

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Timo Hytönen

# **TAITER-ANSAAN KÄYTTÖ PASSIIVIENERGIASANDWICH-RAKENTEESSA**

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

Timo Hytönen

Taiter-ansaan käyttö passiivienergi sandwich-rakenteessa, 79 sivua, 6 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2010

Ohjaajat: lehtori Petri Himmi, Saimaan AMK

toimitusjohtaja Markku Vähä-Mustajärvi, Mikkelin Betoni Oy

toimitusjohtaja Juhani Kauko, Joutsenon Elementti Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia uudentyyppisen pistoansaan toimintaa betonisandwich-rakenteessa. Ansaan toimintaa tutkittiin varioimalla käytettyjä eristemateriaaleja ja niiden paksuuksia.

Opinnäytetyö oli osana Mikkelin Betoni Oy:n ja Joutsenon Elementti Oy:n tutkimusprojektia, jossa tavoitteena on kehittää kiristyvien lämmöneristysvaatimusten edellyttämä sandwich-elementti.

Opinnäytetyö koostuu laskentaosasta ja elementtien koekuormituksista. Laskentaosan tarkoituksena oli laskea testattaville elementeille teoreettiset kestävyudet. Laskentaosassa tehtiin Excel-pohjainen mitoituslaskenta, jonka avulla voitiin helposti tutkia eri rakennemuutosten vaikutusta elementissä vaikuttaviin rasituksiin.

Koekuormitusten tarkoituksena oli tutkia elementtien todellisia kestävyksiä, todellisia kuormituksia mallintavalla koejärjestelyllä.

Laskenta- ja teoriaosioista saatuja tuloksia vertailtiin ja pohdittiin mahdollisten eroavaisuuksien syitä.

Työn aikana havaittiin monia merkittäviä tekijöitä, jotka vaikuttavat elementtirakenteen toimintaan ja kestävyteen. Näiden tekijöiden huomioiminen tulevaisuuden elementtirakentamisessa on tärkeää. Opinnäytetyö pyrkii omalta osaltaan tutkimaan ja osoittamaan näiden tekijöiden huomioon ottamisen merkitystä.

Avainsanat: Sandwich, elementti, passiivienergia, Taiter, pistoansas

## ABSTRACT

Timo Hytönen

The use of Taiter in a passive energy sandwich structure, 79 pages, 6 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Structural Engineering

Final Year Project 2010

Instructors: Senior lecturer Petri Himmi, Saimaa University of Applied Sciences

Managing director Markku Vähä-Mustajärvi, Mikkelin Betoni Oy

Managing director Juhani Kauko, Joutsenon Elementti Oy

The purpose of this scholarly thesis was to research the behaviour of a new kind of sting truss in concrete sandwich-element. The behaviour of truss was researched by varying the used insulation materials and their thicknesses.

The thesis was a part of a research project by Mikkelin Betoni Oy and Joutsenon Elementti Oy. The objective of this project was to develop a sandwich-element which meets the demands of insulation materials.

The thesis consists of a calculation part and test loads of the used elements. The purpose of the calculation part was to compute theoretical tolerances of test elements. The calculation part consisted of excel-based sheet, which can be easily used to research the effect of the whole structural work by changing one part of the element.

The purpose of test load was to research the real capacity of elements when loaded with loads which respond to stresses caused by the real situation.

The results of the calculation part and test loads were compared which factors causing the differences of results were considered.

The research of this work noticed many significant factors which have an effect on behaviour and stamina of element structure. Paying attention to these factors is important in the future of element based construction. This thesis strives to research and show the meaning of paying attention to these factors.

