennukseen vaikuttavat vaakavoimat kerroksittain

### Vaakavoimien jakautuminen jäykistäville rakenteille

Jäykistäville rakenneosille jakaantuvat vaakakuormat määritettiin Excel laskentapohjalla. Laskennasta seinille jakautuneet kuormat käyttö ja murtorajatilassa näkyvät taulukoissa 11 ja 12. Jäykistävien seinien sijainnit näkyvät kuviossa 12.

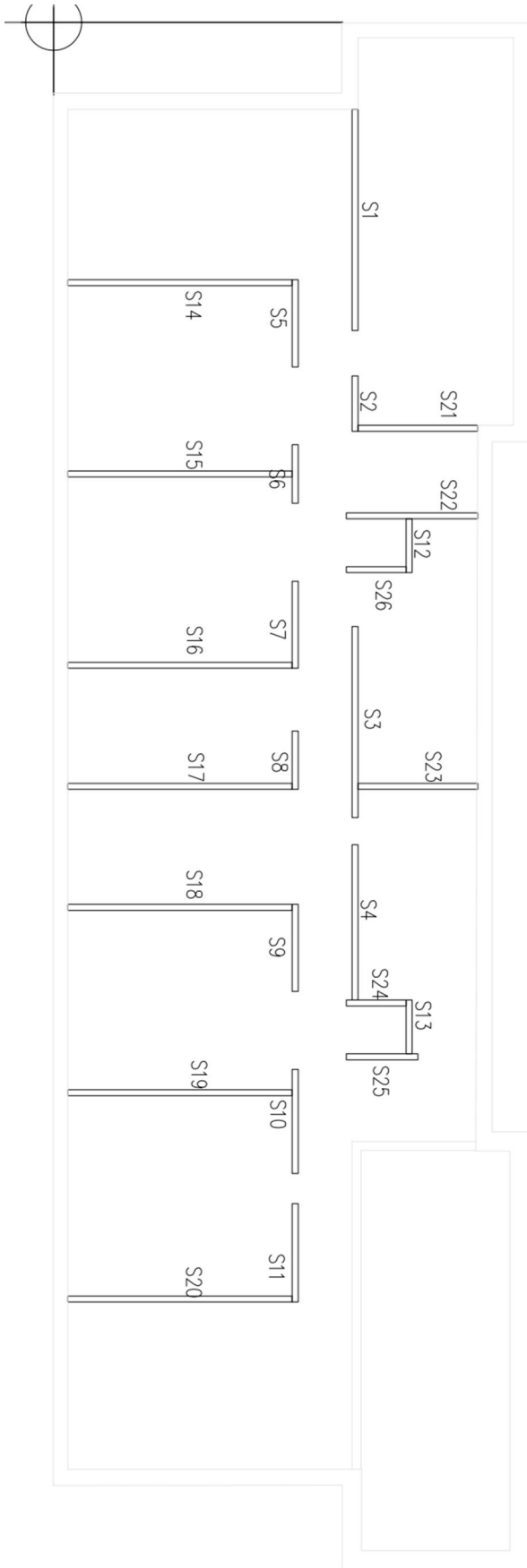
Vaakakuormasta aiheutuva momentti on huomioitu perustuslaskelmissa seinäkohtaisesti, joka on kasvattanut hieman perustusten kokoa. Momentista aiheutuva pystykuorma jäykistäville seinäelementeille on huomioitu seinän mitoituksessa, jota käsitelty omassa osiossa 5.7.3. Seinät.

TAULUKKO 11. Jäykistävien seinien kuormaosuudet KRT:ssa

	<b>Qx (kN)</b>	<b>Qy (kN)</b>	<b>x%</b>	<b>y%</b>
<b>1</b>	142,5	0,0	40 %	0 %
<b>2</b>	2,6	0,0	1 %	0 %
<b>3</b>	92,6	0,0	26 %	0 %
<b>4</b>	51,4	0,0	14 %	0 %
<b>5</b>	9,7	0,0	3 %	0 %
<b>6</b>	3,0	0,0	1 %	0 %
<b>7</b>	9,6	0,0	3 %	0 %
<b>8</b>	2,9	0,0	1 %	0 %
<b>9</b>	9,6	0,0	3 %	0 %
<b>10</b>	16,4	0,0	5 %	0 %
<b>11</b>	13,8	0,0	4 %	0 %
<b>12</b>	2,2	0,0	1 %	0 %
<b>13</b>	2,2	0,0	1 %	0 %
<b>14</b>	0,0	66,8	0 %	10 %
<b>15</b>	0,0	75,5	0 %	11 %
<b>16</b>	0,0	84,2	0 %	12 %
<b>17</b>	0,0	89,8	0 %	13 %
<b>18</b>	0,0	95,3	0 %	14 %
<b>19</b>	0,0	103,7	0 %	15 %
<b>20</b>	0,0	113,1	0 %	17 %
<b>21</b>	0,0	12,3	0 %	2 %
<b>22</b>	0,0	17,0	0 %	2 %
<b>23</b>	0,0	15,0	0 %	2 %
<b>24</b>	0,0	2,1	0 %	0 %
<b>25</b>	0,0	3,8	0 %	1 %
<b>26</b>	0,0	1,7	0 %	0 %
<b>Σ</b>	<b>358,7</b>	<b>680,4</b>	100 %	100 %

TAULUKKO 12. Jäykistävien seinien kuormaosuudet MRT:ssa

	<b>Q<sub>x</sub> (kN)</b>	<b>Q<sub>y</sub> (kN)</b>	<b>x%</b>	<b>y%</b>
<b>1</b>	184,5	0,0	40 %	0 %
<b>2</b>	3,3	0,0	1 %	0 %
<b>3</b>	119,9	0,0	26 %	0 %
<b>4</b>	66,5	0,0	14 %	0 %
<b>5</b>	12,6	0,0	3 %	0 %
<b>6</b>	3,8	0,0	1 %	0 %
<b>7</b>	12,5	0,0	3 %	0 %
<b>8</b>	3,8	0,0	1 %	0 %
<b>9</b>	12,5	0,0	3 %	0 %
<b>10</b>	21,2	0,0	5 %	0 %
<b>11</b>	17,9	0,0	4 %	0 %
<b>12</b>	2,9	0,0	1 %	0 %
<b>13</b>	2,9	0,0	1 %	0 %
<b>14</b>	0,0	94,1	0 %	10 %
<b>15</b>	0,0	105,8	0 %	11 %
<b>16</b>	0,0	117,4	0 %	12 %
<b>17</b>	0,0	124,8	0 %	13 %
<b>18</b>	0,0	132,2	0 %	14 %
<b>19</b>	0,0	143,5	0 %	15 %
<b>20</b>	0,0	156,1	0 %	16 %
<b>21</b>	0,0	17,2	0 %	2 %
<b>22</b>	0,0	23,8	0 %	3 %
<b>23</b>	0,0	20,9	0 %	2 %
<b>24</b>	0,0	3,0	0 %	0 %
<b>25</b>	0,0	5,2	0 %	1 %
<b>26</b>	0,0	2,4	0 %	0 %
<b>Σ</b>	<b>464,4</b>	<b>946,4</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>



KUVIO 12. Rakennuksen jäykistävät seinät 1. kerroksessa

Rakennuksen kokonaisstabiiliteetin tarkastus suoritettiin tarkastelemalla rakennuksen omasta painosta aiheutuvaa stabiloivaa momenttia suhteessa kaatavaan momenttiin, joka aiheutui edellä mainituista vaakavoimista. Tarkastelu on esitetty liitteessä 8.

Yhteenvetona stabiiliteetin tarkastamisesta sekä jäykistävien rakenneosien mitoitusseen saatavista lisämomenteista voidaan todeta, että tämän tyyppisen rakennuksen stabiiliteetissa ja rakenneosien kestävyudessa ei tule ongelmia. Kuten kuviosta 12 näkyy, laskennassa on huomioitu ainoastaan väliseinät, joten ulkoseinien huomioiminen pienentäisi entisestään rakenteille tulevia kuormia. Tällöin vaikutukset perustuskokoihin olisi vielä pienemmät sekä seinille tuleville momenteille saataisiin pienempiä arvoja.

Haasteita rakennuksen jäykistyksessä ja stabiiliteetissa tulee yleensä vastaan 7-8 kerroksisissa hoikissa rakennuksissa, joiden pohjapinta-ala on pieni. Lisäksi vaikeuksia voi aiheuttaa erilaiset tilat kellaritiloissa esimerkiksi autohallit, jolloin käytetään paljon pilareita pystykuormien siirtoon (Miinalainen 2014).

## 5.6. Rakenneosien yksityiskohtainen mitoitus

Esimerkkilaskelmissa käsitellään asuinkerrostalokohteissa tyypillisesti esiintyvät rakenneosat, jotka kuvaavat rakennuksen rakennejärjestelmää mahdollisimman hyvin. Laskelmien tekemiseen olen käyttänyt yrityksessä käytössä olevia mitoitusohjelmia. Osa ohjelmista on SKOL Ry:n kehityshankkeen tuloksena syntyneitä mitoitusohjelmia, jotka ovat yleisesti käytössä suunnittelutoimistoissa.

Rakenneosien mallintamiseen liittyviä määritelmiä eurokoodissa EN1992-1-1 kohdassa 5.3.1 on esitetty seuraavasti

- *Rakenteeseen kuuluvat rakenneosat luokitetaan niiden tyypin ja toiminnan mukaan palkeiksi, pilareiksi, laatoiksi, seiniksi, levyiksi, kaariksi, kuoriksi jne. Seuraavissa kohdissa esitetään sääntöjä tavalisimpien rakenneosien ja tällaisista osista koostuvien rakenteiden tarkastelua varten.*

- *Palkki on rakenneosa, jonka jännemitta on vähintään 3 kertaa poikkileikkauksen kokonaiskorkeus. Muuten sitä pidetään seinämäisenä palkkina.*
- *Laatta on rakenneosa, jonka sivumitta on vähintään 5 kertaa laatan kokonaispaksuus.*
- *Pilari on rakenneosa, jonka poikkileikkauksen suurempi sivumitta on enintään 4 kertaa sen pienempi sivumitta ja pituus on vähintään 3 kertaa poikkileikkauksen suurempi sivumitta. Muuten sitä pidetään seinänä. (SFS-EN 1992-1-1 2004, 53)*

### 5.6.1. Perustukset

Perustusten dimensioiden mitoituksessa käytettiin Excel-pohjaista laskentaohjelmaa, jolla mitoitettiin seinäanturat seinälinjoittain. Perustukset tarkistettiin väestönsuojan osalta normaali- ja onnettomuustilanteessa. Laskentaohjelmaan syötettäviä lähtötietoja on mm. rakenteiden omat painot rakenneosittain, käytetyt hyötykuormat ja maapohjan kantavuus. Jäykistävien seinien anturoille lisättiin stabiliteetilaskelmista saatava vaakavoimasta johtuva momentti, joka kasvatti hieman anturakokoja. Kyse oli kuitenkin korkeintaan 10 cm leveyden kasvusta, joten sinänsä momentilla ei ole suurta merkitystä tässä kohteessa. Laskennasta sekä perustuslinjojen nimeämisestä on tulosteet liitteissä 9 ja 10.

### 5.6.2. Pilarit

Pilareiden mitoitus on yksi haastavimmista mitoitettavista rakenneosista asuinkerrostalokohteissa, koska siihen liittyvät toisen kertaluvun vaikutusten laskenta on melko työlästä käsin laskentana.

Mitoitus perustuu nimelliseen kaarevuuteen perustuvaan menetelmään, jossa määritetään taipumaan perustuva lisämomentti ns. toisen kertaluvun vaikutus. Taipumasta johtuvaa lisämomenttia ei tarvitse tarkastaa jos seuraava hoikkusehto toteutuu kaavojen 24-30 sekä kuvion 13 ja 14 mukaan.

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \leq \lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \quad (24)$$

jossa



$$A = \frac{1}{(1+0,2\varphi_{ef})} \quad (A = 1,1, \text{ jos } \varphi_{ef} \text{ ei tunneta}) \quad (25)$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \quad (A = 1,1, \text{ jos } \omega \text{ ei tunneta}) \quad (26)$$

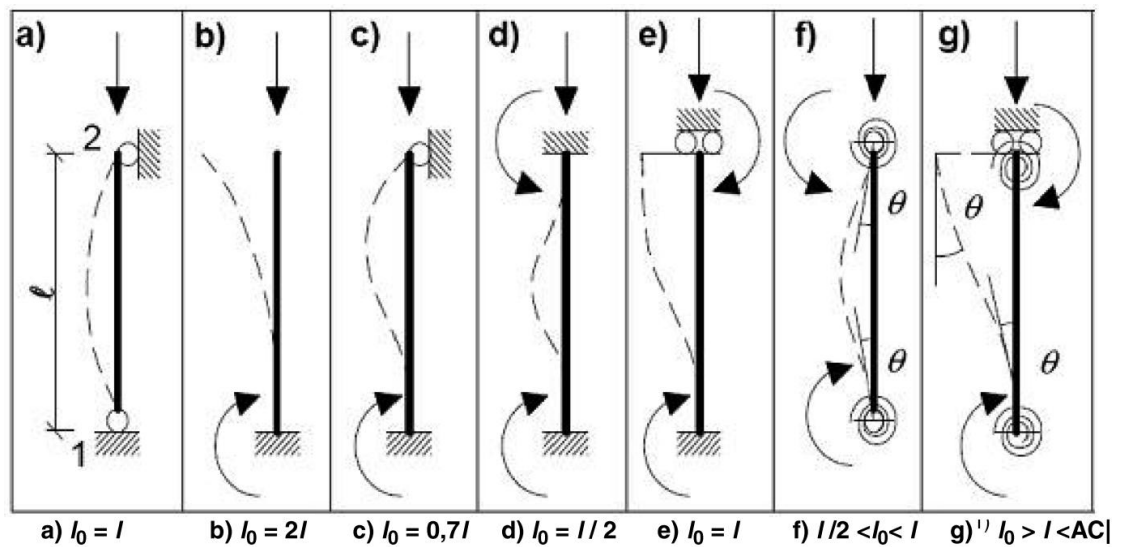
$$C = 1,7 - r_m \quad (A = 1,1, \text{ jos } r_m \text{ ei tunneta}) \quad (27)$$

$\varphi = \text{virumisaste, kuviosta 14}$

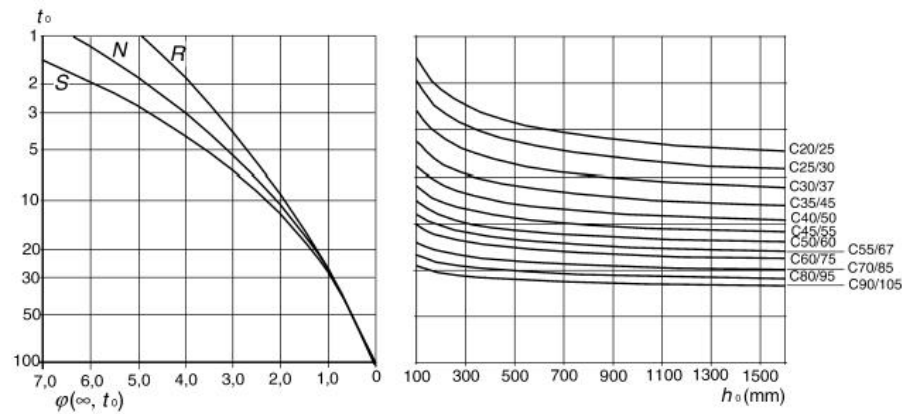
$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}, \text{ mekaaninen raudoitusuhde} \quad (28)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}, \text{ suhteellinen normaalivoima} \quad (29)$$

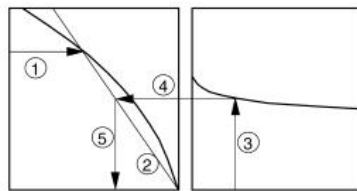
$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}, \text{ päätemomenttien suhde} \quad (30)$$



KUVIO 13. Erillisten sauvojen erilaisia nurjahdusmuotoja ja vastaavat nurjahduspi-  
tuudet SFS-EN 1992-1-1 mukaan

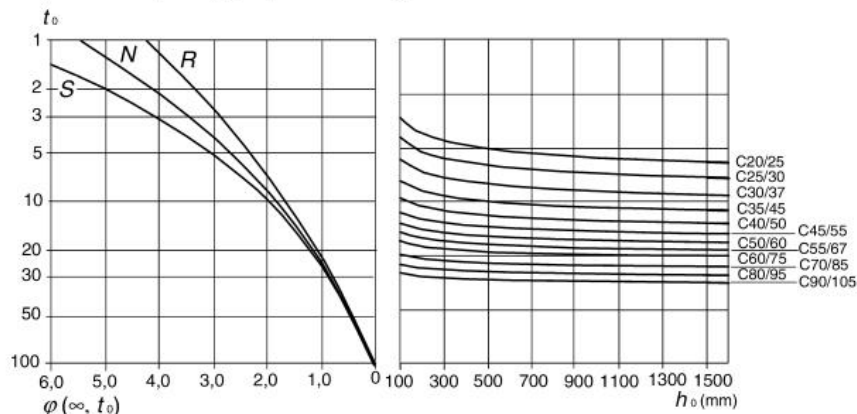


a) sisätilat – suhteellinen kosteus = 50 %



HUOM.

- Käyrien 4 ja 5 välinen leikkauspiste voi olla myös pisteen 1 yläpuolella.
- Kun  $t_0 > 100$ , saavutetaan riittävä tarkkuus, kun oletetaan  $t_0 = 100$  (ja käytetään tangenttiiviivaa).



b) ulkotilat – suhteellinen kosteus = 80 %

Kuva 3.1 Virumaluvun  $\varphi(\infty, t_0)$  määrittäminen normaaleissa ympäristöolosuhteissa olevalle betonille

KUVIO 14. Virumaluvun määrittäminen  $\varphi$  SFS-EN 1992-1-1 mukaan

Jos hoikkusehto ei toteudu pilariin vaikuttava mitoitusmomentti saadaan ensimmäisen kertaluvun momentin ja toisen kertaluvun lisämomentin summana, joka on esitetty kuviossa 15. Hoikkusehdon toteutuessa mitoitusmomenttina käytetään minimi epäkeskisyyden ja puristavan normaalivoiman aiheuttamaa momenttia. Mitoitusmomentin määrittäminen tapahtuu kaavojen 31-36 mukaan

$$M_{Ed} = \max \{M_{02}, M_{0e} + M_2\} \geq \max (h/30, 20 \text{ mm}) N_{Ed} \quad (31)$$

missä:

$$M_{0e} = 0,6M_{02} + 0,4M_{01} \geq 0,4M_{02} \quad (32)$$

$$M_{01} = M_{1,end} + e_i N_{Ed} \quad (33)$$

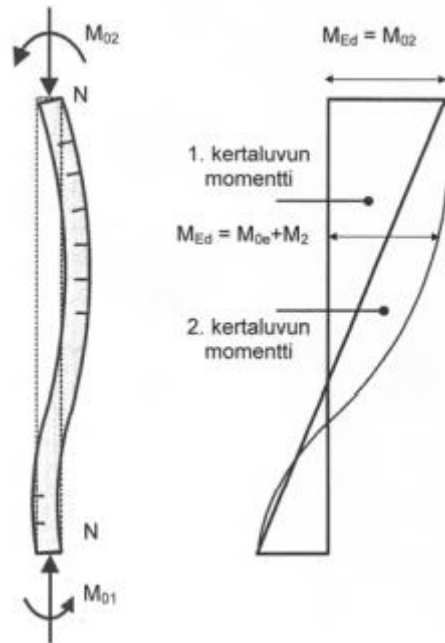
$$M_{02} = M_{2,end} + e_i N_{Ed} \quad (34)$$

$$e_1 = l_0/400 \text{ (epätarkkuuden vaikutus)} \quad (35)$$

$$M_2 = N_{Ed} e_2 \quad (36)$$

$N_{Ed}$  = normaalivoiman mitoitusarvo

$e_2$  = toisen kertaluvun vaikutusten aiheuttama taipuma



KUVIO 15. Pilarissa vaikuttava mitoitusmomentit (Betonirakenteiden suunnittelu euronkoodien mukaan, osa 5. Pilarit 2009)

Toisen kertaluvun vaikutusten aiheuttaman taipuman  $e_2$  määrittäminen SFS-EN 1992-1-1 mukaan kuvioissa 16-18.

$$e_2 \text{ on taipuma} = (1/r) l_0^2/c$$

$1/r$  on kaarevuus, ks. kohtaa 5.8.8.3

$l_0$  on nurjahduspituus, ks. kohtaa 5.8.3.2

$c$  on kokonaiskaarevuuden jakautumasta riippuva kerroin, ks. kohtaa 5.8.8.2 (4).

(4) Vakiopoikkileikkaukselle käytetään normaalisti arvoa  $c = 10 (\approx \pi^2)$ . Jos ensimmäisen kertaluvun laskennan momentti on vakio, on syytä valita pienempi arvo (8 on alaraja, joka vastaa vakiosuuruista kokonaismomenttia).

HUOM. Arvo  $\pi^2$  vastaa sinimuotoista kaarevuuden jakautumaa. Vakiosuuruista kaarevuutta vastaava arvo on 8. Huomaa, että kerroin  $c$  riippuu kokonaiskaarevuuden jakautumasta, kun taas kohdan 5.8.7.3 (2) mukainen kerroin  $c_0$  riippuu vain ensimmäisen kertaluvun laskennan momenttia vastaavasta käyristymästä.

KUVIO 16. Toisen kertaluvun vaikutusten aiheuttaman taipuman  $e_2$  määrittäminen SFS-EN 1992-1-1 kohdan 5.8.8.3 mukaan

### 5.8.8.3 Kaarevuus

(1) Pilareissa, joissa on muuttumaton symmetrinen poikkileikkaus (raudoitus mukaan lukien), voidaan käyttää seuraavaa kaavaa:

$$1/r = K_r \cdot K_\phi \cdot 1/r_0 \quad (5.34)$$

missä

$K_r$  on korjauskertoimen, joka riippuu normaalivoimasta, ks. kohtaa 5.8.8.3 (3)

$K_\phi$  on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon viruminen, ks. kohtaa 5.8.8.3 (4)

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 d)$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$$

$d$  on tehollinen korkeus, ks. myös kohtaa 5.8.8.3 (2).

(2) Jos koko raudoitus ei ole keskittynyt vastakkaisille puolille, vaan osa siitä on jakautunut yhdensuuntaisesti taivutustason kanssa, korkeudeksi  $d$  määritellään

$$d = (h/2) + i_s \quad (5.35)$$

missä  $i_s$  on raudoituksen kokonaisalan jäyhyysäde.

(3) Kaavan (5.34) korjauskertoimelle  $K_r$  käytetään lauseketta

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1 \quad (5.36)$$

missä

$$n = N_{Ed} / (A_c f_{cd}), \text{ suhteellinen normaalivoima}$$

$N_{Ed}$  on normaalivoiman mitoitusarvo

$$n_u = 1 + \omega$$

$n_{bal}$  on suhteellisen normaalivoiman  $n$  arvo, kun taivutuskestävyydellä on maksimiarvo; arvoa 0,4 voi käyttää

$$\omega = A_s f_{yd} / (A_c f_{cd})$$

$A_s$  on raudoituksen kokonaisala

$A_c$  on betonipoikkileikkauksen ala.

(4) Virumisen vaikutus otetaan huomioon käyttämällä kerrointa

$$K_\phi = 1 + \beta \phi_{ef} \geq 1 \quad (5.37)$$

missä

$\phi_{ef}$  on virumisaste, ks. kohtaa 5.8.4

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150$$

$\lambda$  on hoikkuusluku,  $|\mathbf{AC}|$  ks. kohtaa 5.8.3.2.  $<\mathbf{AC}|$

KUVIO 17. Kaarevuuden määrittäminen SFS-EN 1992-1-1 kohdan 5.8.8.3 mukaan

#### 5.8.4 Viruminen

(1)P Toisen kertaluvun tarkastelussa tulee ottaa huomioon viruman vaikutukset tarkastelemalla sekä virumiseen vaikuttavia yleisiä tekijöitä (ks. kohtaa 3.1.4) että eri kuormien kestoja asianomaisessa kuormayhdistelmässä.

(2) Kuormien kesto voidaan ottaa huomioon yksinkertaistetulla tavalla virumisasteen  $\varphi_{ef}$  avulla. Sen ja mitoituskuorman avulla saadaan pitkäaikaiskuormaa vastaava viruma (käyristymä)

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp}/M_{0Ed} \quad (5.19)$$

missä

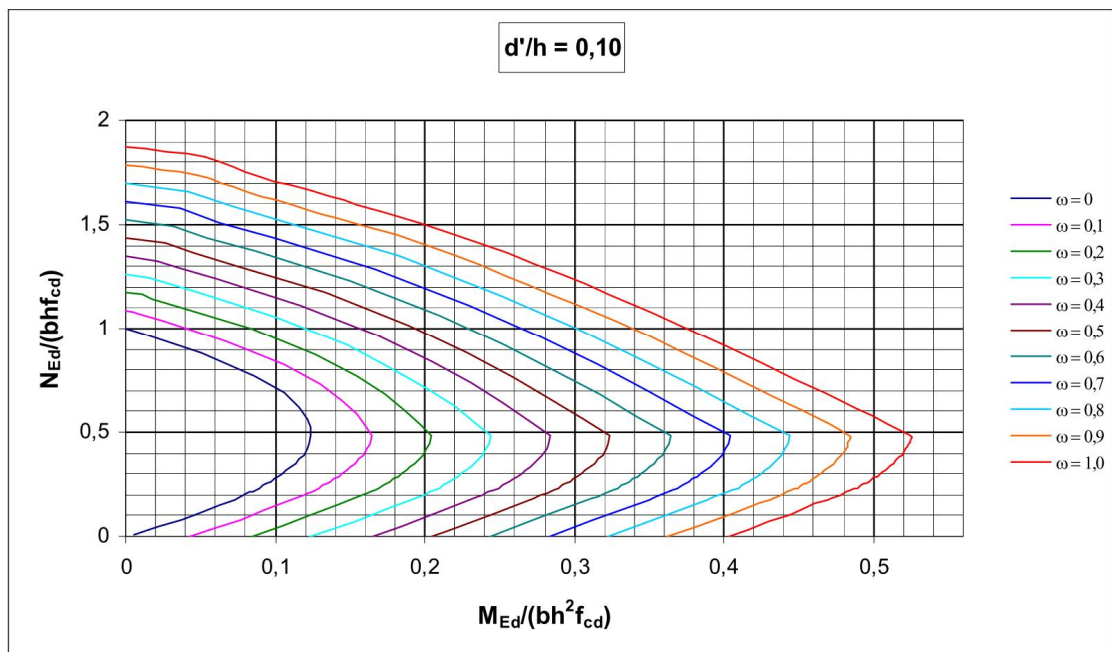
$\varphi(\infty, t_0)$  on kohdan 3.1.4 mukainen virumaluvun loppuarvo

$M_{0Eqp}$  on lineaarisen laskennan mukainen taivutusmomentti käyttörajatilassa kuormien pitkäaikaisyhdistelmän vaikuttaessa

$M_{0Ed}$  on lineaarisen laskennan mukainen taivutusmomentti murtorajatilassa kuormien mitoitusarvojen vaikuttaessa yhdistelmänä.