Keywords: Sandwich, element, passive energy, Taiter, sting truss

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	6
2 ELEMENTTIRAKENTAMINEN .....	7
2.1 Sandwich-seinärakenne .....	8
2.1.1 Elementtiin kohdistuvat rasitukset.....	11
2.1.2 Ansaat.....	12
2.2.3 Eristemateriaalit .....	16
2.2.4 Sisä- ja ulkokuori, raudoitukset .....	17
2.2.5 Kuorien paksuudet.....	17
3 PASSIIVIENERGIAELEMENTTI.....	18
3.1 Elementin kuvaus .....	19
3.2 Taiter-pistoansas.....	21
4 LASKENTA .....	23
4.1 Laskennan tavoitteet .....	23
4.2 Elementin rakennemalli .....	24
4.3 Tuulikuorma.....	27
4.3.1 Tuulenpaine .....	27
4.3.2 Tuulen imupaine .....	28
4.4 Elementin ulkokuoren paino .....	28
4.5 Yhteenveto kuormituksista .....	30
5 KAPASITEETIT.....	31
5.1 Taiter-ansaan kapasiteetti .....	31
5.2 Eristemateriaalien ominaisuudet ja niiden vaikutus .....	32
5.3 Valitut eristeet ja eristepaksuudet.....	33
6 ELEMENTTIEN TESTAUS .....	34
6.1 Kuormitussuunnitelma .....	34
6.2 Kuormituskehä .....	36
6.3 Venymäliuskat .....	38
6.4 Testielementti .....	40
6.5 Testielementin valu .....	42
6.6 Kuormitusjärjestelyt .....	46
6.7 Kuormituspalkin valmistus.....	53
7 ELEMENTTIEN KOESTUKSET JA TULOKSET .....	58
7.1 Testielementti: Mineraalivilla 240 mm.....	59
7.2 Mineraalivilla 240 mm.....	59
7.4 EPS 250 mm .....	61
7.3 EPS 300 mm .....	64
7.5 Polyuretaani 180 mm.....	65
7.6 Polyuretaani 250 mm.....	66
7.7 Yhteenveto kokeista ja tuloksista .....	67
8 LASKENTAOSAN JA KOETULOSTEN VERTAILU.....	68
9 YHTEENVETO VERTAILUTULOKSISTA.....	71
10 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT .....	71
KUVAT .....	76
LÄHTEET.....	79

- Liite 1 Taiter-ansaan kapasiteetti
- Liite 2 Laskentaosan mallilaskelma: mineraalivilla 240 mm
- Liite 3 Mineraalivilla kapasiteettitaulukko
- Liite 4 EPS kapasiteettitaulukko
- Liite 5 Polyuretaani kapasiteettitaulukko
- Liite 6 K-jaon vaikutus kapasiteettiin

# 1 JOHDANTO

Betonisandwich-elementtien valmistamiseen on Suomessa perinteisesti käytetty diagonaaliansaita, joilla elementin kuoret ovat sidottu toisiinsa.

Käytettyjen diagonaalien lukumäärä on ollut tarpeeseen nähden ylisuuri ja kuorien sidontaan on kehitetty ansasvalmistajien toimesta myös erilaisia tikas- ja pistoansasratkaisuja, jotka toimivat teknisesti hyvin. Kyseisiä ansastusjärjestelmiä ei ole kuitenkaan juuri käytetty, koska hinta-asetanta on suosinut diagonaaliansaiden käyttöä.

Seinärakenteiden kiristyvät lämmöneristysvaatimukset johtavat siihen, että ansaiden lämmönjohtavuus vaikutus on liian suuri ja ansaiden määrää tullaan vähentämään. Tästä syystä on päätetty kehittää uuden mallinen ansastus, jonka lämmönjohtavuus on pienempi ja joka paremmin sopii eristemateriaalien ominaisuuksiin.

Opinnäytetyöni aiheena on tutkia Mikkelin Betoni Oy:n ja Joutsenon Elementti Oy:n tutkimusprojektiin liittyvän passiivien energiaelementin ja siinä olevien uudentyyppisten Taiter-pistoansaiden rakenteellista kestävyyttä. Opinnäytetyö koostuu laskentaosasta ja elementeille tehdyistä koekuormituksista.

Luvussa 2 esitellään elementtirakentamisen ja sandiwch-elementin yleiset periaatteet. Tarkoituksena on muodostaa yleiskäsitys elementtirakenteen eri rakennosista ja niiden merkityksestä elementin toimintaan.

Luvussa 3 esitellään tutkimusprojektin passiivien energiaelementti ja sen rakenteellinen toiminta. Kappaleessa on myös esitetty testattavien elementtien rakenne sekä niissä käytettyjen Taiter-pistoansaiden toimintaperiaate. Pääasiallisena lähteenä on käytetty projektin aikaisempaa tutkimusmateriaalia.

Luvussa 4 käydään läpi laskentaosaan tarvittavat laskennan lähtökohdat. Luvussa muodostetaan laskennan tueksi elementin rakennemalli, selvitetään ra-

kenteeseen vaikuttavat voimat ja määrittämään voimien aiheuttamien rasitusten jakautuminen rakenteessa. Rasitusten perusteella määrittämään määrävimmät kuormitustapaukset eri rakenneosille.

Luvussa 5 käydään läpi laskentaosassa mitoitettavien pistoansaiden ja eristemateriaalien mitoitusperusteet ja -kapasiteetit.

Luvussa 6 on esitelty elementtien koekuormituksiin käytetyt laitteet ja tulevien kokeiden tavoitteet. Kappaleessa on myös käyty läpi koekuormituksia varten tehtävien tuentojen valmistus ja asennus vaihe vaiheelta.

Luvussa 7 on käyty läpi testattavien elementtien koekuormitukset ja esitetty kokeista saadut tulokset.

Luvuissa 8 ja 9 on vertailtu koekuormituksista ja laskentaosasta saatuja arvoja, laskettu rakenteessa oleva varmuus ja pohdittu mahdollisten erojen syitä.

Luvussa 10 on esitetty loppuyhteenvedona opinnäytetyöprosessin aikana syntyneitä päätelmiä ja huomioita. Päätelmät on jäsennetty aihekohtaisesti edellä esitetyn kappalejaon mukaan.

## **2 ELEMENTTIRAKENTAMINEN**

Betonielementeistä rakentaminen on yleisin tapa Suomessa toteuttaa monikerroksisten asuin-, toimisto- ja liikerakennusten sekä julkisten rakennusten rungot. Myös teollisuus- ja varastorakennusten runkojen valmistus elementtirakenteisina on erittäin yleistä. Julkisivuista noin neljännes toteutetaan betonielementeistä. (By 201 2004.)

1970-luvun alussa tullut BES-betonielementtijärjestelmä asuinrakentamiseen ja siihen liittyvä Runko-BES toimitilarakentamiseen 1980-luvun alkupuolella ovat olleet Suomen teollisen rakentamisen kohokohtia (By 201 2004).

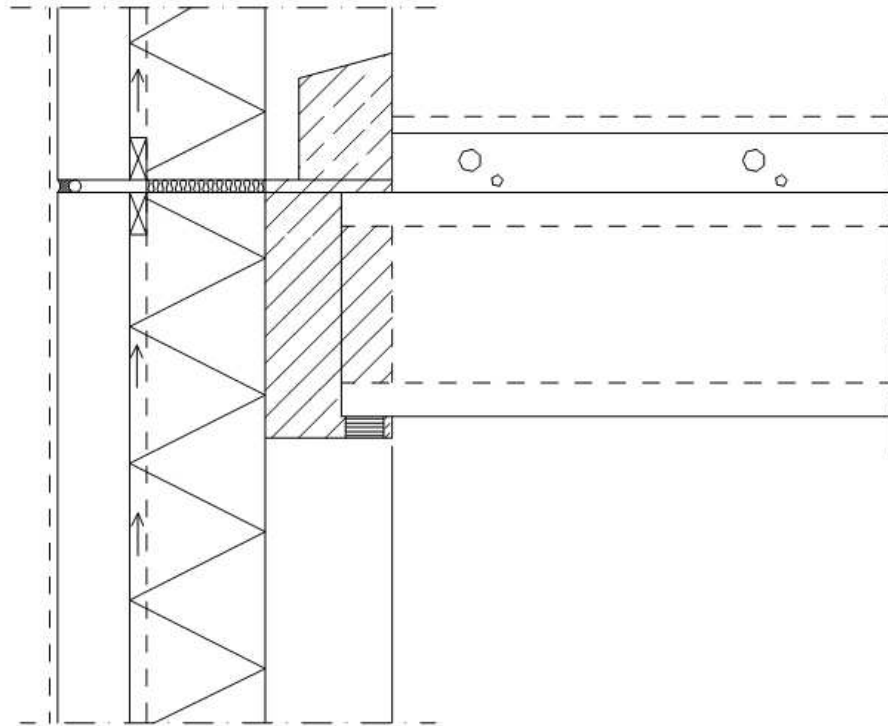
Teollisella järjestelmärakentamisella pyritään pääasiallisesti nopeaan ja taloudellisesti kannattavaan kokonaistoteutukseen. Käytännössä edellä mainittu ajattelutapa johtaa entistä pidemmälle vietyyn elementtien viimeistelyyn tehdasolosuhteissa ja vastaavasti työmaalla tehtävän työn vähenemiseen. (By 201 2004.)

## **2.1 Sandwich-seinärakenne**

Yksi elementtirakentamisen sovelluksista on sandwich-seinäelementti. Elementin nimi perustuu sen rakenteeseen, jossa kerroksittain kasattavat rakennekerrokset yhdessä muodostavat rakennekokonaisuuden. Seuraavaksi käydään läpi sandwich-elementin yleiset periaatteet Valmisosarakentaminen: Betonijulkisivut 1995 teokseen pohjautuen.