KUVIO 18. Virumisasteen määrittäminen SFS-EN 1992-1-1 kohdan 5.8.4 mukaan

Kun pilariin vaikuttavat rasitukset on määritetty, voidaan pilari mitoittaa puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutukselle, joita vastaavat teräsmäärät saadaan yhteisvaikutusdiagrammeista, josta esimerkki on kuviossa 19. Yhteisvaikutusdiagrammeja erilaisille pilareille on esitetty mm. BY60 EC 2 osan 1-1 liitteenä.



KUVIO 19. Puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutusdiagrammi (Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, osa 5. Pilarit 2009)

Pilareiden pääraudoituksen tulee olla halkaisijaltaan vähintään 8 mm paksua harjaterästä ja hakaraudoituksen vähintään 5 mm. Lisäksi on huomioitava pilarin raudoituk-

selle asetetut ylä- ja alaraja-arvot SFS-EN 1992-1-1 kohdan 9.5.2 mukaan. Haka-raudoitukselle annettuja ehtoja käsitellään samassa lähteessä kohdassa 9.5.3.

### Pilarin yläpään mitoittavat lisähaat

Pilarin yläpäässä vaikuttavan yläpuolisen rakenteen tukireaktio aiheuttaa pilarin yläpään halkaisuvoiman. Pilarin yläpään tulee suunnitella lisähaat tämän halkaisuvoiman sekä rakenteessa vaikuttavien ulkoisista kuormista ja pakkovoimista syntyvän vaakavoiman vaikutusta vastaan. (RUNKO-BES 1983,158.)

Halkaisuvoima voidaan määrittää kaavasta (37), jota on havainnollistettu kuviossa 20.

$$F_t = 0,25 F_d \left(1 - \frac{b_0}{b_1}\right) \quad (37)$$

jossa

$F_d$  = Kuormittavan voiman laskenta-arvo

$b_0$  = kuormitetun pinnan sivumitta tarkasteltavassa suunnassa

$b_1$  = jakaantumispinnan sivumitta tarkasteltavassa suunnassa

*Palkin pituussuunnassa*  $b_0 = 30 + mm \ 2 \ t$

*Palkin poikittaissuunnassa*  $b_0 = \frac{b}{3} + 100$

jossa

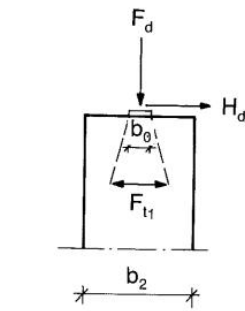
$t$  = neopren levyn paksuus (max. 8 mm)

$b$  = palkin tai pilarin leveys

Halkaisukapasiteetin yläraja

$$f_{cd} \geq \frac{1,2 F_d}{A_{co}} \quad (38)$$

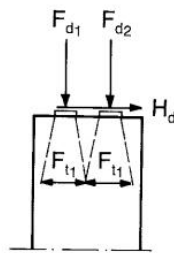
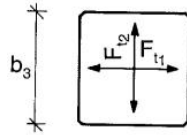
$A_{co}$  = toimivan tukipinnan ala



$$F_{t1} = 0,25 \cdot F_d \cdot \left(1 - \frac{30 + 2 \cdot t}{b_2}\right)$$

$$F_{t2} = 0,25 \cdot F_d \cdot \left(1 - \frac{\frac{b_3}{3} + 100}{b_3}\right)$$

$$H_d = 0,2 \cdot F_d$$

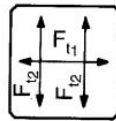


$$F_{d1} > F_{d2}$$

$$F_{t1} = 0,25 \cdot F_{d1} \cdot \left(1 - \frac{30 + 2 \cdot t}{b_2/2}\right)$$

$$F_{t2} = 0,25 \cdot F_{d1} \cdot \left(1 - \frac{\frac{b_3}{3} + 100}{b_3}\right)$$

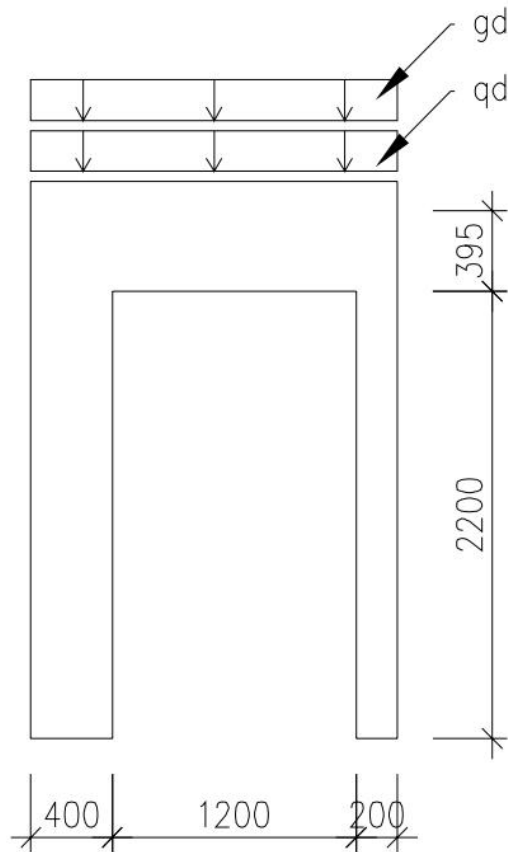
$$H_d = 0,2 \cdot (F_{d1} + F_{d2})$$



KUVIO 20. Halkaisuvoiman suuruus pilarin yläpäässä Runko-BES:n mukaan

### Esimerkkilaskelma

Esimerkkirakennuksessa ei varsinaisia erillisiä pilareita ole, mutta elementeissä esiintyy aukkojen väleissä sekä pielissä pilarina tarkasteltavia rakenteita. Tässä työssä mitoitin 1. kerroksen väliseinässä olevan pilarin. Pilarin mitoituksesta on liitteessä laskelmasta otettuja tulosteita. Pilarin mitat näkyvät kuviossa 21. Pilarin rasitukset yläpuolelta tulevat porrashuoneiden laatoilta ja hyötykuormista sekä yläpuolisilta seiniltä. Pilarin mitoituksesta on laskelmat liitteessä 11. Tällaisessa pilarissa ei tarvitse huomioida pilarin päässä vaikuttavaa halkaisuvoimaa, koska rakenne jatkuu aukosta ylöspäin yhtenäisenä seinärakenteena.



KUVIO 21. Mitoitettu pilari

### 5.6.3. Seinät

Asuinkerrostalossa käytettävien kantavien betoniseinien vakiopaksuutena käytetään yleensä 180 mm ja 200 mm. Tällä 20 mm seinän paksuntamisella saavutetaan hieman enemmän kapasiteettia, mikä tosin normaalin asuinkerrostalon kuormilla on harvoin tarpeen. Tärkeämpänä muutoksena paksuuden kasvaessa on seinän ääneneristävyys.

### Raudoittamattoman seinän mitoitus

Raudoittamattoman seinän mitoituksessa käytetään kaavoja 39–46. Ensin tulee tarkistaa toteutuuko hoikkusehto  $\lambda \leq 86$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (39)$$

$$l_0 = \beta l_w \quad (40)$$



$$\beta = 1$$

$l_w$  = seinän vapaa korkeus

Jos ehto täyttyy, voidaan seinän normaalivoimakestävyys laskea kaavasta:

$$N_{Rd} = b h_w f_{cd,pl} \theta \quad (41)$$

jossa

$N_{Rd}$  = normaalivoimakestävyys

$b$  = poikkileikkauksen kokonaisleveys

$h_w$  = poikkileikkauksen kokonaispaksuus

$\theta$  = epäkeskisyyden huomioon ottava kerroin, jossa on mukana toisen kertaluvun ja viruman vaikutukset

Jäykistetyssä rakenneosassa  $\theta$  voidaan laskea kaavasta 42

$$\theta = 0,71 \left( 1 - \frac{2 e_{tot}}{h_w} \right) - \frac{0,013 l_0}{h_w} \leq \left( 1 - \frac{2 e_{tot}}{h_w} \right) \quad (42)$$

jossa

$$e_{tot} = maks(e_0 + e_i; e_{min}) \quad (43)$$

$$e_0 = \frac{\sum M_d}{\sum N_d} \quad (44)$$

$$e_i = \frac{l_0}{400} \quad (45)$$

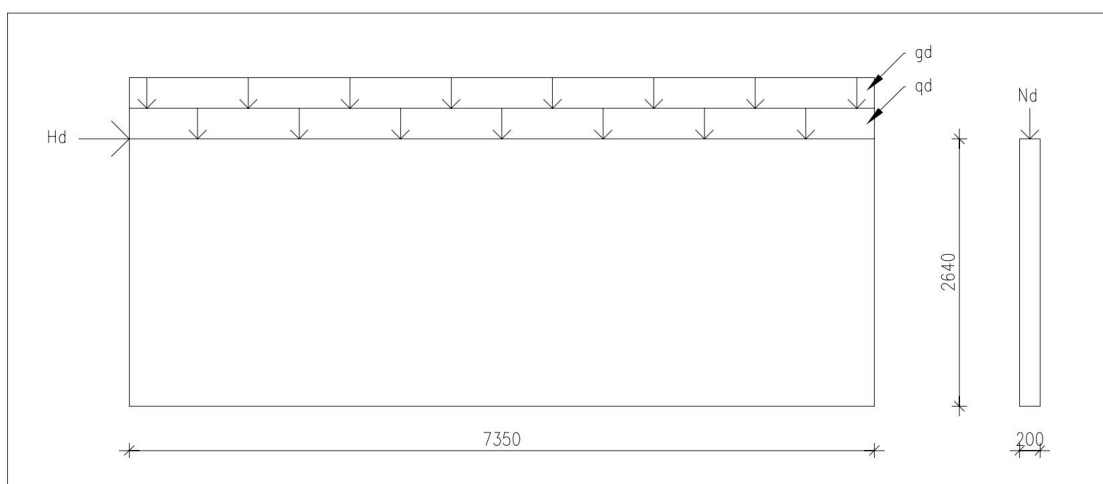
$$e_{min} = maks\left(\frac{h_w}{30}; 20 \text{ mm}\right) \quad (46)$$

$e_i$  = yksinkertaistettu alkuepäkeskisyys

$e_0$  = ulkoisista kuormista aiheutuva epäkeskisyys, jossa huomioitu kuormien epäkeskisyys mahdollisimman epäedullisena

## Esimerkilaskelma

Laskema on tehty kuvion 22 jäykistävälle 1. kerroksen väliseinälle, johon vaikuttava normaalivoiman ominaiskuorma on 256,4 kN/m. Seinän yläpään vaikuttava vaakavoima  $H_d$  on 184,5 kN, joka on määritetty stabiliteetilaskelmissa. Seinälle vaikuttava kokonaismomentti  $M_d$  on 1728 kNm, josta aiheutuu seinän päähän yhden metrin matkalle kuormaa  $1728/(1-1\text{m}) = 272$  kN. Kokonaispystykuorma seinälle on 528,5 kN/m. Kuorman kokonaisepäkeskisyytenä on käytetty 26,6mm, joka on saatu kaavan 43 mukaan. Tällöin käyttöasteeksi raudoittamattomana saatiin 67 %. Laskentatarkastelu on esitetty liitteessä 12.



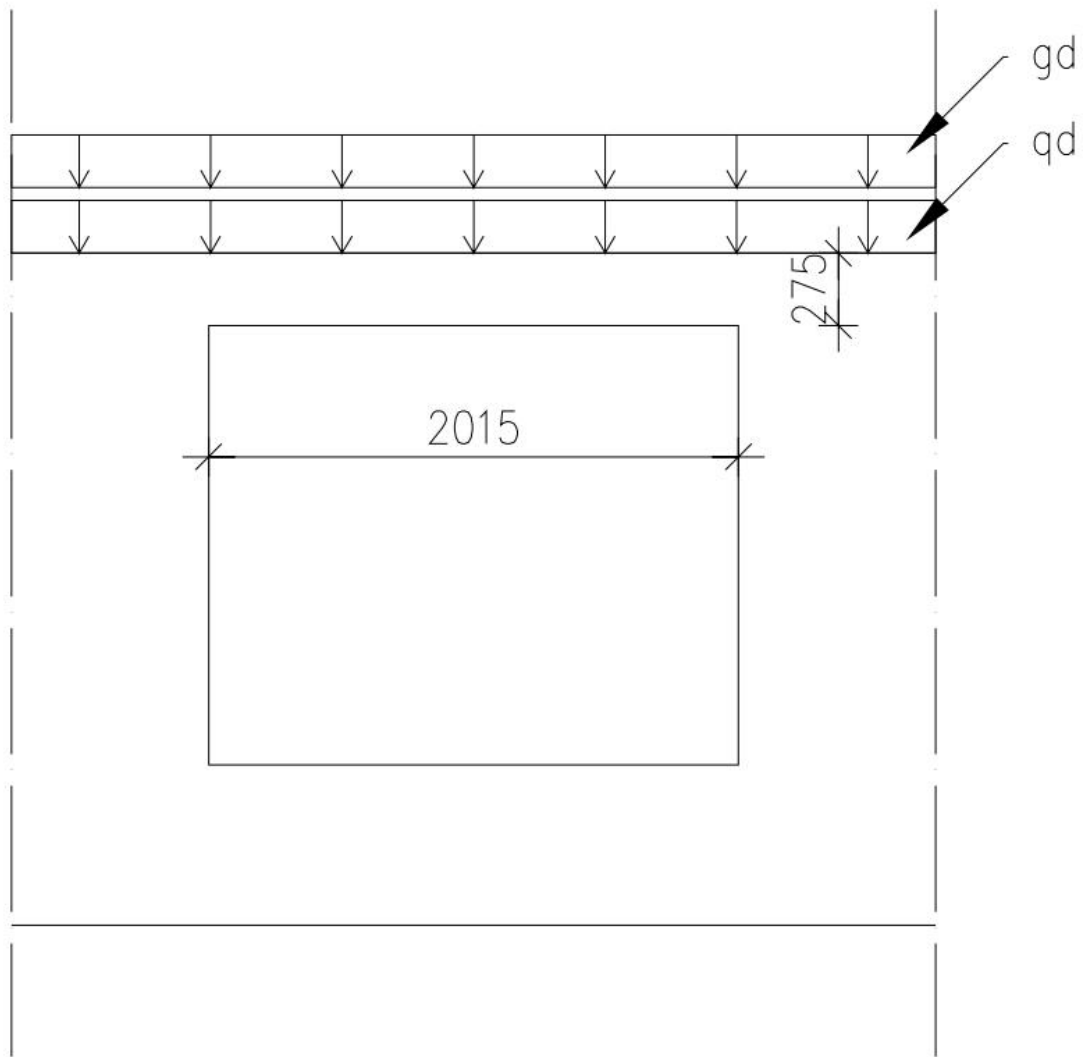
KUVIO 22. Jäykistävä väliseinä

## Raudoitetun seinän mitoitus

Raudoitetun seinän mitoitus etenee pääosin samalla tavalla kuten pilarin mitoitus, mutta mitoituksessa tarkastellaan yhden metrin levyistä kaistaa seinästä. Eroja pilarinmitoitukseen on palonkestävyyden mitoituksessa, taivutus on kriittinen vain heikomman sivun suhteen sekä raudoituksen yksityiskohtainen suunnittelu.

### 5.6.4. Palkit

Palkin mitoituksessa tarkastettiin murtorajatilassa palkin taivutus- ja leikkauskapasiteetit sekä käyttörajatilassa taipuma ja halkeamaleveys. Mitoitettu palkki näkyy kuviossa 23. Laskentatarkastelut on esitetty liitteessä 13.

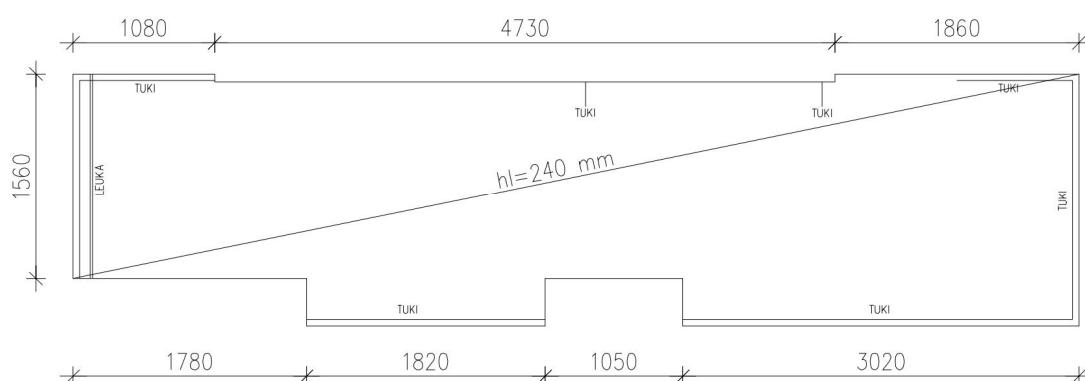


KUVIO 23. Aukkopalkki rakennuksen päädyssä

Mitoituslaskelma on tehty rakennuksen ulkoseinän aukkopalkille, joka on rakennuksen levein ikkuna-aukko. Rasitusten laskenta suoritettiin käsin laskentana ja mitoituksista on liitteenä mitoituslaskelmat.

### 5.6.5. Laatat

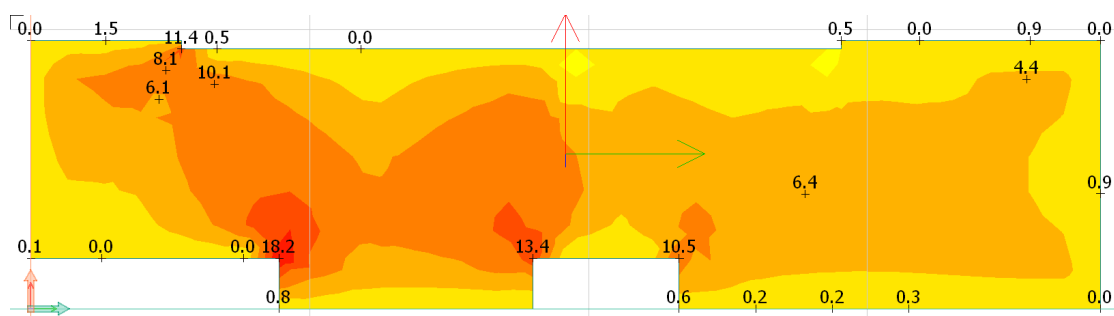
Mitoitettu laatta on porrashuoneessa oleva laattaelementti, joka on 240 mm paksu sekä ristiin kantava. Laattaelementin mitat sekä tuentojen sijainti on esitetty kuviossa 24. Rakenteelle tulevat rasitukset on laskettu FEM-Design 11.0 ohjelmalla, koska käsin laskennalla laatta olisi ollut vaikea mitoittaa monimuotoisuutensa takia tai olisi täytynyt tehdä paljon varmale puolelle meneviä yksinkertaistuksia, jotka olisi johtanut ylimitoitukseen.



KUVIO 24. Porrashuoneen laattaelementti

### Esimerkkilaskelma

Laatan rasitukset näkyvät kuvioissa 25–28, joiden mukaan laatta on mitoitettu SKOL laatan laskentapohjalla. Laatan raudoitus alapinnassa verkko T8#150 sekä palkkikais-tat momenttihuippujen kohdalle. Yläpintaan verkko T8#200 sekä palkkikaistat mo-menttihuippujen kohdalle. Laatan mitoituksesta on tuloste liitteessä 14.



KUVIO 25. Laatan alapinnan momentit y-suunnassa [kNm]



käytetään 1. Väestönsuojarakenteiden mitoituksessa käytettävät paineaallostai-  
heutuvat kuormitukset on esitetty asetuksen A506/2011 mukaan taulukossa 13. Pe-  
rustuksia mitoitettaessa otetaan huomioon painekuormasta yksi neljäsosa (RT SM-  
21508).

TAULUKKO 13. Väestönsuojarakenteiden painekuormat

VSS-Painekuormat				
Kuormat [kN/m <sup>2</sup> ]	Seinät	Lattia	Katto	Hätäpoistumiskäytävä
S1	100	100	100	25
S2 Maanalainen	200	200	200	100
S2 Maanpäällinen	400	200	200	100
Kalliosuoja	300	-	600	-

Tässä opinnäytetyössä on mitoitettu väestönsuojarakenteiden osalta ainoastaan pe-  
rustukset, joiden mitoitus näkyy perustuslaskelmassa.

## 6. Rakennelaskelmien dokumentointi

### 6.1. Yleistä

Rakennelaskelmista kootaan projektin edetessä laskentadokumentointia, joka sisäl-  
tää kansilehden, sisällysluettelon sekä kohteesta tehdyt rakennelaskelmat. Doku-  
mentissa esitetään kuormitustiedot, stabiiliteettilaskelmat sekä rakennusosakohtaiset  
mitoituslaskelmat, joista tulee selvittää rakennejärjestelmä, käytetyt laskentamene-  
telmät sekä laskelmien tulokset. (RIL 229-1-2013, 66.)

Laskentadokumentti tulee olla johdonmukainen ja selkeä kokonaisuus, jota laskelmi-  
en vaativuuden edellyttämän henkilön tulee ymmärtää vaikeuksitta. Laskelmissa tuli-  
si käyttää yleisesti viranomaismääräyksissä ja – ohjeissa käytössä olevia merkkejä,  
kirjaintunnuksia ja symboleja. Jos kuitenkin on tarpeen käyttää jotain muita merkin-  
töjä laskennassa kuin määräyksissä ja ohjeissa käytetään, on niistä tehtävä selostus  
käytetyn merkinnän yhteydessä. (RIL 229-1-2013, 66–67.)

Rakennelaskelmia tehdään erittäin paljon erilaisilla tietokoneohjelmilla, jolloin tulosten esittämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tietokoneohjelmilla tehtävien rakennelaskelmien tulosteiden määrät kasvavat joidenkin ohjelmien kohdalla erittäin suuriksi, jos tulosteiden määrää ei rajoiteta mitenkään. Yleisesti ohjelmien tuloksista tulisi tulostaa vain oleelliset kohdat. Rakennemallin, numerointien sekä siirtymä- ja voimasuureiden esittämisessä tulisi käyttää tulostusta, joka tiivistää saadut tulokset havainnollistavaksi grafiikaksi.

Rakennesuunnittelun asiakirjaohjeen tekstiosa RIL 229-1-2013 esittää tietokoneohjelmaa käytettäessä, että laskelmista tulisi käydä ilmi ainakin seuraavat asiat mm.

- *Käytetyt ohjelmat ja niiden versiot*
- *Ohjelmien soveltuvuusalueet ja käyttörajoitukset*
- *Ohjelmien käyttämät laskentateoriat (vähintään viittaus ohjelman käyttöohjeeseen)*
- *Laskentamalli ja siinä käytetyt rakenteen tuentojen ja sisäisten liitosten oletettu toiminta (jäykkä/ nivel/jousi)*
- *Puristettujen rakenteiden nurjahduspituus*
- *Kuormitusten suuruus ja suunta*
- *Laadut, merkkisäännöt ja tulosten tulkintaohjeet. (RIL 229-1-2013, 68.)*

Laskelmissa käytetyistä kuormituksista tulisi tehdä kerroskohtaiset kuormituskaaviot, jotka liitetään laskentadokumenttien yhteyteen.

Stabiiliteetilaskelmissa esitetään kuormien jakaantuminen jäykistäville rakenteille, käytetyt kuormitukset sekä jäykistävien rakenteiden rasitukset, joiden mukaan yksittäiset jäykistävät rakenteet suunnitellaan. Yksittäisten jäykistykseen osallistuvien rakenneosien suunnittelu voidaan tehdä joko samassa yhteydessä tai erillisenä mitoituksen laskennan edetessä. Lisäksi on esitettävä vastaavat tarkastelut asennusaikaisesta stabiiliteetista.

Rakenneosien mitoituslaskelmissa tulisi RIL 229-1-2013 Rakennesuunnittelun asiakirjaohjeen tekstiosan mukaan esittää mm.

1. *Rakenneosan sijainti kohteessa*
2. *Rakenneosan kuvaus*
  - 2.1. *Staatillinen malli*
  - 2.2. *Rakenteen mitat*
  - 2.3. *Tuenta*
  - 2.4. *Rakenteen ja liitosten jäykkyysominaisuudet*
  - 2.5. *Siirtymät*

- 2.6. *Aukot ja niiden vaikutus*
- 3. *Rakenneosan kuormitus*
  - 3.1. *Rakenneosaan kohdistuvat kuormitukset ja kuormitusyhdistelmät*
  - 3.2. *Laskelmissa tulee selvästi esittää, mistä kuormitukset muodostuvat ja mitkä ovat kertoimet ja lopulliset lukuarvot*
- 4. *Voimasuureiden laskeminen*
  - 4.1. *Lasketaan voimasuureet eri kuormista ja kuormitusyhdistelmät*
  - 4.2. *Saatuja tuloksia voidaan havainnollistaa graafisella tulostuksella*
- 5. *Mitoitus*
  - Mitoitetaan poikkileikkaus (koko, teräsmäärät, liitokset, kiinnitykset jne.)*
  - 5.1. *Murtorajatilatarkastelussa osoitetaan rakenneosan varmuus murtorajatilassa vertaamalla vastaavia voimasuureita ja kapasiteetteja*
  - 5.2. *Käyttörajatilatarkastelussa tehdään tarvittaessa muodonmuutos-, halkeama- ja jännitystarkastelut käyttörajatilassa*
  - 5.3. *Vakavuustarkastelussa tehdään yksittäisen rakennusosan vakavuustarkastelu. Erityisesti asennusvaiheen vakavuus on selvitettävä (tarvittaessa)*
  - 5.4. *Rakenneosien mitoitus palotilanteessa (tarvittaessa)*
  - 5.5. *Dynaaminen mitoitus (tarvittaessa). (RIL 229-1-2013, 72.)*

Tässä opinnäytetyössä ei ole käsitelty elinkaarilaskelmia, rakennusfysikaalisia laskelmia eikä erillistä palomitoituslaskentaa. Nämä kuitenkin tulee suorittaa jokaisessa kohteessa RIL 229-1-1 Rakennesuunnittelun asiakirjaohjeen mukaan.

## 6.2. Rakennelaskelmien dokumentoinnin kehittäminen yrityksessä

Opinnäytetyön tekemisen aikana pohdittiin eri menetelmiä kasata rakennelaskelmista edellä esitettyä johdonmukaista laskentadokumenttia. Pää tavoitteena olisi saada laskelmadokumentista helposti hallittava, johon olisi helppo lisätä mitoitettua laskentatarkastelua sekä projektipäällikkö voisi seurata mitoituksen etenemistä. Lisäksi yrityksessä haluttiin yhtenäistää laskentakäytäntöjä.