Sandwich-elementin rakenne käsittää ulkokuoren, joka toimii rakennuksen ulospäin näkyvänä julkisivuna, ja sisäkuoren, joka on seinärakenteen kantava osa ja toimii sisäseinän pintana. Kuorien väliin sandwich-elementeissä sijoitetaan lämmöneriste ja mahdollinen tuuletusrako ulkokuoren ja lämmöneristeen väliin. Elementtien ulkokuorien pintamateriaali ja kuoren paksuus, lämmöneristeen materiaali ja paksuus sekä sisäkuoren paksuus ja korkeus vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Yhteistä näille on se, että rakenteeseen kohdistuvat kuormat siirretään pääsääntöisesti sisäkuorelle ja sitä kautta aina edelleen rakennuksen runkoon (kuva 2.1).



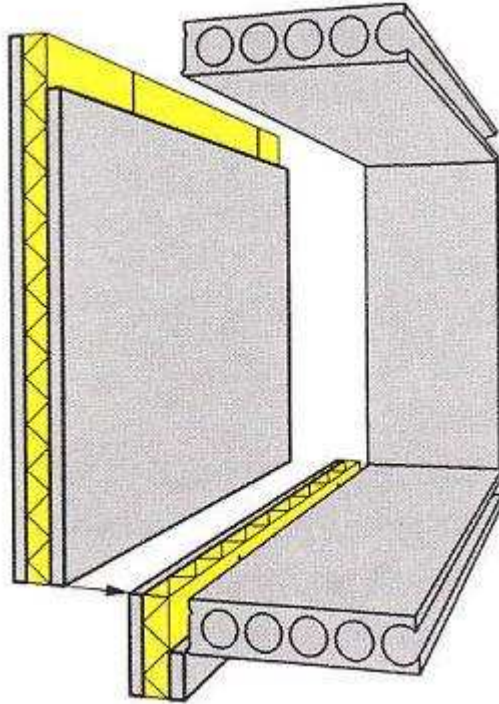


Kuva 2.1. Ontelolaatan ja kantavan sandwich-elementin liitos

Sandwich-elementtien ulko- ja sisäkuori yhdistetään toisiinsa sideraudoitteilla eli ansailla. Ansaidden tarkoituksena on ripustaa ulkokuori roikkumaan sisäkuoren varassa ja siirtää ulkokuoreen kohdistuvat rasitukset sisäkuorelle. Lisäksi joissain tapauksissa ansailla pyritään muodostamaan elementin kuorien välille yhteistoimintaa.

Sandwich-rakenteen tyypillisin käyttökohte on asuinrakennuksissa, joissa runkojärjestelmänä on kantavat seinät - laatat -runko. Laatat tukeutuvat vapaasti seinäelementin kantavan sisäkuoren varaan. Vastaavasti rakennusten ns. pitkillä julkisivuilla, joissa elementtien kantavuudella ei ole merkitystä seinät ovat tyypillisesti ei- kantavia ruutuelementtejä.

Kantaviksi elementeiksi luokitellaan elementit, joiden vaurioituminen aiheuttaisi laajemman kokonaisvaurion esimerkiksi välipohjan osittaisen sortumisen. Eikantaviksi elementeiksi luokitellaan elementit, joiden vaurioituminen jää paikalliseksi vain kyseessä olevaa elementtiä koskevaksi (kuva 2.2).



Kuva 2.2. Ei-kantavan sandwich-elementin ja välipohjan liitos

Sandwich-rakenteen käytölle on ominaista esimerkiksi:

- Kova, vetoa ja leikkausta kestävä lämmöneriste siirtää voimia betoni-kuorien välillä, jolloin rakenteen kantokyky kasvaa huomattavasti.
- Sandwich-rakenteen sisä- ja ulkokuoren välille syntyy pakkovoimia, jotka on otettava huomioon suunnittelussa.
- Rakennuspaikalla ei tarvitse tehdä paljon asennustyötä johtuen valmiiksi yhteensidotusta kerrosrakenteesta.
- Sääolosuhteista ollaan vähemmän riippuvaisia kuin muilla järjestelmillä, mikäli estetään kosteuden ja veden pääsy eristerakenteisiin.
- Rakenne on kokonaistaloudellinen rakennuksen nopean valmistumisen, asennuskustannusten sekä kappalemäärien suhteen.