Laskennan seuraamista sekä dokumentointia varten kehitettiin erillinen laskentaluettelo, johon kirjataan mitoitettuja rakenneosia sekä rakenneosien sijainti rakennuksessa. Laskentaluettelo ohjeistaa rakennelaskelman nimeämisessä, jotta laskelmien nimeämisestä saataisiin yhtenäinen yksinkertainen käytäntö. Hankkeen lopuksi laskentaluettelo liitetään rakennelaskelmien dokumentointipakettiin, johon liitetään myös rakennuksesta tehty päärakenneosien rakennelaskelmat sekä kohteen lähtötiedot



Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet-asiakirjan mukaan. Tällöin kohteeseen tehty rakennelaskelmat näkyvät luettelossa, josta lukija saa käsityksen mitoitukseen laajuudesta. Lisäksi lukija pystyy kohdentamaan laskentatarkastelut kohteesta tehdyn moduuliverkon ja kerroksen mukaan tarkasteltavaan kohteeseen.

## 7. Pohdinta

### 7.1. Tavoitteiden täyttyminen

Toimeksiantajayrityksen projektipäälliköiden kanssa käymieni keskustelujen perusteella uskon onnistuneeni tarkastuslistan toteutuksessa hyvin. Varmasti tarkastuslistan kehittäminen jatkuu tulevaisuudessa käytön aikana eteen tulleiden tarpeiden mukaan, mutta listan runko sisältää nyt oleelliset asiat, jotka näimme toimeksiantajan kanssa tarpeelliseksi sisällyttää tarkastuslistaan.

Rakenteiden mitoituksessa onnistuin käymään läpi ennalta sovitut tarkastelukohteet sekä opin itse uusia asioita rakenteiden jäykistyksestä. Itselleni arvokkaan lisänä olisin nähnyt liitosten mitoitustarkastelut, mutta aiheen nykyisenkin laajuuden takia jouduin jättämään asian käsittelyn pois työstäni.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli mielestäni hieman liian laaja, jotta olisi voinut keskittyä tekemään jotain tiettyä asiaa yksityiskohtaisemmin. Toisaalta, koska kyseessä oli koko rakennushankkeen suunnitteluvaiheiden läpikäynti sekä yleisten rakennosien mitoitus, vastasi tämä alkuperäistä tavoitetta olla kiinnittämättä liikaa huomioita tarkempiin yksityiskohtiin.

Rakenteiden mitoitustaskelmien dokumentoinnin osalta tehtiin kansilehti ja rakennelaskelmaluettelo. Näiden yhteyteen liitetään rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet-asiakirjan mukaan tehty kohteen lähtötietolomake sekä rakennelaskelmat. Rakennelaskelmien dokumentointiin tulee jatkossa kiinnittää enemmän huomiota sekä luoda yritykselle selkeät tavat tehdä dokumentointi kaikista kohteista tietyn mallin mukaan.

## 7.2. Tarkastuslistan jatkokehittäminen

Opinnäytetyön tuloksena saadun rakennesuunnittelun tarkastuslistan kehittämisessä on paljonkin mahdollisuuksia. Tarkastuslistan käyttö on nykymuodossaan suunnattu ainoastaan asuinkerrostaloille ja runkona toimivat urakatoteutuksen suunnittelu- vaiheet. Tarkastuslistan käyttökohteiksi olisi mahdollista laajentaa erilaiset suurem- mat teollisuus- ja liikerakennukset sekä tarkastuslistoja voisi tehdä eri toteutusmuo- doille, joissa suunnitteluvaiheet poikkeaa urakatoteutuksesta.

Tarkastuslistan kehittäminen korjausrakentamiskohteille vaatisi tarkastuslistan ra- kenteen tarkastelua uudelleen. Korjausrakentamisessa on omat erityispiirteensä sekä tehtävät, jotka poikkeavat uudisrakentamisesta paljonkin. Esimerkiksi rakenteiden mitoitus tapahtuisi täysin eri suunnasta. Alkuvaiheessa tarvitsisi tarkastella nykyisten rakenteiden yksityiskohtaisia kapasiteetteja sekä tehdä alustavia tutkimuksia. Yleises- ti rakennesuunnittelija liitetään hankkeen suunnitteluun jo aikaisemmassa vaiheessa kun uudisrakennuskohteessa, jolloin tarkastuslistaan täytyisi lisätä mukaan tarve- ja hankesuunnitteluvaiheet. Kuitenkaan täysin yleispätevää tarkastuslistaa ei korjausra- kennuskohteisiin olisi mahdollista tehdä, koska kohteet vaihtelevat niin paljon eri rakennustyypeittäin ja aikakausittain.

## 7.3. Opittuja asioita

Työtä aloittaessani ei minulla ollut laajempaa käsitystä rakennesuunnittelun vaihei- den työtehtävistä. Toki yleiskuva pienen työkokemuksen kautta oli, mutta varsinkin hankkeen alkuvaiheet ehdotus- ja yleissuunnittelun tehtäväkuvaukset eivät olleet selvillä tarkemmin. Yleisesti hankkeen projektipäällikkö tekee suunnittelun alkuvai- heessa olevat suuret rakenteelliset päätökset, joihin nykyisellä työkokemuksellani ei ole vielä riittävää ammattitaitoa. Opinnäytetyötä tehdessäni ja lähteisiin tutustues- sani sain selkeän käsityksen rakennesuunnittelun etenemisestä hankkeen aikana.

Esimerkkikohteeseen tekemissäni rakenteiden mitoitus- ja tarkasteluissa suurimmat puutteet omassa tiedossani oli jäykistykseen mitoituksessa sekä joitakin asioita pilarin

ja seinän mitoituksessa. Opintojen aikana opetukseen ei ole sisältynyt tarkempia tarkasteluja rakenteiden jäykistyksen mitoituksesta, joten tarkastelin kyseisiä asioita työssäni tarkoituksella tarkemmin, jotta saisin mahdollisimman suuren hyödyn työn tekemisestä itselleni. Tarkasteltuani jäykistyksen teoriaa sekä mitoitusta hahmotin kuormien jakautumisperusteet sekä kuormien siirtymisen perustuksille.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyön tekeminen oli erittäin opettavainen kokemus, josta uskon olevan hyötyä tulevissa työtehtävissä rakennesuunnittelijana.

## Lähteet

A506/2011. 2011. Sisäasiainministeriön asetus väestönsuojien teknisistä vaatimuksista ja väestönsuojien laitteiden kunnossapidosta. Sisäasiainministeriö.

Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, osa 5. Pilarit. 2009. Rakennustuoteteollisuus RTT ry, betoniteollisuus –jaosto.

BY202. 1983. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, osa 3. Suomen betoniyhdistys r.y.

BY211. 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja-osa 1. SUOMEN BETONIYHDISTYS r.y.

Flyktman, P. 2014. Projektipäällikkö. KPM Engineering Oy / Finmacon KS. Opinnäytetyöpalaveri. Jyväskylä 31.3.2014.

Heino, V. 2002. Rakennuksen rungon suunnittelu. AA-vaativuusluokan betonirakenteiden suunnittelu, Kurssimateriaali osa 13. RIL-RKL-BY

Hietanen, T. 2009. Betoniteräkset-A500HW:lle vaihtokelpoinen hitsattava teräslaatu B500B. Tiedote. Betonikeskus ry.

Jäykistysjärjestelmät. 15.2 2010. Verkkosivut. Elementtisuunnittelu. Luettu 13.3.2014. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>

Jääskeläinen, R. 2009. Geotekniikan perusteet. Tammertekniikka.

Kukka, O. 2014. Rakennesuunnittelun lähtötiedot eurokoodijärjestelmässä-lähtötietotaulukko. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Miinalainen, T. 2014. Projektipäällikkö. KPM Engineering Oy / Finmacon KS. Opinnäytetyöpalaveri. Jyväskylä 31.3.2014.

RIL 125. 1986. Teräsbetonirakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 201-1-2008. 2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 229-1-2013. 2013. Rakennesuunnittelun asiakirjaohje, tekstiosa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 10-10387. 1989. Talonrakennushankkeen kulku. RT-ohjetiedosto. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 10–10577. 1995. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK95. RT-ohjetiedosto. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 10–11128. 2012. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12. RT-ohjetiedosto. Rakennustietosäätiö RTS.

RT SM-21508. 2011. Valtioneuvoston asetus väestönsuojista. Suomen säädöskoelma. Rakennustietosäätiö RTS.

RUNKO-BES. 1983. Teräsbetonipilarin suunnitteluohje. Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö.

SFS-EN 1990 A1+ AC. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 26.6.2006.

SFS-EN 1991-1-1. 2002. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.10.2002.

SFS-EN 1992-1-1. 2005. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 25.6.2005.

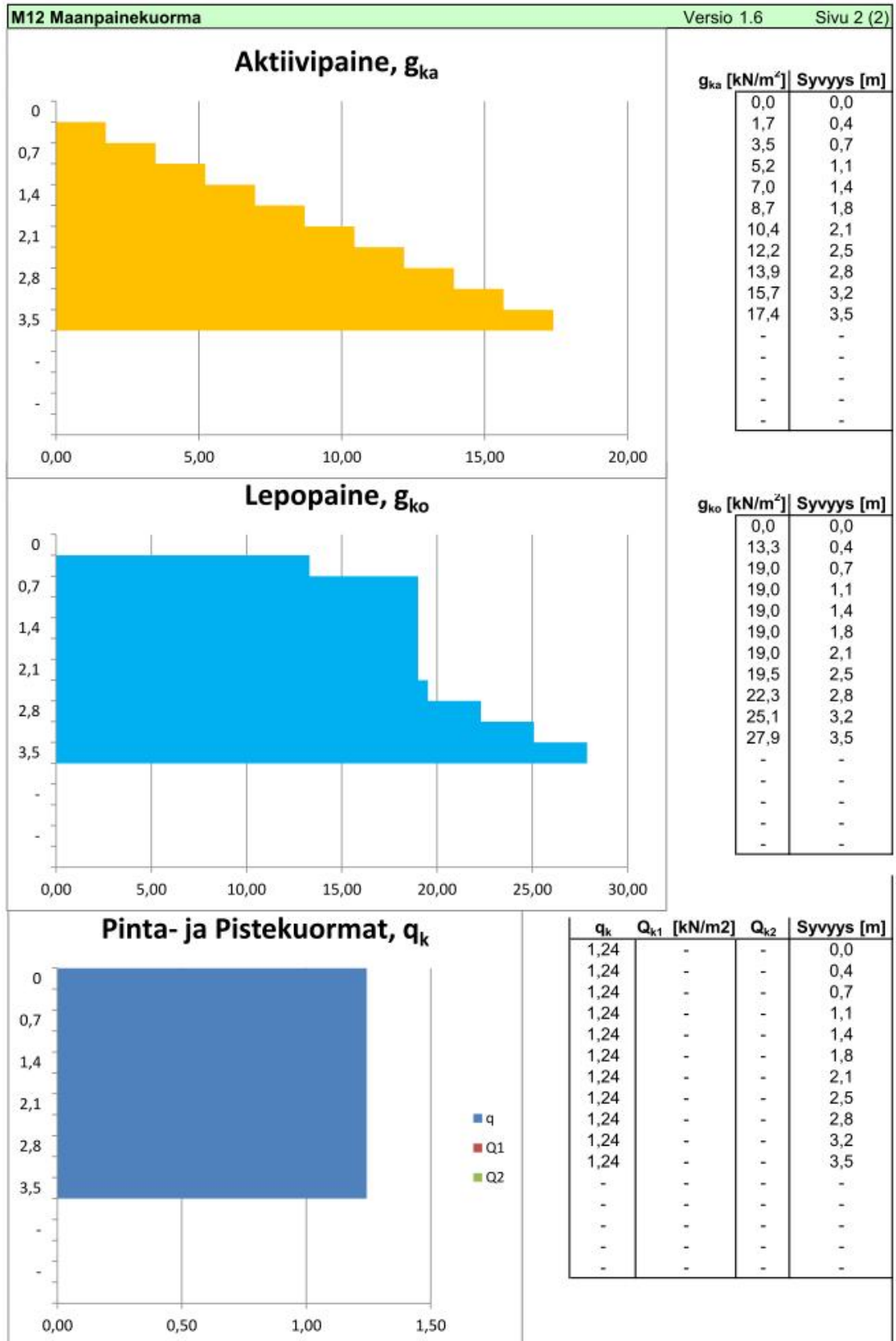
Sääskilahti, M. 2014. Toimistopäällikkö. KPM Engineering Oy. Opinnäytetyön ohjauskeskustelu. Jyväskylä 12.3.2014.

Sweco-Suomessa. 22.4.2014. Yritystietoa. Verkkosivut. Luettu 24.4.2014.  
<http://www.sweco.fi/fi/Finland/Sweco-Suomessa/>

## Liitteet

## Liite 1: Maanpaineen määrittäminen rakennuksen koillisnurkassa

Rakennelaskelma, tulos	
Tekijä: Manu Ahokas	Sivu: 1 (2)
Päiväys: 26.3.2014	
Sisältö: Maanpaine	Sijainti:
M12 Maanpainekuorma	
Versio 1.6	
SKOL Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011	
<b>Rakenneosan mitat:</b>	<b>Ulkoiset ominaiskuormat:</b>
Täytemaakerroksia: 1 kpl	Pintakuorma $q = 5$ kN/m <sup>2</sup>
Seinän kokonaiskorkeus $H_{\text{tot}} = 3,5$ m	Pistekuorma $Q_1 = 0$ kN/m
Täytemaan 1 korkeus $H_1 = 3,5$ m	Etäisyys $A_1 = 0$ m
Täytemaan 2 korkeus $H_2 = 0$ m	Leveys $L_1 = 0,5$ m
Etupuolen täytön korkeus $H_3 = 0$ m	
Täytemaan luiska $\beta = 0^\circ$	
	(Ei käytetä)
<b>Maaparametrit:</b>	
<b>Täytemaakerrokset</b>	
Sora, Keskitiivis	
Tilavuuspaino $\gamma_1 = 20$ kN/m <sup>3</sup>	
Kitkakulma $\phi_1 = 37^\circ$	
	(Ei käytetä)
Tilavuuspaino $\gamma_2 = -$ kN/m <sup>3</sup>	
Kitkakulma $\phi_2 = -$ kN/m <sup>3</sup>	
	(Ei käytetä)
<b>Etupuolen täytemaa</b>	
Ei täytemaata	
Tilavuuspaino $\gamma_3 = -$ kN/m <sup>3</sup>	
Kitkakulma $\phi_3 = -$ kN/m <sup>3</sup>	
Passiivipaineesta huomioitava osuus	
<b>Yksi täytemaakerros</b>	<b>Kaksi täytemaakerrosta</b>
Aktiivinen maanpainekerroin $K_{a1} = 0,249$	
Aktiivinen maanpainekerroin $K_{a2} = -$	
Passiivinen maanpainekerroin $K_p = 1,000$	
Lepopaine maanpainekerroin $K_0 = 0,398$	
	Max. passiivipaine $g_{kp} = 0,00$ kN/m



## Liite 2: Tuulikuorma vyöhykkeittäin rakennuksen pitkälle sivulle (y-suunta)

Rakennelaskelma																																			
Tekijä:	Manu Ahok	Sivu:	1(1)																																
Päiväys:	31.3.-14																																		
Sisältö:	Sijainti:																																		
Tuulenpaineen ominaisarvot vyöhykkeittäin			0																																
Tuuli rakennuksen pitkälle sivulle, ei sis. Pain			0																																
M10 Tuulikuorma Eurocode EN1991-1-4:n mukaan			Versio 1.5																																
SKOL Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011																																			
<table border="0"> <tr> <td>Maastoluokka =</td> <td>3</td> <td>Rakennuksen mitat:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tuulen nopeuden perusarvo =</td> <td>21</td> <td>h =</td> <td>17,1 m</td> </tr> <tr> <td>Maaston kaltevuus <math>\Phi</math> =</td> <td>0</td> <td>d =</td> <td>15,6 m</td> </tr> <tr> <td>Sijaintikerroin S =</td> <td>1</td> <td>b =</td> <td>52,0 m</td> </tr> <tr> <td>Ilman tiheys <math>\rho</math> =</td> <td>1,25 kg/m<sup>3</sup></td> <td>Sisäisen paineen kertoimet:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Korkeus maanpinnasta z =</td> <td>17,1 m</td> <td>Ylipaine C<sub>pi</sub> =</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Alipaine C<sub>pi</sub> =</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Pinta-ala A =</td> <td>10 m<sup>2</sup></td> </tr> </table>				Maastoluokka =	3	Rakennuksen mitat:		Tuulen nopeuden perusarvo =	21	h =	17,1 m	Maaston kaltevuus $\Phi$ =	0	d =	15,6 m	Sijaintikerroin S =	1	b =	52,0 m	Ilman tiheys $\rho$ =	1,25 kg/m <sup>3</sup>	Sisäisen paineen kertoimet:		Korkeus maanpinnasta z =	17,1 m	Ylipaine C <sub>pi</sub> =	0,00			Alipaine C <sub>pi</sub> =	0,00			Pinta-ala A =	10 m <sup>2</sup>
Maastoluokka =	3	Rakennuksen mitat:																																	
Tuulen nopeuden perusarvo =	21	h =	17,1 m																																
Maaston kaltevuus $\Phi$ =	0	d =	15,6 m																																
Sijaintikerroin S =	1	b =	52,0 m																																
Ilman tiheys $\rho$ =	1,25 kg/m <sup>3</sup>	Sisäisen paineen kertoimet:																																	
Korkeus maanpinnasta z =	17,1 m	Ylipaine C <sub>pi</sub> =	0,00																																
		Alipaine C <sub>pi</sub> =	0,00																																
		Pinta-ala A =	10 m <sup>2</sup>																																
<p>Puuskanopeuspaine:</p> <p><math>q_p(z) = 570,9 \text{ N/m}^2</math></p> <p><math>q_p(h) = 570,9 \text{ N/m}^2</math></p>																																			
<p>Kuormat seinässä:</p> <p>Seinässä D suunta on sisäänpäin, muissa ulospäin.</p>																																			
<table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A:</td> <td>685,1 N/m<sup>2</sup></td> <td>6,84 m</td> </tr> <tr> <td>B:</td> <td>456,7 N/m<sup>2</sup></td> <td>8,71 m</td> </tr> <tr> <td>C:</td> <td>285,5 N/m<sup>2</sup></td> <td>0 m</td> </tr> <tr> <td>D:</td> <td>456,7 N/m<sup>2</sup></td> <td>52,0 m</td> </tr> <tr> <td>E:</td> <td>288,3 N/m<sup>2</sup></td> <td>52,0 m</td> </tr> </tbody> </table>					Kuorma	Leveys	A:	685,1 N/m <sup>2</sup>	6,84 m	B:	456,7 N/m <sup>2</sup>	8,71 m	C:	285,5 N/m <sup>2</sup>	0 m	D:	456,7 N/m <sup>2</sup>	52,0 m	E:	288,3 N/m <sup>2</sup>	52,0 m														
	Kuorma	Leveys																																	
A:	685,1 N/m <sup>2</sup>	6,84 m																																	
B:	456,7 N/m <sup>2</sup>	8,71 m																																	
C:	285,5 N/m <sup>2</sup>	0 m																																	
D:	456,7 N/m <sup>2</sup>	52,0 m																																	
E:	288,3 N/m <sup>2</sup>	52,0 m																																	
<p>Kuormat tasakatolla:</p> <p>Positiivinen suunta on ylöspäin.</p>																																			
<table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F:</td> <td>1027,6 N/m<sup>2</sup></td> <td>3,42 m</td> </tr> <tr> <td>G:</td> <td>685,1 N/m<sup>2</sup></td> <td>3,42 m</td> </tr> <tr> <td>H:</td> <td>399,6 N/m<sup>2</sup></td> <td>12,13 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>114,2 N/m<sup>2</sup></td> <td>0 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>-114,2 N/m<sup>2</sup></td> <td>0 m</td> </tr> </tbody> </table>					Kuorma	Leveys	F:	1027,6 N/m <sup>2</sup>	3,42 m	G:	685,1 N/m <sup>2</sup>	3,42 m	H:	399,6 N/m <sup>2</sup>	12,13 m	I:	114,2 N/m <sup>2</sup>	0 m	I:	-114,2 N/m <sup>2</sup>	0 m														
	Kuorma	Leveys																																	
F:	1027,6 N/m <sup>2</sup>	3,42 m																																	
G:	685,1 N/m <sup>2</sup>	3,42 m																																	
H:	399,6 N/m <sup>2</sup>	12,13 m																																	
I:	114,2 N/m <sup>2</sup>	0 m																																	
I:	-114,2 N/m <sup>2</sup>	0 m																																	



## Liite 3: Tuulikuorma vyöhykkeittäin rakennuksen pätyyn (x-suunta)

Rakennelaskelma																																			
Tekijä: Manu Ahokas		Sivu: 1(1)																																	
Päiväys: 31.3.-14																																			
Sisältö:		Sijainti:																																	
Tuulenpaineen ominaisarvot vyöhykkeittäin		0																																	
Tuuli rakennuksen pätyyn, sis. Paineita ei hu		0																																	
M10 Tuulikuorma Eurocode EN1991-1-4:n mukaan		Versio 1.5																																	
SKOL Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011																																			
<table border="0"> <tr> <td>Maastoluokka =</td> <td>3</td> <td>Rakennuksen mitat:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tuulen nopeuden perusarvo =</td> <td>21</td> <td>h =</td> <td>17,1 m</td> </tr> <tr> <td>Maaston kaltevuus <math>\Phi</math> =</td> <td>0</td> <td>d =</td> <td>52,0 m</td> </tr> <tr> <td>Sijaintikerroin S =</td> <td>1</td> <td>b =</td> <td>15,6 m</td> </tr> <tr> <td>Ilman tiheys <math>\rho</math> =</td> <td>1,25 kg/m<sup>3</sup></td> <td>Sisäisen paineen kertoimet:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Korkeus maanpinnasta z =</td> <td>17,1 m</td> <td>Ylipaine C<sub>pi</sub> =</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Alipaine C<sub>pi</sub> =</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Pinta-ala A =</td> <td>10 m<sup>2</sup></td> </tr> </table>				Maastoluokka =	3	Rakennuksen mitat:		Tuulen nopeuden perusarvo =	21	h =	17,1 m	Maaston kaltevuus $\Phi$ =	0	d =	52,0 m	Sijaintikerroin S =	1	b =	15,6 m	Ilman tiheys $\rho$ =	1,25 kg/m <sup>3</sup>	Sisäisen paineen kertoimet:		Korkeus maanpinnasta z =	17,1 m	Ylipaine C <sub>pi</sub> =	0,00			Alipaine C <sub>pi</sub> =	0,00			Pinta-ala A =	10 m <sup>2</sup>
Maastoluokka =	3	Rakennuksen mitat:																																	
Tuulen nopeuden perusarvo =	21	h =	17,1 m																																
Maaston kaltevuus $\Phi$ =	0	d =	52,0 m																																
Sijaintikerroin S =	1	b =	15,6 m																																
Ilman tiheys $\rho$ =	1,25 kg/m <sup>3</sup>	Sisäisen paineen kertoimet:																																	
Korkeus maanpinnasta z =	17,1 m	Ylipaine C <sub>pi</sub> =	0,00																																
		Alipaine C <sub>pi</sub> =	0,00																																
		Pinta-ala A =	10 m <sup>2</sup>																																
<p>Puuskanopeuspaine:</p> <p><math>q_p(z) = 570,9 \text{ N/m}^2</math></p> <p><math>q_p(h) = 570,9 \text{ N/m}^2</math></p>																																			
<p>Kuormat seinässä:</p> <p>Seinässä D suunta on sisäänpäin, muissa ulospäin.</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A:</td> <td>685,1 N/m<sup>2</sup></td> <td>3,11 m</td> </tr> <tr> <td>B:</td> <td>456,7 N/m<sup>2</sup></td> <td>12,44 m</td> </tr> <tr> <td>C:</td> <td>285,5 N/m<sup>2</sup></td> <td>36,45 m</td> </tr> <tr> <td>D:</td> <td>405,6 N/m<sup>2</sup></td> <td>15,6 m</td> </tr> <tr> <td>E:</td> <td>183,3 N/m<sup>2</sup></td> <td>15,6 m</td> </tr> </tbody> </table>					Kuorma	Leveys	A:	685,1 N/m <sup>2</sup>	3,11 m	B:	456,7 N/m <sup>2</sup>	12,44 m	C:	285,5 N/m <sup>2</sup>	36,45 m	D:	405,6 N/m <sup>2</sup>	15,6 m	E:	183,3 N/m <sup>2</sup>	15,6 m														
	Kuorma	Leveys																																	
A:	685,1 N/m <sup>2</sup>	3,11 m																																	
B:	456,7 N/m <sup>2</sup>	12,44 m																																	
C:	285,5 N/m <sup>2</sup>	36,45 m																																	
D:	405,6 N/m <sup>2</sup>	15,6 m																																	
E:	183,3 N/m <sup>2</sup>	15,6 m																																	
<p>Kuormat tasakatolla:</p> <p>Positiivinen suunta on ylöspäin.</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>Kuorma</th> <th>Leveys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F:</td> <td>1027,6 N/m<sup>2</sup></td> <td>1,555 m</td> </tr> <tr> <td>G:</td> <td>685,1 N/m<sup>2</sup></td> <td>1,555 m</td> </tr> <tr> <td>H:</td> <td>399,6 N/m<sup>2</sup></td> <td>6,22 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>114,2 N/m<sup>2</sup></td> <td>44,225 m</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>-114,2 N/m<sup>2</sup></td> <td>44,225 m</td> </tr> </tbody> </table>					Kuorma	Leveys	F:	1027,6 N/m <sup>2</sup>	1,555 m	G:	685,1 N/m <sup>2</sup>	1,555 m	H:	399,6 N/m <sup>2</sup>	6,22 m	I:	114,2 N/m <sup>2</sup>	44,225 m	I:	-114,2 N/m <sup>2</sup>	44,225 m														
	Kuorma	Leveys																																	
F:	1027,6 N/m <sup>2</sup>	1,555 m																																	
G:	685,1 N/m <sup>2</sup>	1,555 m																																	
H:	399,6 N/m <sup>2</sup>	6,22 m																																	
I:	114,2 N/m <sup>2</sup>	44,225 m																																	
I:	-114,2 N/m <sup>2</sup>	44,225 m																																	

## Liite 4 Tuulen nopeuspaineaavio

Rakennelaskelma, lähtötiedot			
Tekijä: Manu Ahokas		Sivu: 1 (1)	
Päiväys: 31.3.-14			
Sisältö:		Sijainti:	
Tuulen nopeuspaineaavio			

**Tuulen nopeuspaine (=tuulikuorma): RIL 201-1-2008, luku 4.5 ja liite A**

Tuulen nopeuspaineen  $q_{p0,k}$  [kN/m<sup>2</sup>] ominaisarvo ilman maaston paikallisen pinnanmuodon vaikutusta

Maastoluokka III (Esikaupunkialueet, kylät, metsät)

Koskeus  $z = 17,1$  m

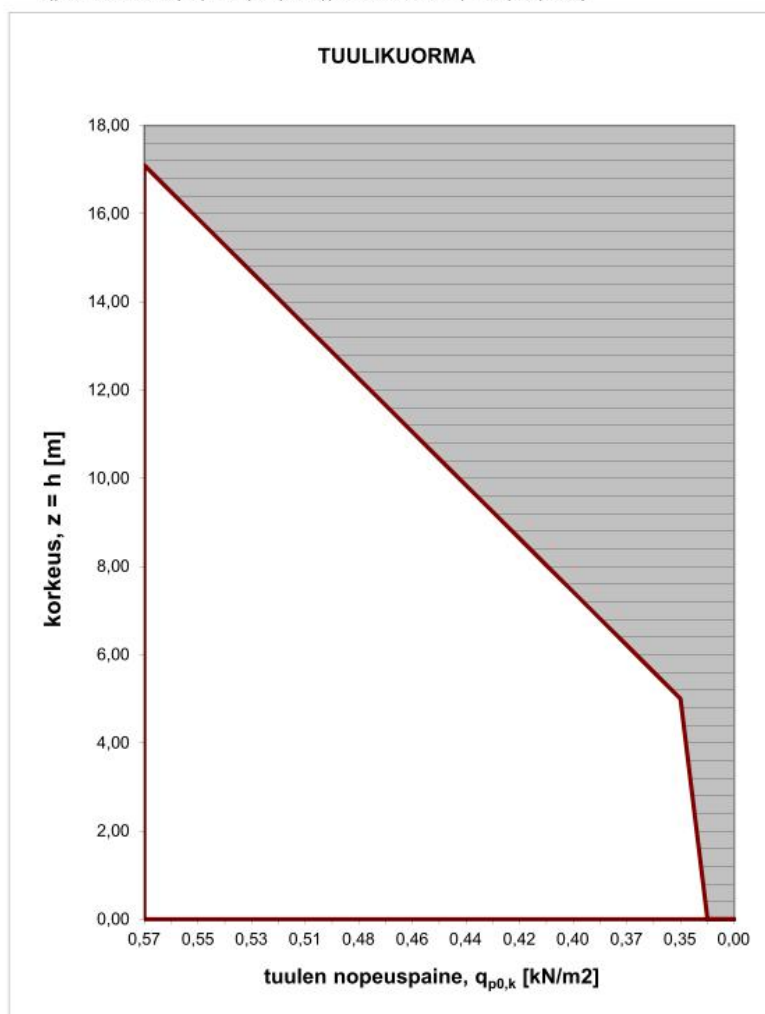
$z_{min} = 5$  m /  $z_{max} = 200$  m

$q(17,1 \text{ m}) = 0,571$  kN/m<sup>2</sup>

$q_{p0} = 0,01279 \cdot (\ln(\max(5, z)/0,3))^2 + 0,0895 \cdot \ln(\max(5, z)/0,3)$

$q(0-5 \text{ m}) = 0,353$  kN/m<sup>2</sup>

$z$ (m)	$q$ (kN/m <sup>2</sup> )
17,10	0,57
16,50	0,56
15,89	0,55
15,29	0,54
14,68	0,53
14,08	0,52
13,47	0,51
12,87	0,49
12,26	0,48
11,66	0,47
11,05	0,46
10,45	0,45
9,84	0,44
9,24	0,43
8,63	0,42
8,03	0,41
7,42	0,40
6,82	0,39
6,21	0,37
5,61	0,36
5,00	0,35
0,00	0,35
0,00	0,00



## Liite 5 Jäykistyskuormat käyttörajatilassa

Jäykistyskuormat käyttörajatilassa

	alkup.		loppup.			summa	L														
seinä	x1	y1	x2	y2				Ai	li	kix	kij	xi'	yi'	kixyi'	kixyi'	xi	yi	kix(yi')^2	kij(yi')^2		
1	2,91	10,08	10,38	10,08	x	7,47	1,49	6,95	118,66	0,00	6,645	10,1	1195,54	0,00	-18,45	0,336	13,38	0			
2	11,83	10,08	13,71	10,08	x	1,88	0,38	0,11	2,13	0,00	12,768	10,1	21,51	0,00	-12,33	0,336	0,24	0			
3	20,21	10,08	26,61	10,08	x	6,40	1,28	4,36	77,11	0,00	23,408	10,1	776,90	0,00	-1,69	0,336	8,69	0			
4	27,52	10,08	32,71	10,08	x	5,20	1,04	2,34	42,76	0,00	30,113	10,1	430,85	0,00	5,02	0,336	4,82	0			
5	8,61	8,08	11,53	8,08	x	2,92	0,58	0,41	7,96	0,00	10,07	8,08	64,26	0,00	-15,02	-1,664	22,04	0			
6	14,13	8,08	16,09	8,08	x	1,96	0,39	0,12	2,43	0,00	15,109	8,08	19,58	0,00	-9,99	-1,664	6,72	0			
7	18,70	8,08	21,61	8,08	x	2,91	0,58	0,41	7,88	0,00	20,155	8,08	63,62	0,00	-4,94	-1,664	21,82	0			
8	23,71	8,08	25,66	8,08	x	1,95	0,39	0,12	2,40	0,00	24,685	8,08	19,41	0,00	-0,41	-1,664	6,66	0			
9	29,51	8,08	32,42	8,08	x	2,91	0,58	0,41	7,88	0,00	30,965	8,08	63,62	0,00	5,87	-1,664	21,82	0			
10	35,03	8,08	38,51	8,08	x	3,48	0,70	0,70	13,38	0,00	36,772	8,08	108,05	0,00	11,68	-1,664	37,06	0			
11	39,52	8,08	42,81	8,08	x	3,29	0,66	0,59	11,29	0,00	41,167	8,08	91,13	0,00	16,07	-1,664	31,26	0			
12	16,61	11,79	18,41	11,79	x	1,80	0,36	0,10	1,89	0,00	17,51	11,8	22,28	0,00	-7,58	2,046	7,91	0			
13	32,71	11,79	34,51	11,79	x	1,80	0,36	0,10	1,89	0,00	33,61	11,8	22,28	0,00	8,52	2,046	7,91	0			
14	8,71	0,48	8,71	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	8,71	4,23	0,00	1044,98	-16,38	-5,514	0,00	32206,713			
15	15,11	0,48	15,11	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	15,11	4,23	0,00	1812,81	-9,98	-5,514	0,00	11959,89			
16	21,51	0,48	21,51	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	21,51	4,23	0,00	2580,65	-3,58	-5,514	0,00	1541,3695			
17	25,56	0,48	25,56	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	25,56	4,23	0,00	3066,55	0,47	-5,514	0,00	26,015241			
18	29,61	0,48	29,61	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	29,61	4,23	0,00	3552,44	4,52	-5,514	0,00	2446,4208			
19	35,81	0,48	35,81	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	35,81	4,23	0,00	4296,28	10,72	-5,514	0,00	13776,105			
20	42,71	0,48	42,71	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	42,71	4,23	0,00	5124,11	17,62	-5,514	0,00	37229,433			
21	13,58	10,18	13,58	14,18	y	4,00	0,80	1,07	0,00	20,07	13,58	12,2	0,00	272,52	-11,51	2,436	0,00	2660,5947			
22	16,51	9,79	16,51	14,18	y	4,39	0,88	1,41	0,00	26,31	16,51	12	0,00	434,36	-8,58	2,241	0,00	1938,7457			
23	25,56	10,18	25,56	14,18	y	4,00	0,80	1,07	0,00	20,07	25,56	12,2	0,00	512,93	0,47	2,436	0,00	4,35151			
24	32,81	9,79	32,81	11,79	y	2,00	0,40	0,13	0,00	2,59	32,81	10,8	0,00	84,90	7,72	1,046	0,00	154,04522			
25	34,61	9,79	34,61	12,18	y	2,40	0,48	0,23	0,00	4,42	34,61	11	0,00	153,09	9,52	1,243	0,00	400,52401			
26	18,31	9,79	18,31	11,79	y	2,00	0,40	0,13	0,00	2,59	18,31	10,8	0,00	47,38	-6,78	1,046	0,00	119,10146			
										298	915,86			2899	22983					190,33	1044663,31

t	0,2	m
E	31000	MN/m <sup>2</sup>
seinän kork.	16.8	m

### Kuormaresultantit

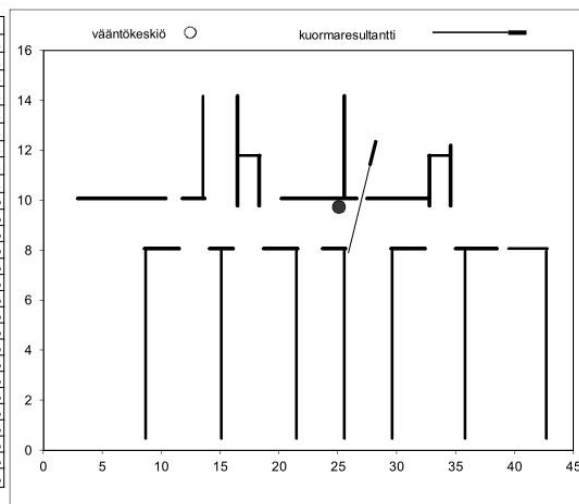
<b>F<sub>x</sub></b>	358,7	kN
<b>y-koord.</b>	7,915	m

Fy	680,4	kN
x-koord.	25.88	m

Vääntökeskiö	
X=	25,09 m
Y=	9,74 m

M	1188,9	kNm
vy	7,4E-04	m
vx	1,2E-03	m
θ	1,1E-05	rad

	Qx (kN)	Qy (kN)	x%	y%
1	142.5	0.0	40 %	0 %
2	2.6	0.0	1 %	0 %
3	92.6	0.0	26 %	0 %
4	51.4	0.0	14 %	0 %
5	9.7	0.0	3 %	0 %
6	3.0	0.0	1 %	0 %
7	9.6	0.0	3 %	0 %
8	2.9	0.0	1 %	0 %
9	9.6	0.0	3 %	0 %
10	16.4	0.0	5 %	0 %
11	13.8	0.0	4 %	0 %
12	2.2	0.0	1 %	0 %
13	2.2	0.0	1 %	0 %
14	0.0	66.8	0 %	10 %
15	0.0	75.5	0 %	11 %
16	0.0	84.2	0 %	12 %
17	0.0	89.8	0 %	13 %
18	0.0	95.3	0 %	14 %
19	0.0	103.7	0 %	15 %
20	0.0	113.1	0 %	17 %
21	0.0	12.3	0 %	2 %
22	0.0	17.0	0 %	2 %
23	0.0	15.0	0 %	2 %
24	0.0	2.1	0 %	0 %
25	0.0	3.8	0 %	1 %
26	0.0	1.7	0 %	0 %
<b>Σ</b>	<b>358.7</b>	<b>680.4</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>



Jäykistyskuormat käyttöraja-tilassa

[illegible]

Seinien momentit Y-suuntaan			seinä nro 7 / osuus Y-suunnan kuormituksesta																											
Kerros	kerros	Hiot	Fk/krs	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
	korkeus	m	kN	Mk	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	17%	2%	2%	2%	0%	1%	0%			
5	3,8	15,8	171,9	2716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	267	301	326	358	380	414	452	49	68	2	0	9	15	7		
4	3	12	156,2	1874	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	184	208	232	247	262	286	312	34	47	41	6	10	5	0		
3	9	146,1	1315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	129	146	163	173	184	200	219	24	33	29	4	7	3	0		
2	3	6	135,9	815	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	91	101	108	114	124	136	15	20	18	3	5	2	0		
1	3	125,7	377	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	42	47	50	53	57	63	7	9	8	1	2	1	0		
AP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		yht	735,8	7098	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	430	486	543	578	614	668	729	79	109	97	14	24	11	0		

4382 = seinien kerros vääntö

## Liite 6 Jäykistyskuormat murtorajatilassa

#### Jäykistyskuormat murtorajatilassa

	sno:pr:		sop:pr:			suma	L											
seina	x1	y1	x2	y2				Ai	li	kix	xi'	yi'	kixyi'	kixyi'	xi	yi	kix(yi)^2	kix(xi)^2
1	2,91	10,08	10,38	10,08	x	7,47	1,49	6,95	118,66	0,00	6,645	10,1	1195,54	0,00	-18,45	0,336	13,38	0
2	11,83	10,08	13,71	10,08	x	1,88	0,38	0,11	2,13	0,00	12,768	10,1	21,51	0,00	-12,33	0,336	0,24	0
3	20,21	10,08	26,61	10,08	x	6,40	1,28	4,36	77,11	0,00	23,408	10,1	776,90	0,00	-1,69	0,336	8,69	0
4	27,52	10,08	32,71	10,08	x	5,20	1,04	2,34	42,76	0,00	30,113	10,1	430,85	0,00	5,02	0,336	4,82	0
5	8,61	8,08	11,53	8,08	x	2,92	0,58	0,41	7,96	0,00	10,077	8,08	64,26	0,00	-15,02	-1,664	22,04	0
6	14,13	8,08	16,09	8,08	x	1,96	0,39	0,12	2,43	0,00	15,109	8,08	19,58	0,00	-9,99	-1,664	6,72	0
7	18,70	8,08	21,61	8,08	x	2,91	0,58	0,41	7,88	0,00	20,155	8,08	63,62	0,00	-4,94	-1,664	21,82	0
8	23,71	8,08	25,66	8,08	x	1,95	0,39	0,12	2,40	0,00	24,685	8,08	19,41	0,00	-0,41	-1,664	6,66	0
9	29,51	8,08	32,42	8,08	x	2,91	0,58	0,41	7,88	0,00	30,965	8,08	63,62	0,00	5,87	-1,664	21,82	0
10	35,03	8,08	38,51	8,08	x	3,48	0,70	0,70	13,38	0,00	36,772	8,08	108,05	0,00	11,68	-1,664	37,06	0
11	39,52	8,08	42,81	8,08	x	3,29	0,66	0,59	11,29	0,00	41,167	8,08	91,13	0,00	16,07	-1,664	31,26	0
12	16,61	11,79	18,41	11,79	x	1,80	0,36	0,10	1,89	0,00	17,51	11,8	22,28	0,00	-7,58	2,046	7,91	0
13	32,71	11,79	34,51	11,79	x	1,80	0,36	0,10	1,89	0,00	33,61	11,8	22,28	0,00	8,52	2,046	7,91	0
14	8,71	0,48	8,71	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	8,71	4,23	0,00	1044,98	-16,38	-5,514	0,00	32206,713
15	15,11	0,48	15,11	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	15,11	4,23	0,00	1812,81	-9,98	-5,514	0,00	19759,89
16	21,51	0,48	21,51	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	21,51	4,23	0,00	2580,65	-3,58	-5,514	0,00	1541,3695
17	25,56	0,48	25,56	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	25,56	4,23	0,00	3066,55	0,47	-5,514	0,00	26,015241
18	29,61	0,48	29,61	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	29,61	4,23	0,00	3552,44	4,52	-5,514	0,00	2446,4208
19	35,81	0,48	35,81	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	35,81	4,23	0,00	4296,28	10,72	-5,514	0,00	13776,105
20	42,71	0,48	42,71	7,98	y	7,50	1,50	7,03	0,00	119,97	42,71	4,23	0,00	5124,11	17,62	-5,514	0,00	37229,433
21	13,58	10,18	13,58	14,18	y	4,00	0,80	1,07	0,00	26,07	13,58	12,2	0,00	272,52	-11,51	2,436	0,00	2660,5947
22	16,51	9,79	16,51	14,18	y	4,39	0,88	1,41	0,00	26,31	16,51	12	0,00	434,36	-8,58	2,241	0,00	1938,7457
23	25,56	10,18	25,56	14,18	y	4,00	0,80	1,07	0,00	26,07	25,56	12,2	0,00	512,93	0,47	2,436	0,00	4,35151
24	32,81	9,79	32,81	11,79	y	2,00	0,40	0,13	0,00	2,59	32,81	10,8	0,00	153,90	7,72	1,046	0,00	154,04522
25	34,61	9,79	34,61	12,18	y	2,40	0,48	0,23	0,00	4,42	34,61	11	0,00	84,09	9,52	1,243	0,00	400,52401
26	18,31	9,79	18,31	11,79	y	2,00	0,40	0,13	0,00	2,59	18,31	10,8	0,00	47,38	-6,78	1,046	0,00	119,10146
										298	915,86		2899	22983		190,33	104,663	

t	0,2	m
E	31000	MN/m <sup>2</sup>
seinän kork.	16,8	m

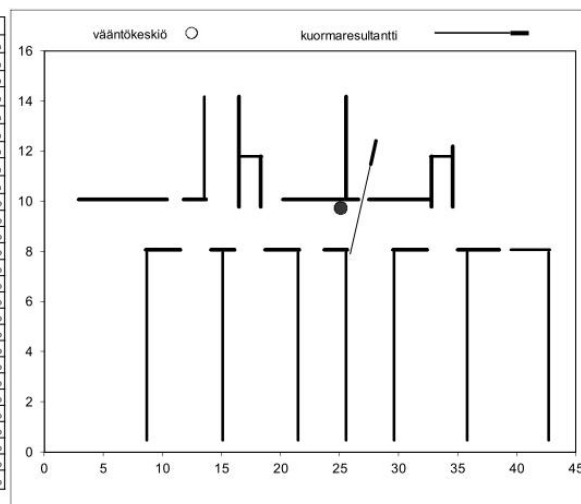
<b>Kuormaresultantit</b>		
<b>Fx</b>	464,4	kN
<b>y-koord.</b>	7,915	m

Fy	946,4	kN
x-koord.	25,88	m

Vääntökeskiö	
X=	25,09 m
Y=	9,74 m

M	1590,7	kNm
vy	1,0E-03	m
vx	1,6E-03	m
$\theta$	1,5E-05	rad

	<b>Qx (kN)</b>	<b>Qy (kN)</b>	<b>x%</b>	<b>y%</b>
1	184,5	0,0	40 %	0 %
2	3,3	0,0	1 %	0 %
3	119,9	0,0	26 %	0 %
4	66,5	0,0	14 %	0 %
5	12,6	0,0	3 %	0 %
6	3,8	0,0	1 %	0 %
7	12,5	0,0	3 %	0 %
8	3,8	0,0	1 %	0 %
9	12,5	0,0	3 %	0 %
10	21,2	0,0	5 %	0 %
11	17,9	0,0	4 %	0 %
12	2,9	0,0	1 %	0 %
13	2,9	0,0	1 %	0 %
14	0,0	94,1	0 %	10 %
15	0,0	105,8	0 %	11 %
16	0,0	117,4	0 %	12 %
17	0,0	124,8	0 %	13 %
18	0,0	132,2	0 %	14 %
19	0,0	143,5	0 %	15 %
20	0,0	156,1	0 %	16 %
21	0,0	17,2	0 %	2 %
22	0,0	23,8	0 %	3 %
23	0,0	20,9	0 %	2 %
24	0,0	3,0	0 %	0 %
25	0,0	5,2	0 %	1 %
26	0,0	2,4	0 %	0 %
<b>Σ</b>	<b>464,4</b>	<b>946,4</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>



Jäykistyskuormat murtorajatilassa

[illegible]

Seinien momentti Y-suuntaan			seinä hro / osuus Y-suunnan koormituksesta																														
Kerros	Kerros- korkeus	Hitot	Fiklors kN	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26																													
				0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %			
5	3,8	15,8	248,5	3926	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	3	12	207,1	2485	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	3	9	191,9	1727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	3	6	176,6	1060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	3	3	161,3	484	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		yht	985,4	9682	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				5756 = seinien mro. yhteensä																													

## Liite 7 Rakenteiden vaakakuormien määrittäminen käyttö- ja murtorajatilanteissa

### Tuulikuorma yhdelle kerrokselle

Kokonaiskorkeus 16,8 m  
Painekertoimien D ja E yhteisvaikutus y-suunnassa 1,30473

Kerros	Kerroskorkeus	Kuorman vaikutuskorkeus	Tuulikuorma	rak. leveys y-suun	rak. leveys x-suun	X-suunta	Y-suunta
5.	3,8	15,8	0,745	15,55	52	44,0	147,2
4.	3	12	0,652	15,55	52	30,4	101,8
3.	3	9	0,587	15,55	52	27,4	91,6
2.	3	6	0,522	15,55	52	24,3	81,4
1.	3	3	0,457	15,55	52	21,3	71,2

### Kokonaisvaakavoima yhdelle kerrokselle

Kerros	Qx	Qy	Hi	Fx	Fy
5.	44,0	147,2	24,7	68,7	171,9
4.	30,4	101,8	54,5	84,9	156,2
3.	27,4	91,6	54,5	81,9	146,1
2.	24,3	81,4	54,5	78,8	135,9
1.	21,3	71,2	54,5	75,8	125,7

### Tuulikuorman ja lisävaakavoiman yhteisvaikutus

#### Rakenteeseen vaikuttava tuulikuorma 1. ja 2. kerroksen välipohjatasoon

y-suunnassa  
Qk.ty 8,42 kN/m (Ratkaistu PUPAX:lla)  
x-suunnassa  
Qk.tx 7,47 kN/m (Ratkaistu PUPAX:lla)

#### 1. kerroksen jäykistäville seinille y-suunnassa vaikuttavat vaakavoimat Fk.y

Fk.y 680,4 kN  $F_{k,y} = F_{k,ty} + F_{y,hi}$   
 $F_{y,ty} = 437,84 \text{ kN}$   
 $F_{y,hi} = 242,6 \text{ kN}$   
 $F_{y,ty} = Q_{k,ty} \cdot b_{rak,y}$   
 $F_{y,hi} = 4 \cdot H_{i,vp} + H_{i,yp}$   
 B.rak.x 52 m

#### 1. kerroksen jäykistäville seinille x-suunnassa vaikuttavat vaakavoimat Fk.x

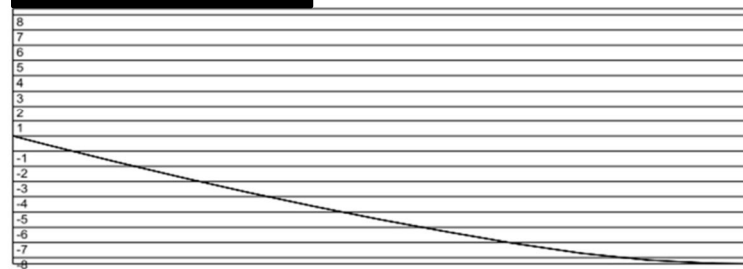
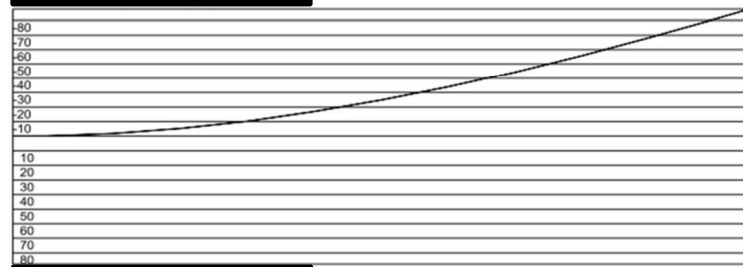
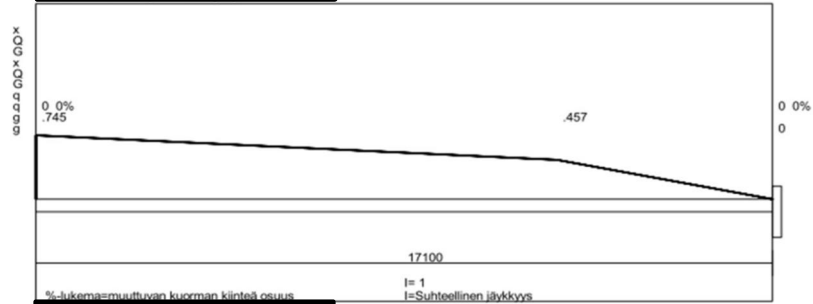
Fk.x 358,7 kN  $F_{k,x} = F_{k,tx} + F_{x,hi}$   
 $F_{y,tx} = 116,1585 \text{ kN}$   
 $F_{y,hi} = 242,6 \text{ kN}$   
 $F_{x,tx} = Q_{k,tx} \cdot b_{rak,x}$   
 $F_{x,hi} = 4 \cdot H_{i,vp} + H_{i,yp}$   
 B.rak.y 15,55 m

Rakenteeseen vaikuttava tuulikuorma 1. ja 2. kerroksen välipohjatasoon y-suunnassa

Palkin tunnus:

Pvm 31-03-2014

Puunav y3.20 lns.tsto Pauli Närhi. Laskennan suoritti:



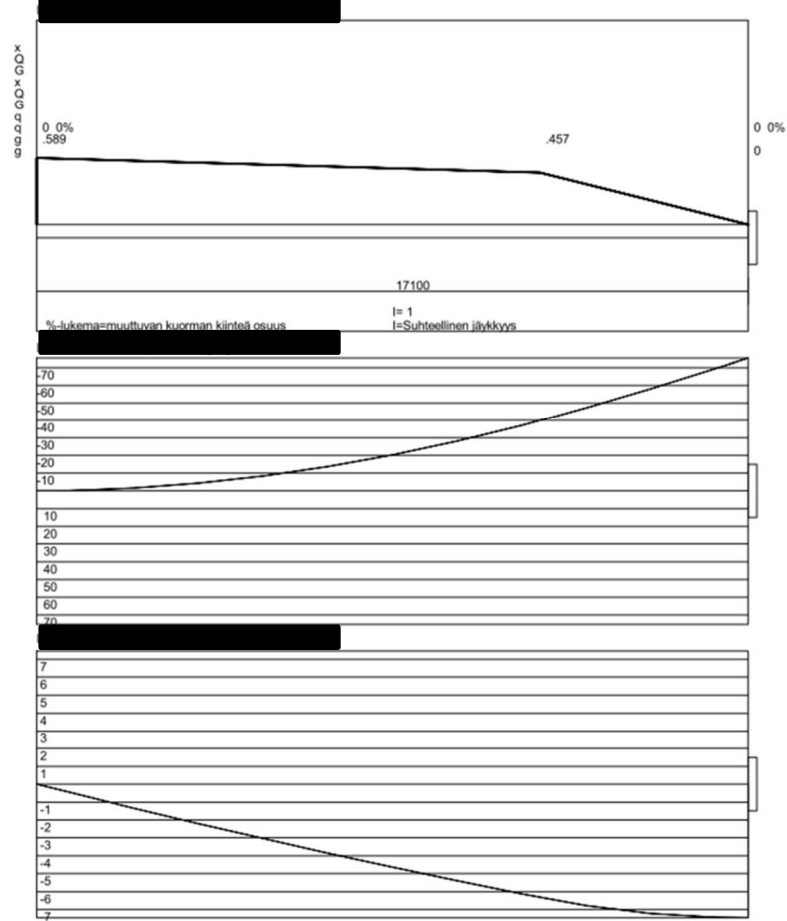
Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1  
Palkin oletettu kuormitusleveys 1 (m) (jolla yllä esitetyt jatkuvat  
kuormat on laskennassa kerrottu)  
Max/min tukivoimat [kN]  
8,415  
8,415

Rakenteeseen vaikuttava tuulikuorma 1. ja 2. kerroksen välipohjatasoon x-suunnassa

Palkin tunnus:

Pvm 31-03-2014

Pupax v.3.20 Ins tsto Pauli Närhi Laskennan suoritti:



Pyysvään kuorman osavarm kerr= 1 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1  
Palkin oletettu kuormitusleveys 1 (m) (jolla yllä esitetyt jatkuvat  
kuormat on laskennassa kerrottu)  
Max/min tukivoimat [kN]  
7,471  
7,471