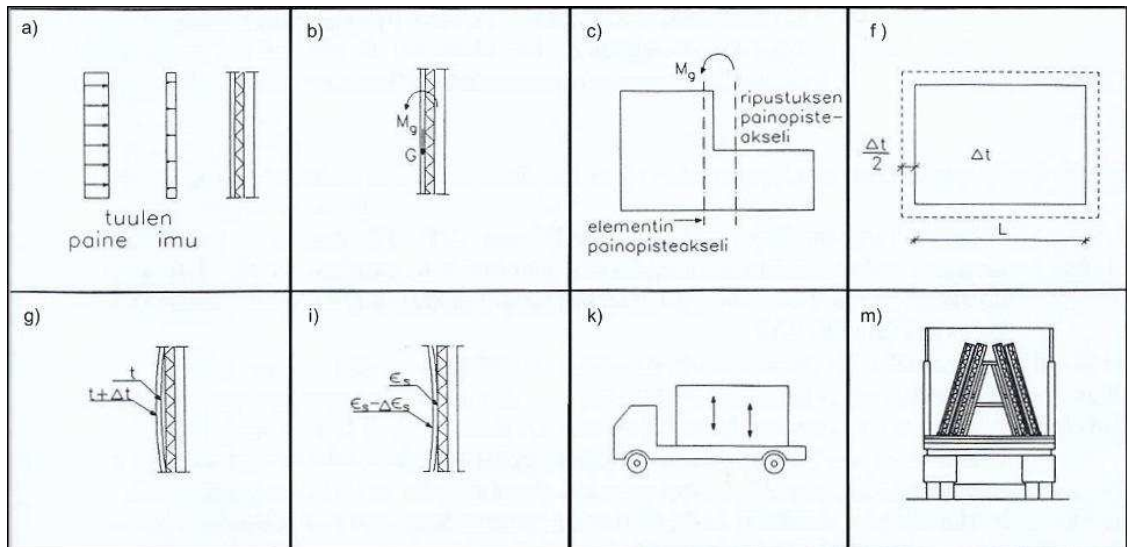
### 2.1.1 Elementtiin kohdistuvat rasitukset

Sandwich-julkisivuelementtiin kohdistuu käyttöolosuhteissa staattisia pysyviä ja lyhytaikaisia kuormia sekä useimmiten lämpötila- ja kosteuseroista aiheutuvia pakkovoimia. Kuljetuksen ja noston aikana voi syntyä myös dynaamisia rasituksia.

Tavallisimmat kuormitukset tai rasitusten aiheuttajat ovat (kuva 2.3):

- a) tuulen paine ja imu
- b) oma paino ja muut pysyvät kuormat
- c) pysyvien kuormien epäkeskisyys
- d) ihmisten, eläinten tai liikenteen aiheuttamat vaakavoimat
- e) kuoriin kiinnitettävien laitteiden paino
- f) kuorien keskilämpötilan muutokset
- g) kuorien sisäiset lämpötilaerot
- h) kuorien väliset lämpötilaerot
- i) kuorien kutistuminen ja viruminen
- j) perustusten painumat
- k) asennuksen ja kuljetuksen aikaiset kuormitukset
- l) villan aiheuttama paine, jos lämmöneristeenä on kova mineraalivilla
- m) elementtien käsittely.

Tuulen paine ja imu kohdistuvat ulkokuoreen, josta rasitukset siirtyvät side-  
raudoituksen ja eristeen välityksellä sisäkuorelle ja edelleen liitosten kautta  
muuhun rakenteeseen. Ulkokuoren oman painon aiheuttama rasitus siirtyy sa-  
malla periaatteella sisäkuorelle.



Kuva 2.3 Elementtiin kohdistuvat voimat

Kuorien keskilämpötilojen muutokset aiheuttavat seinän pituuden muutoksia ja lämpötilaerot käyristymiä. Jos nämä liikkeet eivät pääse vapaasti tapahtumaan, seinään syntyy pakkovoimia, jotka voivat aiheuttaa halkeilua, taipumia tai muita vaurioita.

Liikenne- ja asennuskuormat ja vastabetonoidun elementin liikuttelu aiheuttavat ennakoimattomia lisärasituksia. Nämä voivat olla osasyynä myöhemmin ilmeneviin vaurioihin. Epätasainen tie aiheuttaa kuljetuksen aikana iskuja ja sysäyksiä, jotka voivat olla yhtä vaarallisia kuin elementin äkillinen muotista nosto. Näin syntyvät hiushalkeamat voivat vuosien kuluessa kasvaa.