Murtorajatilakuormat 1,15* $g_k$ +1,5* $q_k$ +1,5* $q_k$ .tuuli+1,05 $q_k$ .lumi					
Rakenneyty	Kuormitusala	Kuorma	Kerroin	Kokonaiskuorma	
YP1	676,5	5,3	1,15	4123,3	kN
VP1	573	5,9	1,15	3871,3	kN
VP2	67,9	9,1	1,15	712,5	kN
VP4	35,6	8,0	1,15	327,5	kN
US3	53,16	21,8	1,15	1332,7	kN
US4/5	84,77	17,3	1,15	1686,5	kN
VS1	153,76	15,0	1,15	2652,4	kN
Hyötykuorma	676,5	2,5	1,50	2536,9	kN
Lumikuorma	676,5	2,0	1,05	1420,7	kN

Ngd			10583	kN
Nqd.hyöty			2537	kN
Nqd.lumi			1421	kN

Nd.vp	Kokonaiskuorma välipohjalle	13119,8	kN
Nd.yp	Kokonaiskuorma yläpohjalta	5543,9	kN
Nd.kok	Kokonaiskuormat 1.kerrokselle	58023,2	kN

#### Rakenteen vinoudesta aiheutuva lisävaakavoima Hi

Hi= $\theta_i$ *Nd	Vaakavoima joka vaikuttaa seinän yläpäässä	EC 2 osa1-1 s46
$\theta_i=1/200$	Vinouden perusarvo ilman pienennyskertoimia	EC 2 osa1-1 s46

Hi.vp	65,6	kN
Hi.yp	27,7	kN

Kokonaisvaakavoima Hi 1.kerrokselle	290,1	kN
-------------------------------------	-------	----

#### Tuulikuorma yhdelle kerrokselle

Kokonaiskorkeus	16,8	m
Painekertoimien D ja E yhteisvaikutus y-suunnassa	1,30473	

Kerros	Kerroskorkeus	Kuorman vaikutuskorkeus	Tuulikuorma	rak. leveys y suun	Kerroin	rak. leveys-x	X-suunta	Y-suunta
5.	3,8	15,8	0,745	15,55	1,50	52	66,0	220,8
4.	3	12	0,652	15,55	1,50	52	45,6	152,7
3.	3	9	0,587	15,55	1,50	52	41,1	137,4
2.	3	6	0,522	15,55	1,50	52	36,5	122,1
1.	3	3	0,457	15,55	1,50	52	32,0	106,9

#### Murtorajatilakuormat 1,15\* $g_k$ +1,5\* $q_k$ +1,5\* $q_k$ .tuuli+1,05 $q_k$ .lumi

Kokonaisvaakavoima yhdelle kerrokselle

Kerros	Qx	Qy	Hi	Fx	Fy
5.	66,0	220,8	27,7	93,8	248,5
4.	45,6	152,7	54,5	100,1	207,1
3.	41,1	137,4	54,5	95,6	191,9
2.	36,5	122,1	54,5	91,0	176,6
1.	32,0	106,9	54,5	86,4	161,3

#### Murtorajatilakuormat 1,15\* $g_k$ +1,5\* $q_k$ +1,5\* $q_k$ .tuuli+1,05 $q_k$ .lumi



**Tuulikuorman ja lisävaakavoiman yhteisvaikutus**
**Murtorajatilakuormat  $1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k + 1,5 \cdot q_k \cdot \text{tuuli} + 1,05 q_k \cdot \text{lumi}$** 

Rakenteeseen vaikuttava tuulikuorma 1. ja 2. kerroksen välipohjatasoon

y-suunnassa

Qd.ty 12,62 kN/m (Ratkaistu PUPAX:lla)

x-suunnassa

Qd.tx 11,206 kN/m (Ratkaistu PUPAX:lla)

**Murtorajatilakuormat  $1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k + 1,5 \cdot q_k \cdot \text{tuuli} + 1,05 q_k \cdot \text{lumi}$** 

1. kerroksen jäykistävälle seinille y-suunnassa vaikuttavat vaakavoimat Fk.y

 Fd.y 946,4 kN  $F_d.y = F_{d.ty} + F_{d.Hi}$ 

 Fy.ty 656,24 kN  $F_{y.ty} = Q_{d.ty} \cdot b_{rak.y}$ 

 Fy.hi 290,1 kN  $F_{y.hi} = 4 \cdot H_i \cdot v_p + H_i \cdot y_p$ 

B.rak.x 52 m

**Murtorajatilakuormat  $1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k + 1,5 \cdot q_k \cdot \text{tuuli} + 1,05 q_k \cdot \text{lumi}$** 

1. kerroksen jäykistävälle seinille x-suunnassa vaikuttavat vaakavoimat Fk.x

 Fd.x 464,4 kN  $F_d.x = F_{d.tx} + F_{d.Hi}$ 

 Fy.tx 174,2533 kN  $F_{x.tx} = Q_{d.tx} \cdot b_{rak.x}$ 

 Fy.hi 290,1 kN  $F_{x.hi} = 4 \cdot H_i \cdot v_p + H_i \cdot y_p$ 

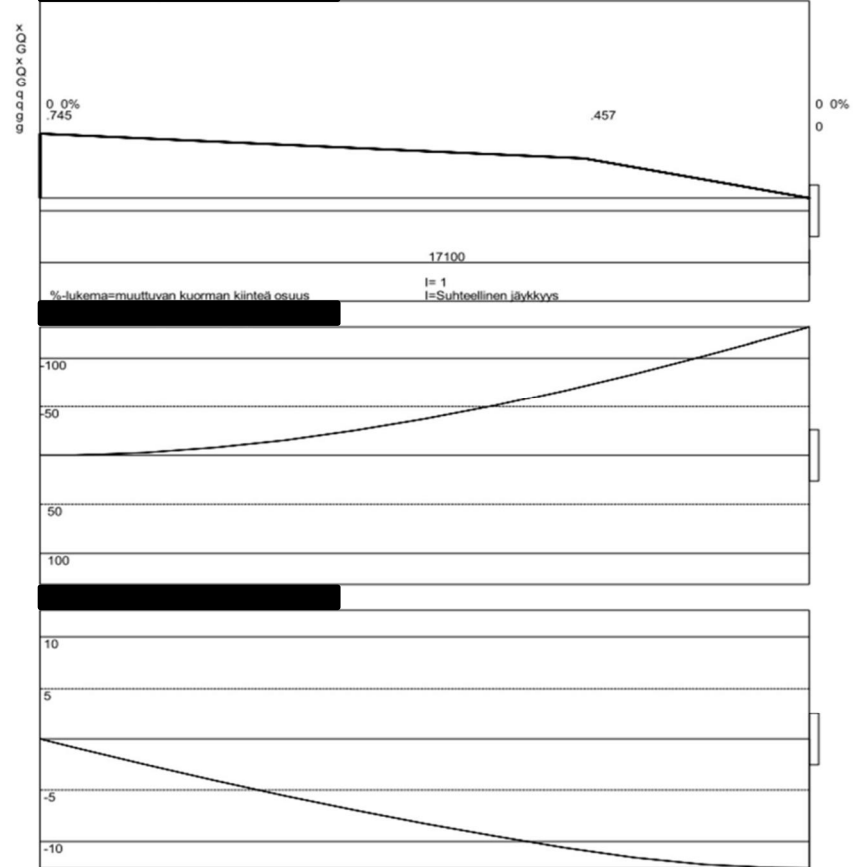
B.rak.y 15,55 m

Rakenteeseen vaikuttava tuulikuorma 1. ja 2. kerroksen välipohjatasoon y-suunnassa MRT

Palkin tunnus:

Pvm 03-04-2014

Pupax v.3.20 Ins tsto Pauli Närhi Laskennan suoritti:



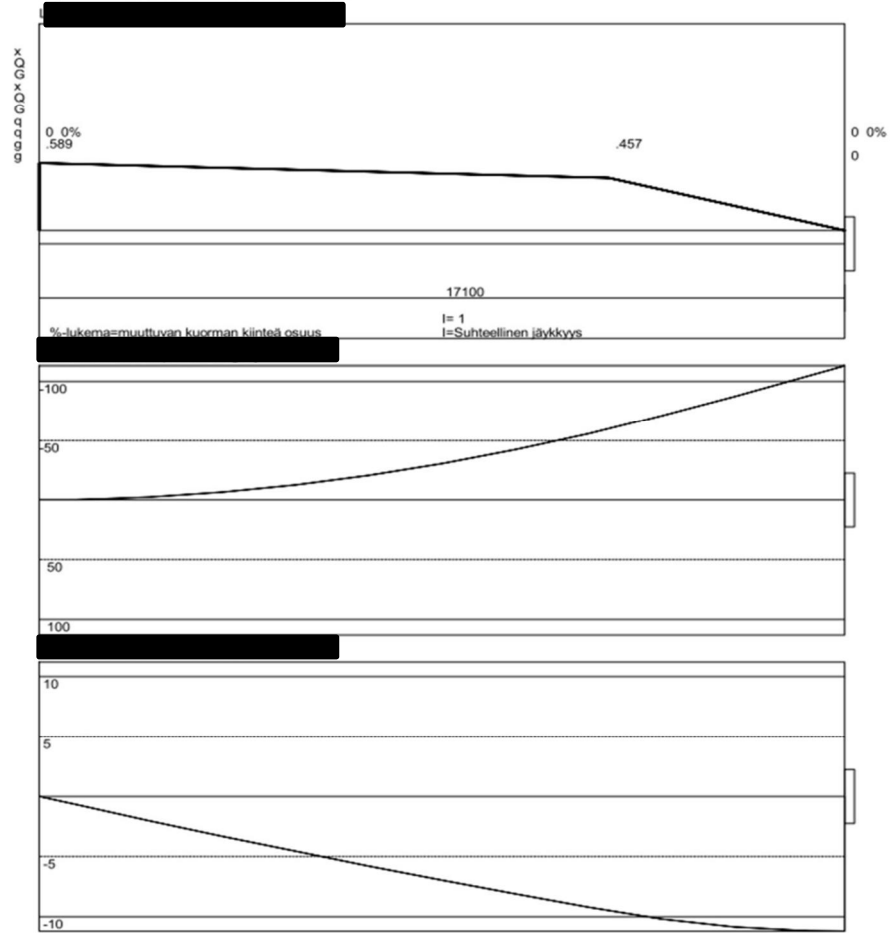
Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.5 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1  
Palkin oletettu kuormitusleveys 1 (m) (jolla yllä esitetyt jatkuvat  
kuormat on laskennassa kerrottu)  
Max/min tukivoimat [kN]  
12,622  
12,622

Rakenteeseen vaikuttava tuulikuorma 1. ja 2. kerroksen välipohjatasoon x-suunnassa MRT

Palkin tunnus:

Pvm 03-04-2014

Pupax v.3.20 Ins tsto Pauli Närhi Laskennan suoritti:



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.5 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1  
Palkin oletettu kuormitusleveys 1 (m) (jolla yllä esitetyt jatkuvat  
kuormat on laskennassa kerrottu)  
Max/min tukivoimat [kN]  
11,206  
11,206

## Liite 8 Rakennuksen kokonaisstabiiliteetin tarkastus

9.4.2014

Manu Ahokas

**Rakennuksen kokonaisstabiiliteetin tarkastus**Ehto:  $M_{stb,d} > M_{dst,d}$  $M_{stb,d}$ = Stabiiloiva momentti $M_{dst,d}$ = Kaatava momentti

*Yksinkertaistetaan laskentaa ja oletetaan kuormien jakaantuvan tasaisesti rakennuksen pohjan alueelle  
Kuormien resultantti keskellä rakennusta*

*Stabiiloivat kuormat huomioidaan edullisina kuormina, käytetään osavarmuuslukua 0,9.*

**Stabiiloiva momentti**

Nd 36356 kN

 $M_{stb,d} = N_d \cdot b/2$ 

b 15,55 m

rakennuksen leveys kaatumissuunnassa

 **$M_{stb,d}$**  282669 kNm**Kaatava momentti**

Fd 946 kN

(vaikutuskorkeus  $h/2$ ) $M_{dst,d} = F_d \cdot h/2$ 

h 16,8 m

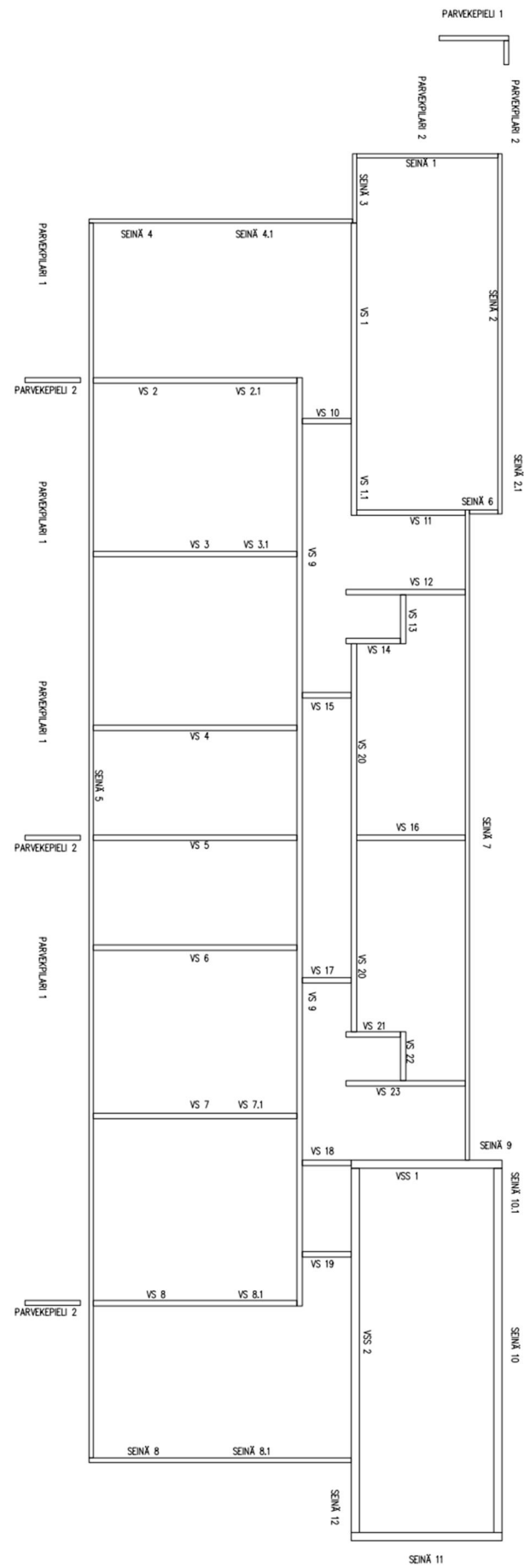
(Rakennuksen korkeus)

 **$M_{dst,d}$**  7949 kNm**Stabiiliteettiehto täyttyy**

Varmuus

35,6

Liite 9 Perustuskuormien laskennassa käytetyt seinien nimet



## Liite 10 Perustuslaskelmat

**MAANVARAISET PERUSTUKSET**

**Maapohjan kantavuus/sallittu pohjapaine** 250 kN/m<sup>2</sup>

**Seuraamustuokka** C22

**Kuormakerron Kf** 1

**Lasketaperusteet** EC

Tasojen pysyvät kuormat		Mitollisuuskuorma (EC-as K <sub>c</sub> kerroin huomioon)
RAKENNETYYPPI	Neliöpaino [kN/m <sup>2</sup> ]	
YP1	6,7	6,7
VP1	5,875	5,875
VP2	9,125	9,125
VP3	10,3	10,3
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0

Tasojen hyötykuormat		Neliöpaino [kN/m <sup>2</sup> ]
Asuintilat		
	2,5	
Lumikuorma	2	

**Seinien pysyvät kuormat**

RAKENNETYYPPI	Neliöpaino [kN/m <sup>2</sup> ]	Seinän korkeus [h]	Metrikuorma [kN/m]	Mitollisuuskuorma (EC-as K <sub>c</sub> kerroin huomioon)
S	5,9	3,0	17,7	17,7
R	4,1	3,0	12,3	12,3
KS	8,3	3,0	24,9	24,9
US3	7,3	3,0	21,9	21,9
sokk	5,9	1,2	7,1	7,1
parpieli	5,0	3,0	15,0	15,0
vesi	7,5	3,0	22,5	22,5
V	5,0	3,0	15,0	15,0

Murtorajattien kuormitusyhdistelyt EC		Murtorajattien kuormitusyhdistelyt RaMK
KY1	1,35 gk	0 gk
KY2	1,15 gk	1,5 gk

**Lisämerkintöjä:**

**Seinä** **1 MOD X** **1 MOD Y** **A-D**

kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd		
5	0	2 S	vp1	vp1	17,70	0,00	6,70	2,00	2,00	1,00	2,00	0,0	0,0	0,0	1,0	24,4	2,0	24,4	2,0				
4	0	2 S	vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	0,0	1,0	23,6	2,5	23,6	2,5				
3	0	2 S	vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	0,0	1,0	23,6	2,5	48,0	4,5				
2	0	2 S	vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	0,0	1,0	23,6	2,5	71,6	7,0				
1	0	2 R	vp1	vp1	12,30	0,00	5,88	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	0,0	1,0	18,2	2,5	89,7	9,5				
per	0	0 sokk			7,08							0,0	0,0	0,0	1,0	7,1	0,0	96,8	9,5				
																120,4	12,0			132,4	162,5 KY1		
<b>ANTURALEVEYS</b>																							
										SEINÄN NORMAALIVOIMASTA		132,4	kN/m	b =	0,53	m							
										SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA		132,4	kN/m	b =	0,53	m							
																		stabista alimman seinän momentti Md=			0 kNm		
																		kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk =			0,00 m		
																		kuormituleveys anturan alla Lef=			5,20		
																		seinän pituus			5,2 m		
																		seinän metrikuorma leveydelle Lef =			132,4 kN/m		

**Seinä** **2 MOD X** **1-4** **MOD Y** **A**

kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd		
5	0	5,3 US3	vp1	vp1	21,90	0,00	17,76	2,00	2,00	1,00	5,30	0,0	0,0	0,0	1,0	39,7	5,3	39,7	5,3				
4	0	5,3 US3	vp1	vp1	21,90	0,00	15,57	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	37,5	6,6				
3	0	5,3 US3	vp1	vp1	21,90	0,00	15,57	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	77,1	11,9				
2	0	5,3 US3	vp1	vp1	21,90	0,00	15,57	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	114,6	18,6				
1	0	5,3 US3	vp1	vp1	21,90	0,00	15,57	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	152,1	25,2				
per	0	0 sokk			7,08							0,0	0,0	0,0	1,0	7,1	0,0	159,1	25,2				
																196,6	31,8			228,4	273,6 KY2		
<b>ANTURALEVEYS</b>																							
										SEINÄN NORMAALIVOIMASTA		228,4	kN/m	b =	0,91	m							
										SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA		228,4	kN/m	b =	0,91	m							
																		stabista alimman seinän momentti Md=			0 kNm		
																		kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk =			0,00 m		
																		kuormituleveys anturan alla Lef=			9,70		
																		seinän pituus			9,7 m		
																		seinän metrikuorma leveydelle Lef =			228,4 kN/m		

**Seinä** **3 MOD X** **1-2** **MOD Y** **D**

kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd		
5	5,3	0 US3	yp1	yp1	21,90	17,76	0,00	2,00	2,00	1,00	5,30	0,0	0,0	0,0	1,0	39,7	5,3	39,7	5,3				
4	5,3	0 US3	yp1	yp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	37,5	6,6				
3	5,3	0 US3	yp1	yp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	77,1	11,9				
2	5,3	0 US3	yp1	yp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	114,6	18,6				
1	5,3	0 US3	yp1	yp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	152,1	25,2				
per	0	0 sokk			7,08							0,0	0,0	0,0	1,0	7,1	0,0	159,1	25,2				
																196,6	31,8			228,4	273,6 KY2		
<b>ANTURALEVEYS</b>																							
										SEINÄN NORMAALIVOIMASTA		228,4	kN/m	b =	0,91	m							
										SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA		228,4	kN/m	b =	0,91	m							
																		stabista alimman seinän momentti Md=			0 kNm		
																		kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk =			0,00 m		
																		kuormituleveys anturan alla Lef=			2,40		
																		seinän pituus			2,4 m		
																		seinän metrikuorma leveydelle Lef =			228,4 kN/m		

**Seinä** **4 MOD X** **2** **MOD Y** **D-F**

kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
5	0	5,8 US3	yp1	yp1	21,90	0,00	19,43	2,00	2,00	1,00	5,80	0,0	0,0	0,0	1,0	41,3	5,8	41,3	5,8		
4	0	5,8 US3	yp1	yp1	21,90	0,00	17,04	2,50	2,50	1,00	7,25	0,0	0,0	0,0	1,0	38,9	7,3	38,9	7,3		
3	0	5,8 US3	yp1	yp1	2																

Seinä korros	kenttä V	6 MOD X kenttä O	5 seinä	MOD Y vp/vasen	A-B vp/poika	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum ma G	summaG	summaQ	Kok kuor ma G	Kok kuor ma Q	Nk	Nd
5	2	O S		yp1	yp1	17,70	6,70	0,00	2,00	2,00	1,00	2,00	0,0	0,0	1,0	24,8	2,0	24,4	2,0		
4	2	O S		vp2	vp2	17,70	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	26,4	2,5	26,8	2,5		
3	2	S		vp2	vp1	17,70	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	26,8	2,5	51,2	4,5		
2	2	O S		vp2	vp2	17,70	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	26,8	2,5	78,1	7,0		
1	2	O R		vp2	vp1	12,30	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	21,4	2,5	99,5	9,5		
per	0	O soiki				7,08							0,0	0,0	1,0	7,1	0,0	106,6	9,5		
															0,0	0,0	133,4	12,0		145,4	180,1 Ky1

### ANTURALEVEYS

SEINÄN NORMAALIVOIMAOSTA    145,4 kNm                  b =         0,58 m

SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMAOSTA    145,4 kNm                  b =         0,58 m

stabiista alimman seinän momentti Md=         0 kNm

kuormituksen epäkeskyisyys MdkN =         0,00 m

kuormalleveys anturan alla Lef=         1,20

seinän pituus         1,2 m

seinän metrikuorma leveydelle Lef =         145,4 kNm

PERUSTUKSET

Seinä kerros		8.1 MOD X	20	MOD Y	E-F	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q'vas	q'oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum summa G	summaQ	Kok kuuro m²	Kok kuuro m²	Nk	Nd
	kenttä V	seinä	v/vasen	vp/oikea																
4	5,7	0 US3	yp1	yp1		21,90	19,10	0,00	2,00	2,00	1,00	5,70	0,0	0,0	1,0	41,0	5,7	41,0	5,7	
5		0 US3	yp1			21,90	17,63	0,00	2,50	2,50	1,00	7,50	0,0	0,0	1,0	39,5	7,5	39,5	7,5	
3		0 US3	vp1	vp1		21,90	17,63	0,00	2,50	2,50	1,00	7,50	0,0	0,0	1,0	39,5	7,5	80,5	13,2	
2		0 US3	vp1	vp1		21,90	17,63	0,00	2,50	2,50	1,00	7,50	0,0	0,0	1,0	39,5	7,5	120,0	20,7	
1		0 KS	vp1	vp1		24,90	17,63	0,00	2,50	2,50	1,00	7,50	0,0	0,0	1,0	42,5	7,5	162,6	28,2	
per	0	0 sokk.				7,08							0,0	0,0	1,0	7,1	0,0	169,7	28,2	
													0,0	0,0		209,2	35,7		244,9	294,1 KY2

### ANTURALEVEYS

SEINÄN NORMAALIVAIKOSTA      244,9 kNm      b =      0,98 m

SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVAIKOSTA      244,9 kNm      b =      0,98 m

stabiista alimman seinän momentti Md=		0 kNm
kuormituksen epäkeskisyyksi Mef/Nk =		0,00 m
kuormituleveys anturin alla Lef=		3,40
seinän pituus		3,4 m
seinän metrikuorma leveydellä Lef =		244,9 kNm

Seinä		10 MOD X		18-21		MOD Y		NORMAALIVOIMASTA										Kok.kuor		Kok.kuor			
korros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	p/oi/ka	Gseinä	Glasia/vas	Glasite	q/vas	q/oik	kerroin	Qhytyö	Piste Q	Piste G	jakaantun	summa G	summaQ	Ma	Ma	Nk	Nd		
5	0	5,3 US3	yp1	yp1	21,90	0,00	17,76	2,00	2,00	1,00	5,30	0,0	0,0	0,0	1,0	39,7	5,3	39,7	5,3				
4	0	5,3 US3	yp1	yp1	21,90	0,00	15,57	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	37,5	6,6				
3	0	5,3 US3	vp1	vp1	21,90	0,00	15,57	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	37,5	6,6				
2	0	5,3 US3	vp1	vp1	21,90	0,00	15,57	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	114,6	18,6				
1	0	5,3 KS	vp1	vp3	21,90	0,00	27,30	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	0,0	1,0	52,2	6,6	166,8	25,2				
per	0	0 VSS			22,50						0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	22,5	0,0	189,3	25,2				
														0,0	0,0	226,8	31,8			258,6	308,5	Ky2	
<b>ANTURALEVEYS</b>																							
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA						258,6	kN/m	b =	1,03	m	stabiili alimman seinän momentti Md= 0 kNm												
kuormituksen epäsääteisyys M0kNm= 0,00 m																							
kuormituleveys anturien alla Lefe= 11,50 m																							
SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA						258,6	kN/m	b =	1,03	m	seinän pituus 11,5 m												
seinän metrikoorma leveydelle Lef = 258,6 kN/m																							

## PERUSTUKSET

Seinä	10.1 MOD X	17-18	MOD Y	OHJE 1 TILASTUSTI-LÄPÄ													Kot.kuor	Kot.kuor			
keros	kenttä V	kenttä O	vp/vasen	p/aika	Gseinä	Glaatavas	Glaataok Q'anne	q/oik	kerroin	Qhyötty	Piste Q	Piste G	jakaantunsumma G	summaQ	Makkuur	Makkuur	Nk	Nd			
4	0	5,3 US3	yp1	yp1	21,90	0,00	17,76	2,00	2,00	0,33	1,77	0,0	0,0	1,8	39,7	1,8					
5	0	5,3 US3	yp2	yp2	21,90	0,00	24,18	2,50	2,50	0,21	0,0	0,0	0,0	2,2	46,1	2,2					
3	0	5,3 US3	yp1	vp2	21,90	0,00	24,18	2,50	0,33	2,21	0,0	0,0	0,0	4,6	21	35,7	4,6				
2	0	5,3 US3	vp1	vp2	21,90	0,00	24,18	2,50	0,33	2,21	0,0	0,0	0,0	4,6	21	131,8	6,2				
1	0	5,3 UKS	vp1	vp2	24,90	0,00	27,30	2,50	0,33	6,25	66,25	0,0	0,0	0,0	52,2	66,3	184,0	72,4			
per	0	0 VSS			22,50			22,50				0,0	0,0	0,0	22,5		205,5	72,4			
														0,0	0,0	252,6	74,6			327,2	402,4 K/y2
<b>ANTURALEVEYS</b>																					
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA    327,2   kNm       b =                  1,31 m														staabista alimman seinän momenti Md=                  0,0 Nm muokituksen epäsukuluys Mef/Nk =                  0,0 Nm kuormitusveytyn anturan alla Laf=                  11,5 m seinään pituus                  327,2 kNm seinän metrikuorma leveydelle Lef =                  327,2 kNm							
SEINÄN PITUDELLE Laf NORMAALIVOIMASTA    327,2   kNm       b =                  1,31 m																					



## RAKENNELASKELMAT

## PERUSTUKSET

Seinä	11 MOD X	21	MOD Y	A-D	NORMAALITILANNE										Kok.kuor	Kok.kuor				
kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaaivas	Glaatok q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	ma G	ma Q	Nk	Nd
5	0	2 S		yp1	yp1	17,70	0,00	6,70	2,00	2,00	1,00	2,00	0,0	0,0	1,0	24,4	2,0	24,4	2,0	
4	0	2 S		vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	23,6	2,5	23,6	2,5		
3	0	2 S		vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	23,6	2,5	48,0	4,5		
2	0	2 S		vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	23,6	2,5	71,6	7,0		
1	0	5,3 KS		vp1	vp3	24,90	0,00	27,30	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	1,0	52,2	6,6	123,7	13,6		
per	0	0 VSS				22,50						0,0	0,0	1,0	22,5	0,0	146,2	13,6		
													0,0	0,0	169,8	16,1	185,9	229,3 KY1		
															ANTURALEVEYS					
															SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 185,9 kN/m b = 0,74 m					stabiila alimman seinän momentti Md= 0 kNm
																				kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,00 m
																				kuormituleveys anturan alla Lef= 5,30 m
																				seinän pituus 5,3 m
																				seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 185,9 kN/m

Seinä	11 MOD X	21	MOD Y	A-D	ONNETTOMUUSTILANNE										Kok kuor					
kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaaivas	Glaatok q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	ma G	ma Q	Nk	Nd
5	0	2 S		yp1	yp1	17,70	0,00	6,70	2,00	2,00	0,33	0,67	0,0	0,0	1,0	24,4	0,7	24,4	0,7	
4	0	2 S		vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	1,0	23,6	0,8	23,6	0,8	
3	0	2 S		vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	1,0	23,6	0,8	48,0	1,5	
2	0	2 S		vp1	vp1	17,70	0,00	5,88	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	1,0	23,6	0,8	71,6	2,3	
1	0	5,3 KS		vp1	vp3	24,90	0,00	27,30	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	1,0	52,2	6,6	123,7	6,6	
per	0	0 VSS				22,50						0,0	0,0		22,5	0,0	146,2	6,6		
													0,0	0,0	169,8	69,4	239,2	299,4 KY2		
ANTURALEVEYS																				
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA						239,2	kN/m	b =	0,96	m	stabiila alimman seinän momentti Md= 0 kNm									
											kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,00 m									
SEINÄN PITUIDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA						239,2	kN/m	b =	0,96	m	kuormituleveys anturan alla Lef= 5,30									
											seinän pituus 5,3 m									
											seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 239,2 kN/m									

Seinä	12 MOD X	20-21	MOD Y	D	NORMAALITILANNE										Kok.kuor	Kok.kuor						
kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaaivas	Glaatok q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	ma G	ma Q	Nk	Nd		
5	5,3	0 US3		yp1	yp1	21,90	17,76	0,00	2,00	2,00	1,00	5,30	0,0	0,0	1,0	39,7	5,3	39,7	5,3			
4	5,3	0 US3		vp1	vp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	37,5	6,6			
3	5,3	0 US3		vp1	vp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	77,1	11,9			
2	5,3	0 US3		vp1	vp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	1,0	37,5	6,6	114,6	18,6			
1	5,3	0 KS		vp3	vp1	24,90	27,30	0,00	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	1,0	52,2	6,6	166,8	25,2			
per	0	0 VSS				22,50						0,0	0,0	0,0	1,0	22,5	0,0	189,3	25,2			
													0,0	0,0	226,8	31,8		258,6	308,5 KY2			
ANTURALEVEYS																						
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA						258,6	kN/m	b =	1,03	m	stabiila alimman seinän momentti Md=										0	kNm
											kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk =										0,00	m
											kuormituleveys anturan alla Lef=										5,30	
											seinän pituus										5,3	m
SEINÄN PITUIDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA						258,6	kN/m	b =	1,03	m	seinän metrikkuorma leveydelle Lef =										258,6	kN/m

## RAKENNELASKELMAT

## PERUSTUKSET

Seinä	12 MOD X	20-21	MOD Y	D	ONNETTOMUUSTILANNE										Kok.kuor	Kok.kuor				
kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaaivas	Glaatok q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	ma G	ma Q	Nk	Nd
5	5,3	0 US3		yp1	yp1	21,90	17,76	0,00	2,00	2,00	1,77	0,0	0,0	1,0	39,7	1,8	39,7	1,8		
4	5,3	0 US3		vp1	vp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	2,21	0,0	0,0	1,0	37,5	2,2	37,5	2,2		
3	5,3	0 US3		vp1	vp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	2,21	0,0	0,0	1,0	37,5	2,2	77,1	4,0		
2	5,3	0 US3		vp1	vp1	21,90	15,57	0,00	2,50	2,50	2,21	0,0	0,0	1,0	37,5	2,2	114,6	6,2		
1	5,3	0 KS		vp3	vp1	24,90	27,30	0,00	2,50	2,50	2,21	0,0	0,0	1,0	52,2	6,6	166,8	7,4		
per	0	0 VSS				22,50						0,0	0,0		22,5	0,0	189,3	7,4		
													0,0	0,0	226,8	74,6	301,4	372,7 Ky2		
ANTURALEVEYS																				
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA						301,4	kN/m	b =	1,21	m	stabiila alimman seinän momentti Md= 0 kNm									
											kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,00 m									
											kuormituleveys anturan alla Lef= 5,30									
											seinän pituus 5,3 m									
SEINÄN PITUIDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA						301,4	kN/m	b =	1,21	m	seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 301,4 kN/m									

VS	1 MOD X		1-4	MOD Y	D	ONNETTOMUUSTILANNE										Kok.kuor	Kok.kuor					
kerros	kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaaivas	Glaatok q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	ma G	ma Q	Nk	Nd		
5	5,33	2 V		yp1	yp1	15,00	17,76	6,70	2,00	2,00	1,00	7,33	0,0	0,0	1,0	39,6	7,3	39,6	7,3			
4	5,33	2 V		vp1	vp1	15,00	15,66	5,88	2,50	2,50	1,00	9,16	0,0	0,0	1,0	36,5	9,2	36,5	9,2			
3	5,33	2 V		vp1	vp1	15,00	15,66	5,88	2,50	2,50	1,00	9,16	0,0	0,0	1,0	36,5	9,2	76,1	16,5			
2	5,33	2 V		vp1	vp1	15,00	15,66	5,88	2,50	2,50	1,00	9,16	0	0	0	0	36,5	9,2	112,6	25,7		
1	5,33	2 V		vp1	vp1	15,00	15,66	5,88	2,50	2,50	1,00	9,16	0,0	0,0	1,0	36,5	9,2	149,2	34,8			
per	0	0 V											0,0	0,0	185,7	44,0		149,2	34,8			
													0,0	0,0	185,7	44,0			229,7	279,5	KY2	
<b>ANTURALEVEYS</b>																						
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA						229,7	kN/m	b =	0,92 m											stabiasta alimman seinän momentti Md=	1728	kN/m
																				kuormituksen epäkeskisyys Md/N =	1,03 m	
																				kuormituksen seinän alla Lef=	5,24	
																				seinän pituus	7,3 m	
SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA						320,0	kN/m	b =	1,28 m											seinän metrikuorma leveydellä Lef =	320,0	kN/m

## RAKENNELASKELMAT

## PERUSTUKSET

VS	kerros	2	MOD X	3	MOD Y	E-F	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
		kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea																
	5	5,8	6,4 V		yp1	vp1	15,00	19,43	21,44	2,00	2,00	1,00	12,20	0,0	0,0	1,0	55,9	12,2	55,9	12,2		
	4	5,8	6,4 V		vp1	vp1	15,00	17,04	18,80	2,50	2,50	1,00	15,25	0,0	0,0	1,0	50,8	15,3	50,8	15,3		
	3	5,8	6,4 V		vp1	vp1	15,00	17,04	18,80	2,50	2,50	1,00	15,25	0,0	0,0	1,0	50,8	15,3	106,7	27,5		
	2	5,8	6,4 V		vp1	vp1	15,00	17,04	18,80	2,50	2,50	1,00	15,25	0,0	0,0	1,0	50,8	15,3	157,5	42,7		
	1	5,8	6,4 V		vp1	vp1	15,00	17,04	18,80	2,50	2,50	1,00	15,25	0,0	0,0	1,0	50,8	15,3	208,4	58,0		
	per	0	0 V				15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	223,4	58,0		
														0,0	0,0		274,2	73,2			347,4	425,2 KY2
<b>ANTURALEVEYS</b> SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 347,4 kN/m b = 1,39 m																						stabista alimman seinän momentti Md= 572 kNm kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,22 m kuormituleveys anturan alla Lef= 7,17 m seinän pituus 7,6 m seinän metrikuorma leveydelle Lef = 368,4 kN/m

VS	kerros	2,1	MOD X	3	MOD Y	E-F	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
		kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea																
	5	5,8	6,4 V		yp1	vp1	15,00	19,43	21,44	2,00	2,00	1,00	12,20	0,0	0,0	1,0	55,9	12,2	55,9	12,2		
	4	4,9	6,4 V		vp2	vp1	15,00	22,36	18,80	2,50	2,50	1,00	14,13	0,0	0,0	1,0	56,2	14,1	56,2	14,1		
	3	4,9	6,4 V		vp2	vp1	15,00	22,36	18,80	2,50	2,50	1,00	14,13	0,0	0,0	1,0	56,2	14,1	112,0	28,3		
	2	4,9	6,4 V		vp2	vp1	15,00	22,36	18,80	2,50	2,50	1,00	14,13	0,0	0,0	1,0	56,2	14,1	168,2	40,5		
	1	4,9	6,4 V		vp2	vp1	15,00	22,36	18,80	2,50	2,50	1,00	14,13	0,0	0,0	1,0	56,2	14,1	224,3	54,6		
	per	0	0 V				15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	239,3	54,6		
														0,0	0,0		295,5	68,7			364,2	442,9 KY2
<b>ANTURALEVEYS</b> SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 364,2 kN/m b = 1,46 m																						stabista alimman seinän momentti Md= 0 kNm kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,00 m kuormituleveys anturan alla Lef= 7,60 m seinän pituus 7,6 m seinän metrikuorma leveydelle Lef = 364,2 kN/m

VS	kerros	3	MOD X	6	MOD Y	E-F	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
		kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea																
	5	6,4	6,4 V		yp1	vp1	15,00	21,44	21,44	2,00	2,00	1,00	12,80	0,0	0,0	1,0	57,9	12,8	57,9	12,8		
	4	6,4	6,4 V		vp1	vp1	15,00	18,80	18,80	2,50	2,50	1,00	16,00	0,0	0,0	1,0	52,6	16,0	52,6	16,0		
	3	6,4	6,4 V		vp1	vp1	15,00	18,80	18,80	2,50	2,50	1,00	16,00	0,0	0,0	1,0	52,6	16,0	110,5	28,8		
	2	6,4	6,4 V		vp1	vp1	15,00	18,80	18,80	2,50	2,50	1,00	16,00	0,0	0,0	1,0	52,6	16,0	163,1	44,8		
	1	6,4	6,4 V		vp1	vp1	15,00	18,80	18,80	2,50	2,50	1,00	16,00	0,0	0,0	1,0	52,6	16,0	215,7	60,8		
	per	0	0 V				15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	230,7	60,8		
														0,0	0,0		283,3	76,8			360,1	441,0 KY2
<b>ANTURALEVEYS</b> SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 360,1 kN/m b = 1,44 m																						stabista alimman seinän momentti Md= 643 kNm kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,23 m kuormituleveys anturan alla Lef= 7,13 m seinän pituus 7,6 m seinän metrikuorma leveydelle Lef = 383,8 kN/m

## RAKENNELASKELMAT

## PERUSTUKSET

VS	kerros	3,1	MOD X	6	MOD Y	E-F	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
		kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea																
	5	6,4	6,4 V		yp1	vp1	15,00	21,44	21,44	2,00	2,00	1,00	12,80	0,0	0,0	1,0	57,9	12,8	57,9	12,8		
	4	5,5	5,5 V		vp2	vp2	15,00	25,09	25,09	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	65,2	13,8		
	3	5,5	5,5 V		vp2	vp2	15,00	25,09	25,09	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	123,1	28,6		
	2	5,5	5,5 V		vp2	vp2	15,00	25,09	25,09	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	188,3	40,3		
	1	5,5	5,5 V		vp2	vp2	15,00	25,09	25,09	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	253,4	54,1		
	per	0	0 V				15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	268,4	54,1		
														0,0	0,0		333,6	67,8			401,4	485,4 KY2
<b>ANTURALEVEYS</b> SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 401,4 kN/m b = 1,61 m																						stabista alimman seinän momentti Md= 0 kNm kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,00 m kuormituleveys anturan alla Lef= 7,60 m seinän pituus 7,6 m seinän metrikuorma leveydelle Lef = 401,4 kN/m

VS	kerros	4	MOD X	10	MOD Y	E-F	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
		kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea																
	5	6,4	4,05 V		yp1	yp1	15,00	21,44	13,57	2,00	2,00	1,00	10,45	0,0	0,0	1,0	50,0	10,5	50,0	10,5		
	4	6,9	4,05 V		vp1	vp1	15,00	20,27	11,90	2,50	2,50	1,00	13,69	0,0	0,0	1,0	47,2	13,7	47,2	13,7		
	3	6,9	4,05 V		vp1	vp1	15,00	20,27	11,90	2,50	2,50	1,00	13,69	0,0	0,0	1,0	47,2	13,7	97,2	24,1		
	2	6,9	4,05 V		vp1	vp1	15,00	20,27	11,90	2,50	2,50	1,00	13,69	0,0	0,0	1,0	47,2	13,7	144,3	37,8		
	1	6,9	4,05 V		vp1	vp1	15,00	20,27	11,90	2,50	2,50	1,00	13,69	0,0	0,0	1,0	47,2	13,7	191,5	51,5		
	per	0	0 V				15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	206,5	51,5		
														0,0	0,0		253,7	66,2			318,9	389,5 KY2
<b>ANTURALEVEYS</b> SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 318,9 kN/m b = 1,28 m																						stabista alimman seinän momentti Md= 714 kNm kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,29 m kuormituleveys anturan alla Lef= 7,01 m seinän pituus 7,6 m seinän metrikuorma leveydelle Lef = 345,7 kN/m

VS	kerros	5	MOD X	11	MOD Y	E-F	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
		kenttä V	kenttä O	seinä	vp/vasen	vp/oikea																
	5	4,05	4,05 V		yp1	yp1	15,00	13,57	13,57	2,00	2,00	1,00	8,10	0,0	0,0	1,0	42,1	8,1	42,1	8,1		
	4	4,05	4,05 V		vp1	vp1	15,00	11,90	11,90	2,50	2,50	1,00	10,13	0,0	0,0	1,0	38,8	10,1	38,8	10,1		
	3	4,05	4,05 V		vp1	vp1	15,00	11,90	11,90	2,50	2,50	1,00	10,13	0,0	0,0	1,0	38,8	10,1	80,9	18,2		
	2	4,05	4,05 V		vp1	vp1	15,00	11,90	11,90	2,50	2,50	1,00	10,13	0,0	0,0	1,0	38,8	10,1	119,7	28,4		
	1	4,05	4,05 V		vp1	vp1	15,00	11,90	11,90	2,50	2,50	1,00	10,13	0,0	0,0	1,0	38,8	10,1	158,5	38,5		
	per	0	0 V				15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	173,5	38,5		
														0,0	0,0		212,3	48,6			260,9	317,1 KY2
<b>ANTURALEVEYS</b> SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 260,9 kN/m b = 1,04 m																						stabista alimman seinän momentti Md= 759 kNm kuormituksen epäkeskisyyss Md/Nk = 0,38 m kuormituleveys anturan alla Lef= 6,83 m seinän pituus 7,6 m seinän metrikuorma leveydelle Lef = 290,1 kN/m

VS	7,1 MOD X		16	MOD Y	E-F											Kok.kuor	Kok.kuor				
korros	kenttä V	kenttä G	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q'vas	q'oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum	summaG	summaQ	ma Q	Nk	Nd	
4	6,2	6,9 V	yp1	yp1	15,00	20,77	23,12	2,00	2,00	1,00	13,10	0,0	0,0	1,0	58,9	13,1	58,9	13,1			
5	5,3	5,7 V	yp2	yp2	15,00	24,18	26,01	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	65,2	13,8			
3	5,3	5,7 V	vp2	vp2	15,00	24,18	26,01	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	65,2	13,8			
2	5,3	5,7 V	vp2	vp2	15,00	24,18	26,01	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	65,2	13,8			
1	5,3	5,7 V	vp2	vp2	15,00	24,18	26,01	2,50	2,50	1,00	13,75	0,0	0,0	1,0	65,2	13,8	65,2	13,8			
per	0	0 V			15,00							0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	15,0	0,0			
																334,6	68,1		402,7	487,0 KY2	
<div>ANTURALEVEYS</div>																					
<div>SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 402,7 kN/m</div> <div>b = 1,61 m</div>																					
<div>SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA 402,7 kN/m</div> <div>b = 1,61 m</div>																					
																<div>stabiila alimman seinän momentti Md= 0 kNm</div> <div>kuormituksen epäsääksyyttä MefNk= 0,0 m</div> <div>kuormileveys anturan alla Lef= 7,60</div> <div>seinän pituus 7,6 m</div> <div>seinän metrikkuoma leveydelle Lef = 402,7 kN/m</div>					

PERUSTUKSET

VS		9 MOD X	3-19	MOD Y	E											Kok kuur	Kok kuur			
keros	kenit V	kenit Q	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q'vas	q'oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantum summa G	summaQ	ma Q	Nk	Nd	
5	2	2	V	vp1	yp1	15,00	6,70	6,70	2,00	2,00	1,00	4,00	0,0	0,0	1,0	28,4	4,0	28,4	4,0	
4	2	2	V	vp1	yp1	15,00	5,88	5,88	2,50	2,50	1,00	5,00	0,0	0,0	1,0	26,8	5,0	26,8	5,0	
3	2	2	V	vp1	yp1	15,00	5,88	5,88	2,50	2,50	1,00	5,00	0,0	0,0	1,0	26,8	5,0	55,2	9,0	
2	2	2	V	vp1	yp1	15,00	5,88	5,88	2,50	2,50	1,00	5,00	0,0	0,0	1,0	26,8	5,0	81,9	14,0	
1	2	2	V	vp1	yp1	15,00	5,88	5,88	2,50	2,50	1,00	5,00	0,0	0,0	1,0	26,8	5,0	108,7	19,0	
per	0	0	V			15,00							0,0	0,0	1,0	15,0		123,7	19,0	
													0,0	0,0	150,4	24,0			174,4	209,0 KYZ

ANTURALEVEYS

SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 174,4 kN/mb = 0,70 m

SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA 174,4 kN/mb = 0,70 m

stabiista alimman seinän momenti M=

kuormituksen epäkeskisyyttä Mskn=

kuormaliveys anturan alla Lef=

seinän pituus

seinän metrikuurma leveydelle Lef =

0 kNm

0 m

7,6 m

7,6 m

174,4 kN/m

[illegible]

VS	kerros	15	MOD X	9	seinä	MOD Y	D-E	Gseinä	Glaatvas	Glaasto	q/vas	q/oik	kerron	Chydyt	Piste Q	Piste G	jakaantun	summa G	summaQ	Kok kuor	Kok kuor	Nik	Nd
		kenttä V	MOD X	kenttä Q	seinä	vp/vasen	vp/oikea													ma G	ma Q		
5		2	2	2	5,2 V	yp1	yp1	15,00	6,70	17,42	2,00	2,00	1,00	7,20	0,0	0,0	1,0	39,1	7,2	39,1	7,2		
4		2	2	2	5,2 V	yp2	yp2	15,00	5,88	23,73	2,50	2,50	1,00	9,00	0,0	0,0	1,0	44,6	9,0	44,6	9,0		
3		2	2	2	5,2 V	vp1	vp1	15,00	5,88	23,73	2,50	2,50	1,00	9,00	0,0	0,0	1,0	44,6	9,0	83,7	16,2		
2		2	2	2	2 V	vp1	vp2	15,00	5,88	9,13	2,50	2,50	1,00	5,00	0,0	0,0	1,0	30,0	5,0	113,7	21,2		
1		2	2	2	2 V	vp1	vp2	15,00	5,88	9,13	2,50	2,50	1,00	5,00	0,0	0,0	1,0	30,0	5,0	143,7	26,2		
per		0	0	0	0 V			15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	158,7	0,0		
																0,0	0,0	203,3	36,2	238,5	286,6	KY2	
<div>ANTURALEVEYS</div> <div>SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 238,5 kN/m b = 0,95 m</div> <div>SEINÄN PITUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA 238,5 kN/m b = 0,95 m</div>																							
<div>stabiili alimman seinän momentti Md= 0 kNm</div> <div>kuormituksen epäkeskeytyks Md/Nk = 0,00 m</div> <div>kuormituksen anturan alla Lef= 1,80</div> <div>seinän pituus 1,8 m</div> <div>seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 238,5 kN/m</div>																							



[illegible]

PERUSTUKSET

Vs	21 MOD X	14	MOD Y	C-D	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik q/vas	q/oik	kerroin	Qhyötö	Piste Q	Piste G	jakaantuma	summa G	summaQ	Kok kuor ma G	Kok kuor ma Q	Nik	Nd
korros	kenttä V	kenttä O	vp/vasen	vp/oikea															
5	2	2	Vp1	vp1	15,00	6,70	6,70	2,00	2,00	1,00	4,00	0,0	0,0	1,0	28,4	4,0	28,4	4,0	
4	2	0	Vp1	vp1	15,00	5,88	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	20,9	2,5	20,9	2,5	
3	2	0	Vp1	vp1	15,00	5,88	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	20,9	2,5	49,3	6,5	
2	2	0	Vp1	vp1	15,00	5,88	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	20,9	2,5	70,2	9,0	
1	2	0	Vp1	vp1	15,00	5,88	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	20,9	2,5	91,0	11,5	
per	0	0			15,00							0,0	0,0	1,0	15,0	0,0	106,0	11,5	
<div> <div>ANTURALEVEYS</div> <div>SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 140,9 kNm</div> <div>b = 0,56 m</div> </div>																<div> <div>stabiili alimman seinän momentti Md= 18 kNm</div> <div>kuormuksen epäkeskisyys M<sub>0</sub>/Nk = 0,06 m</div> <div>kuormaleveyden anturan alla L<sub>ef</sub>= 1,87</div> <div>seinän pituus 2,0 m</div> <div>seinän metrikkuorma leveydelle L<sub>ef</sub> = 150,5 kN/m</div> </div>			
<div> <div>SEINÄN PITUUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA 150,5 kNm</div> <div>b = 0,60 m</div> </div>																			

## RAKENNELASKELMAT

## PERUSTUKSET

VRS		22 MOD X		14-15		MOD Y		C		Gseinä		Glaatvas		Glaatoik		q/vas		q/oik		kerroin		Qhyöty		Piste Q		Piste G		jakaantum		summa G		summaQ		Kok.kuor		Kok.kuor		Nk		Nd	
kerros		kenttä V		kenttä O		vp/vasen		vp/oikea		Gseinä		Glaatvas		Glaatoik		q/vas		q/oik		kerroin		Qhyöty		Piste Q		Piste G		jakaantum		summa G		summaQ		ma G		ma Q					
5		2,3		2 V		vp1		vp1		15,00		7,71		6,70		2,00		2,00		1,00		4,30		0,0		0,0		1,0		29,4		4,3		29,4		4,3					
4		2,3		0 V		vp2		vp2		15,00		10,49		0,00		2,50		2,50		1,00		2,88		0,0		0,0		1,0		25,5		2,9		25,5		2,9					
3		2,3		0 V		vp2		vp1		15,00		10,49		0,00		2,50		2,50		1,00		2,88		0,0		0,0		1,0		25,5		2,9		54,9		7,2					
2		2,3		0 V		vp2		vp1		15,00		10,49		0,00		2,50		2,50		1,00		2,88		0,0		0,0		1,0		25,5		2,9		80,4		10,1					
1		2,3		0 V		vp2		vp1		15,00		10,49		0,00		2,50		2,50		1,00		2,88		0,0		0,0		1,0		25,5		2,9		105,9		12,9					
per		0		0 V						15,00														0,0		0,0		1,0		15,0		120,9		12,9							
																								0,0		0,0		146,4		15,8				162,2				197,6 KY1			
<b>ANTURALEVEYS</b>																																									
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA										162,2		kN/m		b =		0,65		m		stabista alimman seinän momentti Md= 27 kNm																					
																				kuormituksen epäkeskeisyyts MdNk= 0,09 m																					
																				kuormituleveys anturan alla Lef= 1,62																					
																				seinän pituus 1,8 m																					
																				seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 180,8 kN/m																					
SEINÄN PITUUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA										180,8		kN/m		b =		0,72		m																							

VS	kerros	23	MOD X	15	MOD Y	B-D	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q/vas	q/oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd
5	2	2	2 V	2 V	vp1	vp1	15,00	6,70	6,70	2,00	2,00	1,00	4,00	0,0	0,0	1,0	28,4	4,0	28,4	4,0		
4	2	0	0 V	0 V	vp2	vp1	15,00	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	24,1	2,5	24,1	2,5		
3	2	0	0 V	0 V	vp2	vp1	15,00	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	24,1	2,5	52,5	6,5		
2	2	0	0 V	0 V	vp2	vp1	15,00	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	24,1	2,5	76,7	9,0		
1	2	0	0 V	0 V	vp2	vp1	15,00	9,13	0,00	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	24,1	2,5	100,8	11,5		
per	0	0	0 V	0 V			15,00							0,0	0,0	1,0	15,0		115,8	11,5		
														0,0	0,0		139,9	14,0		153,9		188,9 KY1
ANTURALEVEYS																						
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA							153,9	kN/m	b =	0,62	m	stabista alimman seinän momentti Md= 32 kNm										
																						0,05 m
																						4,31
																						4,4 m
SEINÄN PITUUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA										157,3	kN/m	b =	0,63	m	seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 157,3 kN/m							

VSS	kerros	1	MOD X	17	MOD Y	B-D	NORMAALITILANNE										Kok.kuor ma G	Kok.kuor ma Q	Nk	Nd	
	5	2	2 V	vp1	vp1	15,00	6,70	6,70	2,00	2,00	1,00	4,00	0,0	0,0	1,0	28,4	4,0	28,4	4,0		
	4	0	2 V	vp1	vp2	15,00	0,00	9,13	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	24,1	2,5	24,1	2,5		
	3	0	2 V	vp1	vp2	15,00	0,00	9,13	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	24,1	2,5	52,5	6,5		
	2	0	2 V	vp1	vp2	15,00	0,00	9,13	2,50	2,50	1,00	2,50	0,0	0,0	1,0	24,1	2,5	76,7	9,0		
	1	0	5,3 VSS	vp1	vp3	22,50	0,00	27,30	2,50	2,50	1,00	6,63	0,0	0,0	1,0	49,8	6,6	126,4	15,6		
	per	0	0 VSS			22,50							0,0	0,0	1,0	22,5	0,0	148,9	15,6		
													0,0	0,0	173,1	18,1		191,2	233,6 KY1		
<b>ANTURALEVEYS</b>																					
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 191,2 kN/m b = 0,76 m																	stabista alimman seinän momentti Md= 0 kNm				
																	kuormituksen epäsäkeisyys ΔdNk = 0,00 m				
																	kuormituleveys anturalla Lef= 4,40 m				
																	seinän pituus 4,4 m				
SEINÄN PITUUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA 191,2 kN/m b = 0,76 m																	seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 191,2 kN/m				

## RAKENNELASKELMAT

## PERUSTUKSET

VSS		2 MOD X		17-20	MOD Y	D	NORMAALITILANNE										Kok kuor		Kok kuor					
kerros	kenttä V	kenttä X	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q'vas	q'oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	ma G	ma Q	Nk	Nd			
5	5,3	2 V	vp1	vp1	15,00	17,76	6,70	2,00	2,00	1,00	7,30	0,0	0,0	1,0	39,5	7,3	39,5	7,3						
4	5,3	2 V	vp1	vp1	15,00	15,57	5,88	2,50	2,50	1,00	9,13	0,0	0,0	1,0	36,4	9,1	36,4	9,1						
3	5,3	2 V	vp1	vp1	15,00	15,57	5,88	2,50	2,50	1,00	9,13	0,0	0,0	1,0	36,4	9,1	75,9	16,4						
2	5,3	2 V	vp1	vp1	15,00	15,57	5,88	2,50	2,50	1,00	9,13	0,0	0,0	1,0	36,4	9,1	112,3	25,6						
1	5,3	2 VSS	VP3	vp1	22,50	27,30	5,88	2,50	2,50	1,00	9,13	0,0	0,0	1,0	55,7	9,1	168,0	34,7						
per	0	0 VSS			22,50												190,5	34,7						
														0,0	0,0	227,0	43,8					270,8	326,7 KY2	
<b>ANTURALEVEYS</b>																								
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA						270,8	kN/m	b =	1,08	m	stabista alimman seinän momentti Md= 0 kNm													
											kuormituksen epäkeskisyys Mefk= 0,0 m													
											kuormitukseen anturan alla Lef= 11,00													
											seinän pituus 11,0 m													
											seinän metrikkuorma leveydelle Lef = 270,8 kN/m													
SEINÄN PITUUDELLE Lef NORMAALIVOIMASTA						270,8	kN/m	b =	1,08	m														

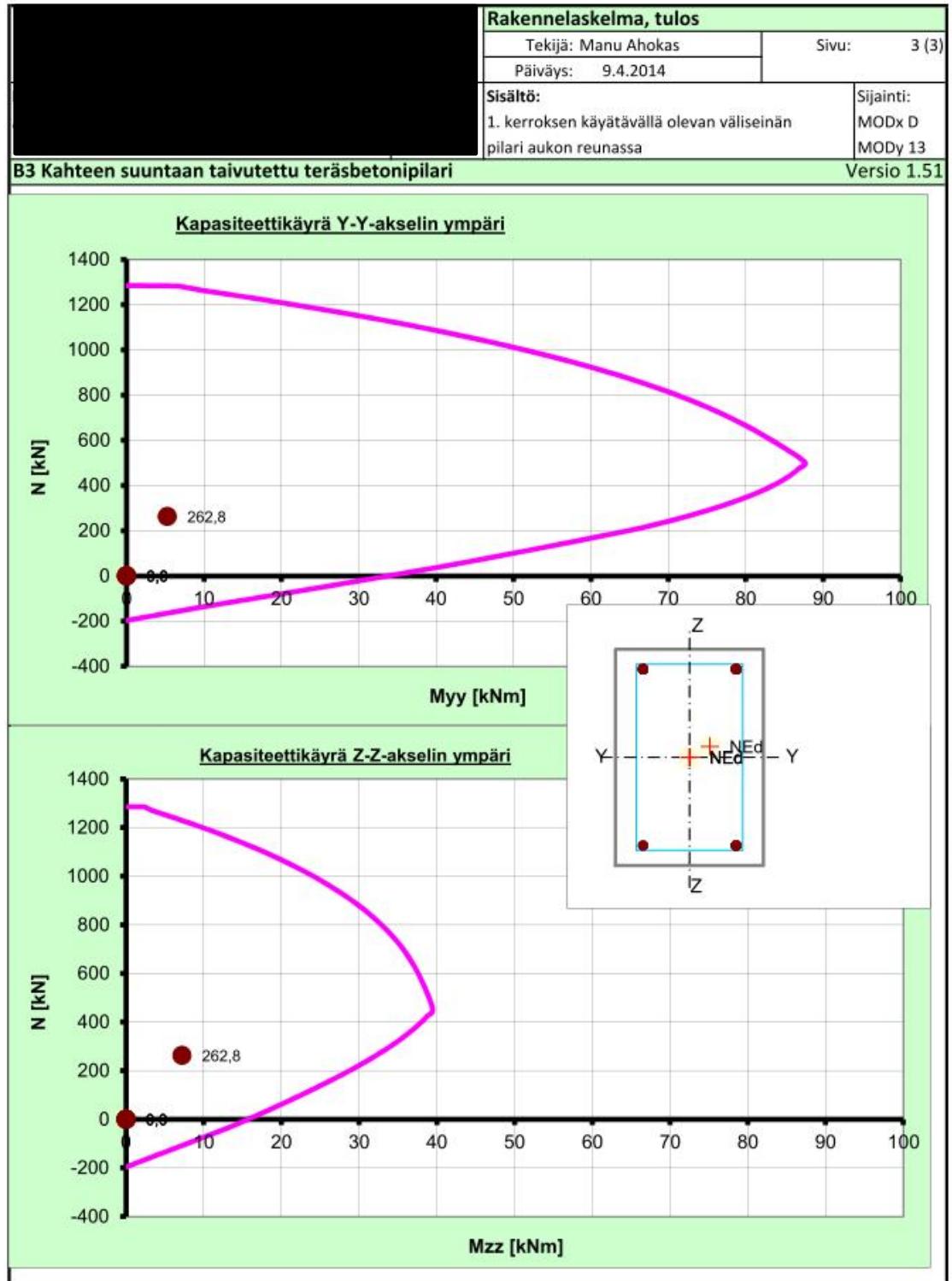
VSS		1 MOD X		17	MOD Y		ONNETTOMUUSTILANNE																Kok kuor		Kok kuor			
kerros	kenttä V	kenttä V	seinä	vp/vasen	vp/oikea	Gseinä	Glaatvas	Glaatoik	q'vas	q'oik	kerroin	Qhyöty	Piste Q	Piste G	jakaantum	summa G	summaQ	ma G	ma Q	Nk	Nd							
5	2	2 V	vp1	yp1	15,00	6,70	6,70	2,00	2,00	0,33	1,33	0,0	0,0	0,0	0,0	28,4	1,3	28,4	1,3									
4	0	2 V	vp1	yp1	15,00	2,00	9,13	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	0,0	0,0	24,1	0,8	24,1	0,8									
3	0	2 V	vp2	yp2	15,00	0,00	9,13	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	0,0	0,0	24,1	0,8	52,5	2,2									
2	0	2 V	vp1	yp2	15,00	0,00	9,13	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	0,0	0,0	24,1	0,8	76,7	3,0									
1	0	5,3 VSS	vp1	vp3	22,50	0,00	27,30	2,50	2,50	0,33	0,83	0,0	0,0	0,0	0,0	49,8	6,6	126,4	6,6									
per	0	0 VSS			22,50								0,0	0,0	1,0	22,5	0,0	148,9	6,6									
														0,0	0,0	173,1	70,1			243,2	304,2 KY2							
<b>ANTURALEVEYS</b>																												
SEINÄN NORMAALIVOIMASTA 243,2 kN/m b = 0,97 m																												
														stabiili alimman seinän momentti Md= 0 kNm kuormituksen epäkeskisyys M <sub>Ek</sub> = 0,0 m kuormitukseen anturan alla L <sub>ef</sub> = 4,4 m seinän pituus 4,4 m seinän metriskuorma leveydelle L <sub>ef</sub> = 243,2 kN/m														
SEINÄN PITUUDELLE L <sub>ef</sub> NORMAALIVOIMASTA 243,2 kN/m b = 0,97 m																												

## Liite 11 1. kerroksen aukkopilarin mitoitus

		Rakennelaskelma, tulos		
		Tekijä: Manu Ahokas	Sivu: 1 (3)	
		Päiväys: 9.4.2014		
		Sisältö:	Sijainti:	
		1. kerroksen käytävällä olevan väliseinän pilari aukon reunassa	MODx D MODy 13	
B3 Kahteen suuntaan taivutettu teräsbetonipilari			Versio 1.51	
SKOL Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011				
Poikkileikkauksen mitat:		Pilarin pituus ja nurjahduskertoimet:		
Korkeus, H =	400 mm	Pilarin pituus, L =	2200 mm	
Leveys, B =	200 mm	$\mu_{yy} =$	1	
$A_c =$	80000 mm <sup>2</sup>	$L_{0,yy} =$	2200 mm	
Betonipeitteen nimellisarvo ja max. raekoko:		$i_{yy} =$	115,5 mm	
Betonipeite, c =	25 mm	$\lambda_{yy} =$	19,05	
$\Delta c_{dev} =$	10 mm	$\mu_{zz} =$	1	
Max rakoko, $d_R =$	16 mm	$L_{0,zz} =$	2200 mm	
$c_{nom} =$	20 mm	$i_{zz} =$	57,7 mm	
$a_{min} =$	20 mm	$\lambda_{zz} =$	38,11	
Olosuhtedekijät:				
$t_0 =$	28	Rasitusluokka =	XC1	
$t =$	36500	Suun. käyttöikä =	50 vuotta	
$\varphi(t, t_0) =$	3,095	RH =	40 %	
Materiaalit:		Rauditus:		
Rakenneluokka = 2		$\phi_{main} = 12$ mm		
BETONITERÄS		teräsriv. h sivulla = 2 = nh		
Osavarmuusluku, $\gamma_s = 1,15$		teräsriv. b sivulla = 2 = nb		
$f_{yk}$ [Mpa]	500	$\Sigma bars =$	4 kpl	
$f_{yd}$ [Mpa]	434,78	$\omega =$	0,174	
$E_s$ [Mpa]	200000	$\phi_{Haat} =$	6 mm	
$\epsilon_{yd}$ [‰]	2,174	$\phi_{haka,min} =$	6 mm	
$\epsilon_{ud}$ [‰]	10	$s =$	150 mm	
BETONI		$S_{cl,max} =$	180 mm	
$\alpha_{cc} =$	0,85	$A_s =$	452 mm <sup>2</sup>	
Osavarmuusluku, $\gamma_c = 1,5$		$A_{s,min} =$	160 mm <sup>2</sup>	
$f_{ck}$ [Mpa]	25	$A_{s,max} =$	4800 mm <sup>2</sup>	
$f_{cd}$ [Mpa]	14,17	$i_{s,yy} =$	163,0 mm	
$f_{cm}$ [Mpa]	33	$i_{s,zz} =$	63,1 mm	
$E_{cm}$ [Gpa]	20,98	$d_{yy} =$	363,0 mm	
$\epsilon_{c3}$ [‰]	1,75	$d_{zz} =$	163,1 mm	
$\epsilon_{cu3}$ [‰]	3,5	UMPIHAAT RIITTÄVÄT		
$\lambda$	0,8	Rakenne on:		
$\eta$	1	Sivusiirtymätön Z-Z suunnassa		
Voimasuureet sisältävät 2-kertaluvun vaikutukset : Ei		Sivusiirtymätön Y-Y suunnassa		
Huomioi mittaepätarkkuudet: Y-Y suunnassa				
MRT - Murtorajatilien voimasuureet [kN] ja [kNm]				
Puristus = (+) Veto = (-) $N_{Ed}$ [kN]	Yläpää (top) $M_{0yy,top}$ [kNm] $M_{0zz,top}$ [kNm]		Alapää (btm) $M_{0yy,btm}$ [kNm] $M_{0zz,btm}$ [kNm]	
	KRT Pitkäaikaisen ja MRT Momentin suhde $(M_{0Ed,yy}/M_{0Ed,yy})$ $(M_{0Ed,zz}/M_{0Ed,zz})$		Kokonaiskaarevuuden jakaumasta riippuva kerroin $C_{yy}$ $C_{zz}$	
Tapaus 1	262,8		0,741	0,741
Tapaus 2			0,741	0,741
Tapaus 3			0,741	0,741
Tapaus 4			0,741	0,741

					Rakennelaskelma, tulos				
					Tekijä: Manu Ahokas	Sivu: 2 (3)			
					Päiväys: 9.4.2014				
					Sisältö:		Sijainti:		
					1. kerroksen käytävällä olevan väliseinän pilari aukon reunassa		MODx D MODy 13		
<b>B3 Kahteen suuntaan taivutettu teräsbetonipilari</b>							Versio 1.51		
<b>Mitoitus Y-Y akselin ympäri</b>									
Ekvivalentin vakiomomentin ja mittaepätarkkuuksien laskenta									
	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{01,yy}$ [kNm]	$M_{02,yy}$ [kNm]	$M_{0e,yy}$ [kNm]	$M_{i,yy}$ [kNm]	Huomioi epätarkkuus(ei): Y-Y suunnassa $e_{i,zz} = 5,50$ mm			
Tapaus 1	262,8								
Tapaus 2									
Tapaus 3									
Tapaus 4									
Taivutusmomentin mitoitusarvon laskenta									
	$\lambda_{yy}$	$\lambda_{yy} > \lambda_{lim,yy}$	$M_{02,yy}$ [kNm]	$M_{0e,yy}$ [kNm]	$M_{2,yy}$ [kNm]	$M_{i,yy}$ [kNm]	$e_{0,zz} * N_{Ed}$ [kNm]	$M_{Ed,yy}$ [kNm]	$M_{Rd,yy}$ [kNm]
Tapaus 1	23,1	Ei-hoikka					5,256	5,3	72,2
Tapaus 2	9999,0	Ei-hoikka							33,7
Tapaus 3	9999,0	Ei-hoikka							33,7
Tapaus 4	9999,0	Ei-hoikka							33,7
<b>Mitoitus Z-Z akselin ympäri</b>									
Ekvivalentin vakiomomentin ja mittaepätarkkuuksien laskenta									
	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{01,zz}$ [kNm]	$M_{02,zz}$ [kNm]	$M_{0e,zz}$ [kNm]	$M_{i,zz}$ [kNm]	Huomioi epätarkkuus(ei): Y-Y suunnassa $e_{i,yy} = 5,50$ mm			
Tapaus 1	262,8				1,4454				
Tapaus 2									
Tapaus 3									
Tapaus 4									
Taivutusmomentin mitoitusarvon laskenta									
	$\lambda_{zz}$	$\lambda_{zz} > \lambda_{lim,zz}$	$M_{02,zz}$ [kNm]	$M_{0e,zz}$ [kNm]	$M_{2,zz}$ [kNm]	$M_{i,zz}$ [kNm]	$e_{0,yy} * N_{Ed}$ [kNm]	$M_{Ed,zz}$ [kNm]	$M_{Rd,zz}$ [kNm]
Tapaus 1	23,1	Hoikka			5,75	1,4454	5,256	7,2	32,2
Tapaus 2	9999,0	Ei-hoikka							15,7
Tapaus 3	9999,0	Ei-hoikka							15,7
Tapaus 4	9999,0	Ei-hoikka							15,7
<b>Vino taivutus (EC2 kohta 5.8.9(4))</b>									
	$N_{Ed}$ [kN]	$N_{Ed}/N_{Rd}$	a	$(M_{Ed}/M_{Rd})_{yy}$	$(M_{Ed}/M_{Rd})_{zz}$	Kaava 5.39 tulos	Ehto: (5.39) < 1		
Tapaus 1	262,8	0,198	1,081	0,073	0,224	0,257	OK		
Tapaus 2			1,000				OK		
Tapaus 3			1,000				OK		
Tapaus 4			1,000				OK		
<b>HUOM! TÄMÄ LASKENTAPOHJA EI TEE PALOMITOITUSTA!</b> <b>PALOMITOITUS TEHTÄVÄ ERIKSEEN EUROKODI EN-1992-1-2 MUKAAN!</b>									





## Liite 12 Jäykistävän väliseinän mitoitus

**Kohde:** [REDACTED]  
**Sijainti:** 1. kerroksen jäykistävä seinä [REDACTED]

**Tekijä:** Manu Ahokas

**Pvm:** 7.4.2014

### Raudoittamaton seinä

Tuentatapa Kahdelta reunalta ▼

$l_w$  2640 mm  
 $b$  7350 mm  
 $\beta$  1  
 $l_0 = \beta \cdot l_w$  2640

Kuormat kN/m ▼

$h_w$  200 mm  
 $b_w$  1000 mm  
 $\alpha_{cc}$  0,85  
 $\alpha_{cc,pl}$  0,8

$\gamma_c$  1,5  
 $f_{ck}$  25 MPa  
 $f_{cd}$  14,16667 MPa  
 $f_{cd,pl}$  11,33333 MPa

$\lambda_{lim}$  20,29539

$\lambda$  45,72614 **HOIKKA**

Laskenta Hoikka ▼

Kuormat

$N_1$  528,5 kN/m  
 $N_2$  0 kN/m  
 $N_3$  kN/m  
 $N_4$  kN/m  
 $N_5$  kN/m  
 $N_6$  kN/m  
 $N_{tot}$  528,5 kN/m

$e_1$  20 mm  
 $e_2$  0 mm  
 $e_3$  0 mm  
 $e_4$  0  
 $e_5$  0  
 $e_6$  0

**M** 10,57 kNm/m  
**e** 20 mm

$e_i$  6,6 mm

$e_{min}$  20 mm

**$e_{tot}$**  26,6 mm

**$\phi$**  0,34954

**$N_{Rd}$**  792,2907 kN/m

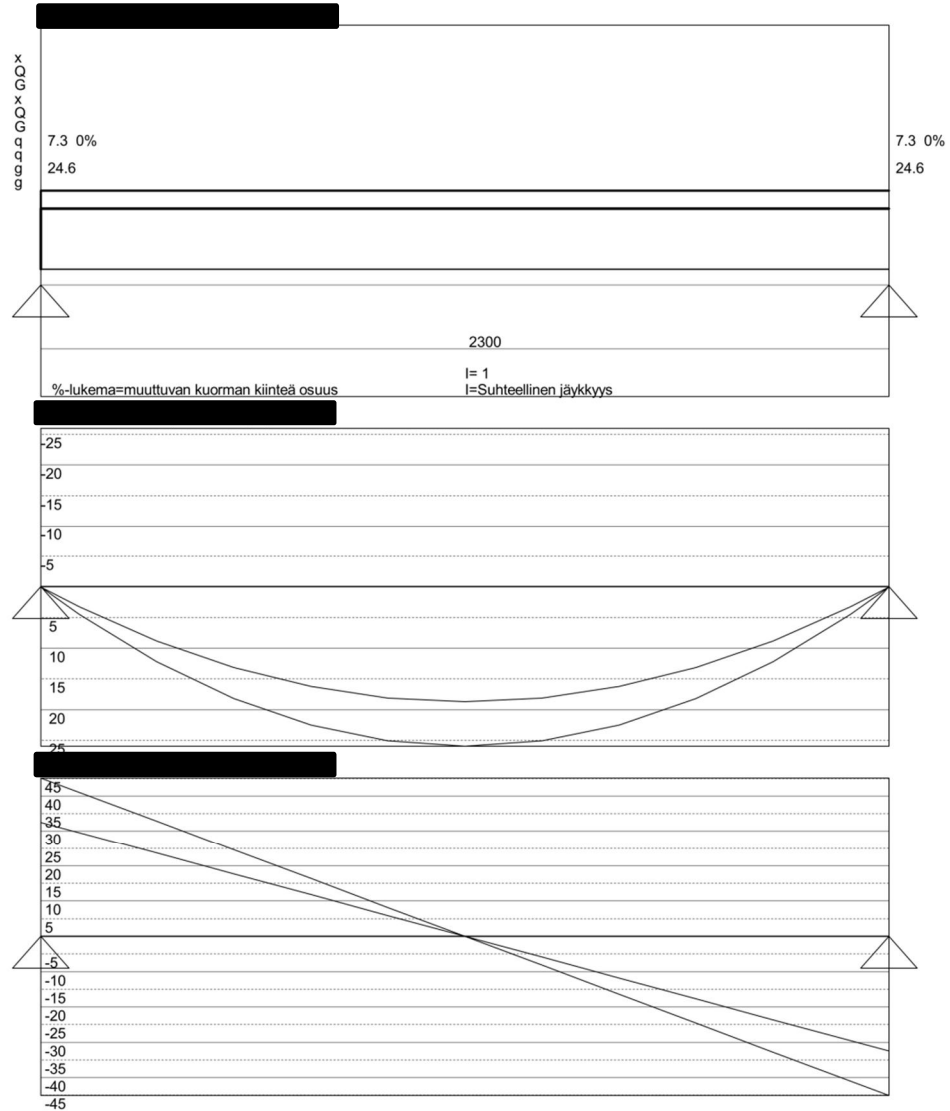
**Käyttöaste  $N_{tot}/N_{Rd}$**  67 %

# Liite 13 Aukkopalkin mitoitus

Palkin tunnus:

Pvm 17-04-2014

Pupax v.3.20 Ins tsto Pauli Närhi Laskennan suoritti:



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.15 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.5

Palkin oletettu kuormitusleveys 1 (m) (jolla yllä esitetyt jatkuvat kuormat on laskennassa kerrottu)

Max/min tukivoimat [kN]

45,117 45,126  
32,527 32,534

T24 50 x 1175 B 2 Cf=0,86 Mit menet SALL

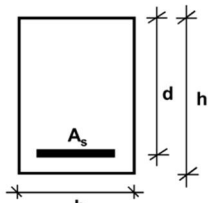
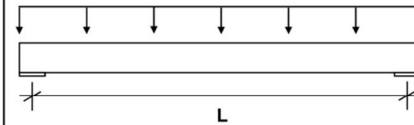
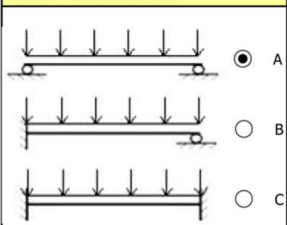
Sall jänn kor kerroin 1,22

Mmit/taiv kestävyys [kNm] 25,947 115,770 22 %

Vmit/leikk kestävyys [kN] 45,117 45,867 98 %

Taipumat (Sall taip L/300)

0,3 mm (3 %)

Rakennelaskelma			
Tekijä: Manu Ahokas		Sivu: 1 (3)	
Päiväys: 17.4.14			
Sisältö:		Sijainti:	
Ulkoseinäelementin ikkunanyliytyspalkki		MOD x 2	
		MOD y E-F	
B6 Teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen mitoitus			
SKOL Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011			
Geometria			
Palkin kokonaispituus	2290	mm	
Viisteet	0	mm	
Tukipinnan pituus	t = 135	mm	
Korkeus	h = 275	mm	
Leveys	b = 180	mm	
Jänneväli	L = 2155	mm	
Poikkileikk. pinta-ala	A_c = 49500	mm <sup>2</sup>	
Poikkileikk. piiri	u = 910	mm	
			<b>Valitse rakennemalli:</b> 
			<b>HUOM!</b> Palkin rasiutusten laskennassa käytetyn rakennemallin tulee vastata yllä valittua rakennemallia.
Rasitukset			
MRT laskentamomentti	M <sub>d</sub> = 26,0	kNm	<b>HUOM!</b> Taivutusmomenttien ja leikkausvoiman arvot tulee määrittää erikseen normien ja ohjeiden mukaisesti.
MRT laskentaleikkausvoima	V <sub>Ed</sub> = 45,1	kN	
KRT laskentamomentti, om.tai tav.yhdistelmä	M <sub>k1</sub> = 21,1	kNm	
KRT laskentamomentti, pitkäaikaisyhdistelmä	M <sub>k2</sub> = 21,1	kNm	
Onko käytettävissä yhdistelmässä lyhytaikaiskuormia:	kyllä		
Lyhytaikaiskuorman osuus:	30	%	
Kuormitusyhdistelmän valinta:	Ominais tai tavallinen		
Käyttörajan laskentamomenttien suhde:	η <sub>1</sub> = 1,00		
Materiaali ja ympäristö			
Rakenneluokka	2	Kiviaineen maksimi raekoko	d <sub>g</sub> = 16 mm
Betonin lujuus	C25/30	Ympäristön suhteellinen kosteus	RH = 60 %
Sementtilaji	N	Betonin ikä tarkasteluajankohtana	t = 50000 vrk
Rauditus	A500HW	Betonin ikä kuorman alkaessa	t <sub>0</sub> = 28 vrk
Rasitusluokka	XC1	Sallittu mittapoikkeama	Δc <sub>dev</sub> = 10 mm
Suunnitteluikä	50 vuotta	Betonipeitteen vähimmäisarvo	c <sub>min</sub> = 16 mm
		Betonipeitteen nimellisarvo	c <sub>nom</sub> = 26 mm
		Betonipeite haan pintaan	c = 26 mm
f <sub>ck</sub> = 25,0	MN/m <sup>2</sup>	f <sub>cm</sub> = 33,0	MN/m <sup>2</sup>
f <sub>ctm</sub> = 2,56	MN/m <sup>2</sup>	f <sub>ctk</sub> = 1,80	MN/m <sup>2</sup>
f <sub>yk</sub> = 500	MN/m <sup>2</sup>	f <sub>yd</sub> = 435	MN/m <sup>2</sup>
E <sub>cm</sub> = 31476	MN/m <sup>2</sup>	λ = 0,8	
E <sub>s</sub> = 200000	MN/m <sup>2</sup>	η <sub>2</sub> = 1,0	
f <sub>cd</sub> = 14,2	MN/m <sup>2</sup>	f <sub>ctd</sub> = 1,20	MN/m <sup>2</sup>
ε <sub>cu2</sub> = 3,50	‰	φ(t, t <sub>0</sub> ) = 2,62	
E <sub>c,eff</sub> = 31476	MN/m <sup>2</sup>	ε <sub>sd</sub> = 2,17	‰

Rakennelaskelma	
Tekijä: Manu Ahokas	Sivu: 2 (3)
Päiväys: 17.4.14	
Sisältö:	Sijainti:
Ulkoseinäelementin ikkunanylityspalkki	MOD x 2
	MOD y E-F

Teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen mitoitus		Versio 1.52				
Rauditus HUOM! Puristusteräksien määrä tulee asettaa lähtökohtaisesti nollassi.						
	Puristusteräks	Φ <sub>c</sub> [mm]	n <sub>c</sub> [kpl]	A <sub>sc</sub> [mm <sup>2</sup> ]	d <sub>c</sub> [mm]	
		12	0	0	0	
	Veto- teräks	Rivi	Φ <sub>1</sub> , Φ <sub>2</sub> [mm]	n <sub>1</sub> , n <sub>2</sub> [kpl]	A <sub>s1</sub> , A <sub>s2</sub> [mm <sup>2</sup> ]	d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub> [mm]
	Yläriivi	2	8	0	0	233
	Alariivi	1	16	2	402	233
				402 = A <sub>s</sub>	233 = d <sub>kesk</sub>	
e <sub>vv</sub> = max[20; d <sub>g</sub> +3; Φ <sub>1</sub> ] =		20	mm			
e <sub>1</sub> = (c+Φ <sub>h</sub> +(Φ <sub>1</sub> /2)) =		42	mm			
e <sub>2</sub> = e <sub>1</sub> +(Φ <sub>1</sub> /2)+e <sub>vv</sub> +(Φ <sub>2</sub> /2) =		42	mm			
d <sub>c</sub> = (c+Φ <sub>h</sub> +(Φ <sub>2</sub> /2)) =		0	mm			
Haat	Φ <sub>h</sub> =	8	mm	Hakojen suuntakulma	α <sub>h</sub> = 90 deg	
Leikkeiden määrä	n <sub>h</sub> =	2	kpl	1 ≤ cot θ ≤ 2,5	cot θ = 2,5	
Hakojen jakoväli	s <sub>h</sub> =	170	mm	Leikkausraudoitus	A <sub>sw</sub> = 101 mm <sup>2</sup> /haka	
					A <sub>sw,tot</sub> = 591 mm <sup>2</sup> /m	
Tarkista paloluokkavaatimusten toteutuminen (e1)!						
Taivutuskestävyys						
ω =	(A <sub>s</sub> f <sub>yd</sub> ) / (b d η <sub>2</sub> f <sub>cd</sub> ) =	0,294	μ =	ω (1 - d <sub>c</sub> /d) - β <sub>c</sub> (β <sub>c</sub> /2 - d <sub>c</sub> /d)		
ω <sub>c</sub> =	(A <sub>sc</sub> f <sub>yd</sub> ) / (b d η <sub>2</sub> f <sub>cd</sub> ) =	0,000		μ =	0,251	
β <sub>c</sub> =	ω - ω <sub>c</sub> =	0,294	A <sub>s,min</sub> =	(0,26 f <sub>ctm</sub> b d) / f <sub>yk</sub> > 0,0013 b d		
β <sub>b</sub> =	λ ε <sub>cu2</sub> / (ε <sub>cu2</sub> + (f <sub>yk</sub> /E <sub>s</sub> )) =	0,467		A <sub>s,min</sub> =	56 mm <sup>2</sup>	
x =	β <sub>c</sub> d / λ =	85,7	M <sub>pl,Rd</sub> =	μ b d <sup>2</sup> η <sub>2</sub> f <sub>cd</sub> =	34,7 kNm	
ε <sub>sc</sub> =	ε <sub>cu</sub> (1-(d <sub>c</sub> /x)) =	0,00	Rakenteessa ei puristusraudoitusta			
ε <sub>sc</sub> / ε <sub>sd</sub> =		0,00				
Taivutuskestävyys, poikkileikkauksen käyttöaste			M <sub>d</sub> /M <sub>pl,Rd</sub> = 0,75 OK			
Minimiraudoitus			A <sub>s</sub> > A <sub>s,min</sub> OK			
Vetomurtumisehto			β <sub>c</sub> < β <sub>b</sub> OK			
Leikkauskestävyys						
z =	0,9d =	210	mm	V <sub>Rd,s</sub> =	(A <sub>sw</sub> /s) z f <sub>yd</sub> (cot θ + cot α <sub>h</sub> ) sin α <sub>h</sub>	
v <sub>1</sub> =	0,6 (1 - (f <sub>ck</sub> / 250)) =	0,54			V <sub>Rd,s</sub> = 134,8 kN	
s <sub>h,max</sub> =	0,75 d (1 + cot α <sub>h</sub> ) =	175	mm	V <sub>Rd,max</sub> =	α <sub>cw</sub> b <sub>w</sub> z v <sub>1</sub> η <sub>2</sub> f <sub>cd</sub> (cot θ + cot α <sub>h</sub> ) / (1 + cot <sup>2</sup> θ)	
A <sub>sw,min</sub> =	(0,08 f <sub>ck</sub> <sup>0,5</sup> b <sub>w</sub> sin α <sub>h</sub> ) / f <sub>yk</sub>			V <sub>Rd,max</sub> =	99,6 kN	
	A <sub>sw,min</sub> =	144	mm <sup>2</sup> /m	V <sub>Rd</sub> =	min [V <sub>Rd,s</sub> ; V <sub>Rd,max</sub> ] = 99,6 kN	
				V <sub>Rd,c</sub> =	28,0 kN	
				V <sub>Rd,c,min</sub> =	19,6 kN	
HUOM! Suurempi leikkauskapasiteetti edellyttää, että poikkileikkauksen mittoja kasvatetaan!						
Leikkauskestävyys V <sub>Ed</sub> /V <sub>Rd</sub> =			0,45 OK			
Minimiraudoitus A <sub>sw,tot</sub> > A <sub>sw,min</sub>			OK			
Hakojen maksimiväli s <sub>h</sub> < s <sub>h,max</sub>			OK			

Rakennelaskelma	
Tekijä: Manu Ahokas	Sivu: 3 (3)
Päiväys: 17.4.14	
Sisältö:	Sijainti:
Ulkoseinäelementin ikkunanylityspalkki	MOD x 2
	MOD y E-F
Teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen mitoitus	
Versio 1.52	
Kutistuma	
Poikkileikkauksen nimellismitta	$h_0 = 2A_c / u =$ 108,8 mm
Nimellinen kuivumiskutistuma	$\epsilon_{cd,0} =$ 0,000459
Kuivumiskutistuman loppuarvo	$\epsilon_{cd,\infty} = k_h \epsilon_{cd,0} =$ 0,000453
Sisäisen kutistuman loppuarvo	$\epsilon_{ca,\infty} = 2,5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} =$ 3,75E-05
Kokonaiskutistuman loppuarvo	$\epsilon_{cs,\infty} = \epsilon_{cd,\infty} + \epsilon_{ca,\infty} =$ 0,00049
Pituuden muutos	$\Delta L =$ 1,12 mm
Taipuma	
$\alpha_e = E_s / E_{c,eff}$	$\alpha_e =$ 6,4
$x_1 = (bh^2/2 + (\alpha_e - 1)(A_s d + A_{sc} d_c)) / (bh + (\alpha_e - 1)(A_s + A_{sc}))$	$x_1 =$ 141 mm
$I_1 = bh^3/12 + bh(h/2 - x_1)^2 + (\alpha_e - 1)[A_s(d - x_1)^2 + A_{sc}(x_1 - d_c)^2]$	$I_1 =$ 0,00033 m <sup>4</sup>
$x_2 = \{ [A_s \alpha_e + A_{sc}(\alpha_e - 1)]^2 + 2b[A_s \alpha_e d + A_{sc} d_c(\alpha_e - 1)] \}^{0,5} - [A_s \alpha_e + A_{sc}(\alpha_e - 1)] / b$	$x_2 =$ 68 mm
$I_2 = bx_2^3/3 + \alpha_e A_s(d - x_2)^2 + (\alpha_e - 1)A_{sc}(d_c - x_2)^2$	$I_2 =$ 0,00009 m <sup>4</sup>
$(EI)_1 = E_{c,eff} I_{c1} =$ 10,4 MNm <sup>2</sup>	
$(EI)_2 = E_{c,eff} I_{c2} =$ 2,8 MNm <sup>2</sup>	
$S_1 = A_s(d - x_1) - A_{sc}(x_1 - d_c)$	$M_{cr} = f_{ctm} W =$ 6,4 kNm
$S_2 = A_s(d - x_2) - A_{sc}(x_2 - d_c)$	$S_1 =$ 36802,1 mm <sup>3</sup>
	$S_2 =$ 66203,0 mm <sup>3</sup>
$\beta = \begin{cases} 1,0 & \text{ominais- tai tavalliselle yhdistelmälle} \\ 0,5 & \text{pitkäaikaisyhdistelmälle} \end{cases}$	$\beta =$ 1,00
$\zeta = 1 - \beta(M_{cr}/M_{k,max})^2$	$\zeta =$ 0,909 $\geq 0$
$(1/r)_M = (\zeta M_k / EI_1) + ((1-\zeta) M_k / EI_2)$	$(1/r)_M =$ 0,00253 1/m
$(1/r)_{cs} = \zeta \epsilon_{cs} \alpha_e (S_1 / I_1) + (1 - \zeta) \epsilon_{cs} \alpha_e (S_2 / I_2)$	$(1/r)_{cs} =$ 5,27E-07 1/m
$1/r = (1/r)_M + (1/r)_{cs}$	$1/r =$ 0,002531 1/m
$w_{tot} = K L^2 (1/r) \quad K = \begin{cases} 5/48 & (A) \\ 128/1665 & (B) \\ 1/16 & (C) \end{cases}$	$w_{tot} =$ 1,2 mm
	$L/250 =$ 8,6 mm
Tarkista normin vaatimusten toteutuminen!	
Halkeamaleveys	
$\Phi_{eq} = (n_1 \Phi_1^2 + n_2 \Phi_2^2) / (n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2)$	$\Phi_{eq} =$ 16 mm
$A_{c,eff} = b \min[2,5(h - d); (h - x_2)/3; h/2]$	$A_{c,eff} =$ 12398 mm <sup>2</sup>
$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} =$ 0,032
$\sigma_c = M_{k1} / [0,5bx_2(d - x_2/3) + (\alpha_e - 1)A_{sc}(x_2 - d_c)/x_2(d - d_c)]$	$\sigma_c =$ 16,3 MN/m <sup>2</sup>
$\sigma_s = \alpha_e \sigma_c(d - x_2) / x_2$	$\sigma_s =$ 249,6 MN/m <sup>2</sup>
$k_t = \begin{cases} 0,6 & \text{ominais- tai tavalliselle yhdistelmälle} \\ (0,6M_{k1} + 0,4M_{k2}) / (M_{k1} + M_{k2}) & \text{pitkäaikaisyhdistelmälle} \end{cases}$	$k_t =$ 0,60
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t(f_{ctm}/\rho_{s,eff})(1 + \alpha_e \rho_{s,eff})] / E_s > 0,6\sigma_s/E_s$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$ 0,00096
$c_c =$ 34 mm	$s_{r,max} = k_3 c_c + k_1 k_2 k_4 \Phi_{eq} / \rho_{s,eff} =$ 199 mm
	$w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$ 0,192 mm
Tarkista normin vaatimusten toteutuminen!	

HUOM! Ohjelma laskee halkeamaleveyden vaikka  $M_k < M_{cr}$ .



## Liite 14 Porrashuoneen laattaelementin mitoitus

Rakennelaskelma			
Tekijä:	Manu Ahokas	Sivu:	1 (3)
Päiväys:	7.4.14		
Sisältö:		Sijainti:	
Porrashuoneen laattaelementti		MOD x 5-9	
Alapinnan verkko		MOD y D-E	
<b>B6 Teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen mitoitus</b>		Versio 1.52	
Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011			
<b>Geometria</b>			
Palkin kokonaispituus	2500 mm		<b>Valitse rakennemalli:</b> 
Viisteet	0 mm		
Tukipinnan pituus	t = 100 mm		
Korkeus	h = 240 mm		
Leveys	b = 1000 mm		
Jänneväli	L = 2400 mm		
Poikkileikk. pinta-ala	$A_c = 240000 \text{ mm}^2$		
Poikkileikk. piiri	u = 2480 mm		
		<b>HUOM!</b> Palkin rasiusten laskennassa käytetyn rakennemallin tulee vastata yllä valittua rakennemallia.	
<b>Rasitukset</b>			
MRT laskentamomentti	$M_d = 18,2 \text{ kNm}$	<b>HUOM!</b> Taivutusmomenttien ja leikkausvoiman arvot tulee määrittää erikseen normien ja ohjeiden mukaisesti.	
MRT laskentaleikkausvoima	$V_{Ed} = 40,0 \text{ kN}$		
KRT laskentamomentti, om.tai tav.yhdistelmä	$M_{k1} = 11,7 \text{ kNm}$		
KRT laskentamomentti, pitkäaikaisyhdistelmä	$M_{k2} = 11,7 \text{ kNm}$		
Onko käytettävässä yhdistelmässä lyhytaikaikuormia:	<b>kyllä</b>		
Lyhytaikaikuorman osuus:	35 %		
Kuormitusyhdistelmän valinta:	<b>Pitkäaikais</b>		
Käyttörajan laskentamomenttien suhde:	$\eta_1 = 0,65$		
<b>Materiaali ja ympäristö</b>			
Rakenneluokka	2	Kiviaineen maksimi raekoko	$d_g = 16 \text{ mm}$
Betonin lujuus	C25/30	Ympäristön suhteellinen kosteus	RH = 60 %
Sementtilaji	N	Betonin ikä tarkasteluajankohtana	t = 50000 vrk
Rauditus	A500HW	Betonin ikä kuorman alkaessa	$t_0 = 28 \text{ vrk}$
Rasitusluokka	XC1	Sallittu mittapoikkeama	$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$
Suunnitteluikä	50 vuotta	Betonipeitteen vähimmäisarvo	$c_{min} = 10 \text{ mm}$
		Betonipeitteen nimellisarvo	$c_{nom} = 20 \text{ mm}$
		Betonipeite haan pintaan	c = 25 mm
$f_{ck} = 25,0 \text{ MN/m}^2$	$f_{cm} = 33,0 \text{ MN/m}^2$	$f_{cd} = 14,2 \text{ MN/m}^2$	
$f_{ctm} = 2,56 \text{ MN/m}^2$	$f_{ctk} = 1,80 \text{ MN/m}^2$	$f_{ctd} = 1,20 \text{ MN/m}^2$	
$f_{yk} = 500 \text{ MN/m}^2$	$f_{yd} = 435 \text{ MN/m}^2$	$\epsilon_{cu2} = 3,50 \text{ ‰}$	
$E_{cm} = 31476 \text{ MN/m}^2$	$\lambda = 0,8$	$\varphi(t, t_0) = 2,41$	
$E_s = 200000 \text{ MN/m}^2$	$\eta_2 = 1,0$	$E_{c,eff} = 12269 \text{ MN/m}^2$	
		$\epsilon_{sd} = 2,17 \text{ ‰}$	

Rakennelaskelma	
Tekijä: Manu Ahokas	Sivu: 2 (3)
Päiväys: 7.4.14	
Sisältö:	Sijainti:
Porrashuoneen laattaelementti	MOD x 5-9
Alapinnan verkko	MOD y D-E

Teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen mitoitus		Versio 1.52																																								
<b>Raudoitus</b> <span style="color: blue;">HUOM! Puristusteräksien määrä tulee asettaa lähtökohtaisesti nolllaksi.</span>																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Puristusteräks</th> <th><math>\Phi_c</math> [mm]</th> <th><math>n_c</math> [kpl]</th> <th><math>A_{sc}</math> [mm<sup>2</sup>]</th> <th><math>d_c</math> [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Veto- teräks</th> <th>Rivi</th> <th><math>\Phi_1, \Phi_2</math> [mm]</th> <th><math>n_1, n_2</math> [kpl]</th> <th><math>A_{s1}, A_{s2}</math> [mm<sup>2</sup>]</th> <th><math>d_1, d_2</math> [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ylärivi</td> <td>2</td> <td>8</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>203</td> </tr> <tr> <td>Alarivi</td> <td>1</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>302</td> <td>203</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>302</td> <td>203</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>= A_s</math></td> <td><math>= d_{hesk}</math></td> </tr> </tbody> </table>	Puristusteräks	$\Phi_c$ [mm]	$n_c$ [kpl]	$A_{sc}$ [mm <sup>2</sup> ]	$d_c$ [mm]		20	0	0	0	Veto- teräks	Rivi	$\Phi_1, \Phi_2$ [mm]	$n_1, n_2$ [kpl]	$A_{s1}, A_{s2}$ [mm <sup>2</sup> ]	$d_1, d_2$ [mm]	Ylärivi	2	8	0	0	203	Alarivi	1	8	6	302	203					302	203					$= A_s$	$= d_{hesk}$	
Puristusteräks	$\Phi_c$ [mm]	$n_c$ [kpl]	$A_{sc}$ [mm <sup>2</sup> ]	$d_c$ [mm]																																						
	20	0	0	0																																						
Veto- teräks	Rivi	$\Phi_1, \Phi_2$ [mm]	$n_1, n_2$ [kpl]	$A_{s1}, A_{s2}$ [mm <sup>2</sup> ]	$d_1, d_2$ [mm]																																					
Ylärivi	2	8	0	0	203																																					
Alarivi	1	8	6	302	203																																					
				302	203																																					
				$= A_s$	$= d_{hesk}$																																					
$e_{vv} = \max[20; d_g + 3; \Phi_1] =$ $e_1 = (c + \Phi_h + (\Phi_1/2)) =$ $e_2 = e_1 + (\Phi_1/2) + e_{vv} + (\Phi_2/2) =$ $d_c = (c + \Phi_h + (\Phi_c/2)) =$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>20</td></tr> <tr><td>37</td></tr> <tr><td>37</td></tr> <tr><td>0</td></tr> </tbody> </table>	20	37	37	0																																					
20																																										
37																																										
37																																										
0																																										
Haat $\Phi_h =$ Leikkeiden määrä $n_h =$ Hakojen jakoväli $s_h =$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>8</td></tr> <tr><td>3</td></tr> <tr><td>150</td></tr> </tbody> </table>	8	3	150	Hakojen suuntakulma $\alpha_h =$ $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$ Leikkausraudoitus $A_{sw} =$ $A_{sw, tot} =$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>90</td></tr> <tr><td>2,0</td></tr> <tr><td>151</td></tr> <tr><td>1005</td></tr> </tbody> </table> deg mm <sup>2</sup> /haka mm <sup>2</sup> /m	90	2,0	151	1005																																
8																																										
3																																										
150																																										
90																																										
2,0																																										
151																																										
1005																																										
<b>Taivutuskestävyys</b>																																										
$\omega = (A_s f_{yd}) / (b d \eta_2 f_{cd}) =$ $\omega_c = (A_{sc} f_{yd}) / (b d \eta_2 f_{cd}) =$ $\beta_c = \omega - \omega_c =$ $\beta_b = \lambda \epsilon_{cu2} / (\epsilon_{cu2} + (f_{yk}/E_s)) =$ $\chi = \beta_c d / \lambda =$ $\epsilon_{sc} = \epsilon_{cu} (1 - (d_c/\chi)) =$ $\epsilon_{sc} / \epsilon_{sd} =$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>0,046</td></tr> <tr><td>0,000</td></tr> <tr><td>0,046</td></tr> <tr><td>0,467</td></tr> <tr><td>11,6</td></tr> <tr><td>0,00</td></tr> <tr><td>0,00</td></tr> </tbody> </table>	0,046	0,000	0,046	0,467	11,6	0,00	0,00	$\mu = \omega (1 - d_c/d) - \beta_c (\beta_c/2 - d_c/d)$ $A_{s, min} = (0,26 f_{cdm} d b) / f_{yk} > 0,0013 b d$ $M_{pl, Rd} = \mu b d^2 \eta_2 f_{cd} =$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>0,045</td></tr> <tr><td>271</td></tr> <tr><td>26,0</td></tr> </tbody> </table> mm <sup>2</sup> kNm	0,045	271	26,0																													
0,046																																										
0,000																																										
0,046																																										
0,467																																										
11,6																																										
0,00																																										
0,00																																										
0,045																																										
271																																										
26,0																																										
Taivutuskestävyys, poikkileikkauksen käyttöaste Minimiraudoitus Vetomurtumisehto		$M_d / M_{pl, Rd} =$ $A_s > A_{s, min}$ $\beta_c < \beta_b$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>0,70</td></tr> <tr><td>OK</td></tr> <tr><td>OK</td></tr> <tr><td>OK</td></tr> </tbody> </table>	0,70	OK	OK	OK																																			
0,70																																										
OK																																										
OK																																										
OK																																										
<b>Leikkauskestävyys</b>																																										
$z = 0,9d =$ $v_1 = 0,6 (1 - (f_{ck} / 250)) =$ $s_{h, max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha_h) =$ $A_{sw, min} = (0,08 f_{ck}^{0,5} b_w \sin \alpha_h) / f_{yk}$ $A_{sw, min} =$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>183</td></tr> <tr><td>0,54</td></tr> <tr><td>152</td></tr> <tr><td>800</td></tr> </tbody> </table> mm mm mm <sup>2</sup> /m	183	0,54	152	800	$V_{Rd, s} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha_h) \sin \alpha_h$ $V_{Rd, max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 \eta_2 f_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha_h) / (1 + \cot^2 \theta)$ $V_{Rd} = \min [V_{Rd, s}; V_{Rd, max}] =$ $V_{Rd, c} =$ $V_{Rd, c, min} =$	<table border="1"> <tbody> <tr><td>159,7</td></tr> <tr><td>559,1</td></tr> <tr><td>159,7</td></tr> <tr><td>75,2</td></tr> <tr><td>99,9</td></tr> </tbody> </table> kN kN kN kN	159,7	559,1	159,7	75,2	99,9																														
183																																										
0,54																																										
152																																										
800																																										
159,7																																										
559,1																																										
159,7																																										
75,2																																										
99,9																																										
Leikkauskestävyys $V_{Ed} / V_{Rd} =$ Minimiraudoitus $A_{sw, tot} > A_{sw, min}$ Hakojen maksimiväli $s_h < s_{h, max}$		<table border="1"> <tbody> <tr><td>0,25</td></tr> <tr><td>OK</td></tr> <tr><td>OK</td></tr> <tr><td>OK</td></tr> </tbody> </table>	0,25	OK	OK	OK																																				
0,25																																										
OK																																										
OK																																										
OK																																										



Rakennelaskelma			
Tekijä:	Manu Ahokas	Sivu:	3 (3)
Päiväys:	7.4.14		
Sisältö:		Sijainti:	
Porrashuoneen laattaelementti		MOD x 5-9	
Alapinnan verkko		MOD y D-E	
Teräsbetonisen suorakaidepoikkileikkauksen mitoitus			
		Versio 1.52	
Kutistuma			
Poikkileikkauksen nimellismitta	$h_0 = 2A_c / u =$	193,5	mm
Nimellinen kuivumiskutistuma	$\epsilon_{cd,0} =$	0,000459	
Kuivumiskutistuman loppuarvo	$\epsilon_{cd,\infty} = k_h \epsilon_{cd,0} =$	0,000394	jossa $k_h =$ <b>0,86</b>
Sisäisen kutistuman loppuarvo	$\epsilon_{cs,\infty} = 2,5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} =$	3,75E-05	
Kokonaiskutistuman loppuarvo	$\epsilon_{cs,\infty} = \epsilon_{cd,\infty} + \epsilon_{cs,\infty} =$	0,000432	
Pituuden muutos	$\Delta L =$	1,08	mm
Taipuma			
$\alpha_e =$	$E_s / E_{c,eff}$	$\alpha_e =$	16,3
$x_1 =$	$(bh^2/2 + (\alpha_e - 1)(A_s d + A_{sc} d_c)) / (bh + (\alpha_e - 1)(A_s + A_{sc}))$	$x_1 =$	122 mm
$I_1 =$	$bh^3/12 + bh(h/2 - x_1)^2 + (\alpha_e - 1)[A_s(d - x_1)^2 + A_{sc}(x_1 - d_c)^2]$	$I_1 =$	0,00118 m <sup>4</sup>
$x_2 =$	$\{([A_s \alpha_e + A_{sc}(\alpha_e - 1)]^2 + 2b[A_s \alpha_e d + A_{sc} d_c(\alpha_e - 1)])^{0.5} - [A_s \alpha_e + A_{sc}(\alpha_e - 1)]\} / b$	$x_2 =$	40 mm
$I_2 =$	$bx_2^3/3 + \alpha_e A_s(d - x_2)^2 + (\alpha_e - 1)A_{sc}(d_c - x_2)^2$	$I_2 =$	0,00015 m <sup>4</sup>
$(EI)_1 =$	$E_{c,eff} I_{c1} =$	14,5	MNm <sup>2</sup>
$(EI)_2 =$	$E_{c,eff} I_{c2} =$	1,9	MNm <sup>2</sup>
$S_1 =$	$A_s(d - x_1) - A_{sc}(x_1 - d_c)$	$M_{cr} =$	$f_{ctm} W =$ 25,6 kNm
$S_2 =$	$A_s(d - x_2) - A_{sc}(x_2 - d_c)$	$S_1 =$	24560,0 mm <sup>3</sup>
		$S_2 =$	49150,4 mm <sup>3</sup>
$\beta =$	$\begin{cases} 1,0 & \text{ominais- tai tavalliselle yhdistelmälle} \\ 0,5 & \text{pitkäaikaisyhdistelmälle} \end{cases}$	$\beta =$	0,50
$\zeta =$	$1 - \beta(M_{cr}/M_{k,max})^2$	$\zeta =$	0,000 $\geq 0$
$(1/r)_M =$	$(\zeta M_k / EI_1) + ((1 - \zeta) M_k / EI_2)$	$(1/r)_M =$	0,00628 1/m
$(1/r)_{cs} =$	$\zeta \epsilon_{cs} \alpha_e (S_1 / I_1) + (1 - \zeta) \epsilon_{cs} \alpha_e (S_2 / I_2)$	$(1/r)_{cs} =$	2,28E-06 1/m
$1/r =$	$(1/r)_M + (1/r)_{cs}$	$1/r =$	0,006278 1/m
$w_{tot} =$	$K L^2 (1/r) \quad K = \begin{cases} 5/48 & (A) \\ 128/1665 & (B) \\ 1/16 & (C) \end{cases}$	$w_{tot} =$	3,8 mm
		$L/250 =$	9,6 mm
Tarkista normin vaatimusten toteutuminen!			
Halkeamaleveys			
$\Phi_{eq} =$	$(n_1 \Phi_1^2 + n_2 \Phi_2^2) / (n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2)$	$\Phi_{eq} =$	8 mm
$A_{c,eff} =$	$b \min[2,5(h - d); (h - x_2)/3; h/2]$	$A_{c,eff} =$	66656 mm <sup>2</sup>
$\rho_{s,eff} =$	$A_s / A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} =$	0,005
$\sigma_c =$	$M_{k1} / [0,5bx_2(d - x_2/3) + (\alpha_e - 1)A_{sc}(x_2 - d_c)/x_2(d - d_c)]$	$\sigma_c =$	3,1 MN/m <sup>2</sup>
$\sigma_s =$	$\alpha_e \sigma_c(d - x_2) / x_2$	$\sigma_s =$	204,5 MN/m <sup>2</sup>
$k_t =$	$\begin{cases} 0,6 & \text{ominais- tai tavalliselle yhdistelmälle} \\ (0,6M_{k1} + 0,4M_{k2}) / (M_{k1} + M_{k2}) & \text{pitkäaikaisyhdistelmälle} \end{cases}$	$k_t =$	0,50
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$	$[\sigma_s - k_t(f_{ctm}/\rho_{s,eff})(1 + \alpha_e \rho_{s,eff})]/E_s > 0,6\sigma_s/E_s$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$	0,00061
$c_c =$	33 mm	$s_{r,max} =$	$k_3 c_c + k_1 k_2 k_4 \Phi_{eq} / \rho_{s,eff} =$ 413 mm
		$w_k =$	$s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$ <b>0,253 mm</b>
Tarkista normin vaatimusten toteutuminen!			

HUOM! Ohjelma laskee halkeamaleveyden vaikka  $M_k < M_{cr}$ .