### 2.1.2 Ansaat

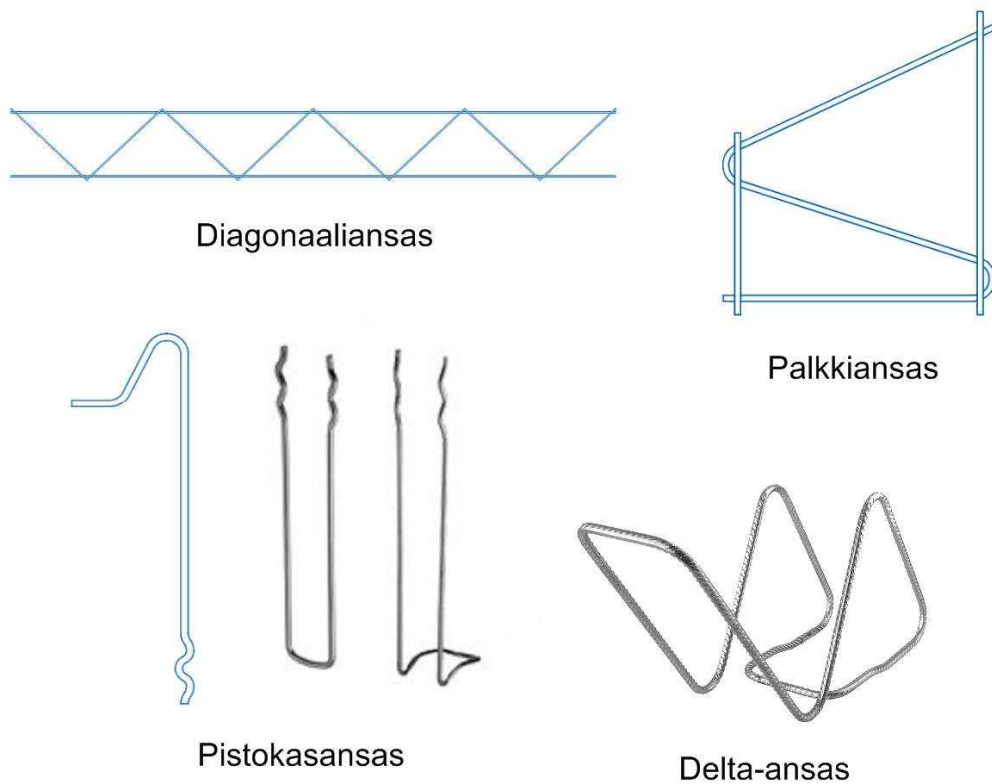
Sideraudoitteet eli ansaat liittävät sandwich-elementin kuoret toisiinsa. Kerroksellisen seinäelementin betonikuorien välisen sideraudoituksen päätehtävät ovat:

- kuorien välisen yhteistoiminnan varmistaminen
- ulkokuoren paineen siirto sisäkuorelle
- pakkovoimien minimointi
- kuorien käyristymisen esto.

Sideraudoituksen sijoittelu ja käytettävien ansaiden tyyppi riippuu elementin muodosta, painosta ja ulkoisista kuormista, ulkokuoren liikkeiden suuruudesta ja lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksista.

Ansaat sidotaan tyypillisesti sandwich-elementin kuorissa oleviin raudoitusverkkoihin tai erillisiin ansaiden kiinnittämiseen tarkoitettuihin lisäteräksiin.

Tyypillisimmät sandwich-elementtien valmistuksessa käytetyt ansaat ovat diagonaaliansas, tikasansas, palkkiansas ja pistokasansas. Näiden perustyyppien lisäksi markkinoilla on tarjolla näiden moninaiset variaatiot eri ansasvalmistajien toimesta. Kuvassa 2.4 on esitetty erilaisia käytettyjä sideansaita.



Kuva 2.4. Erilaisia käytettäviä sideansaita

Diagonaaliansaat ovat metallirakenteita, joita käytetään sitomaan sandwich-elementtien betonikuoret toisiinsa kuorien välissä olevan lämmöneristeen läpi. Diagonaaliansas koostuu kahdesta paarrelangasta ja niiden väliin hitsatusta diagonaalilangasta, joka sitoo paarteet yhteen. Ansaita voidaan käyttää toimintatavaltaan kahteen eri tarkoitukseen:

- Diagonaaliansaita käytetään ripustamaan ja kiinnittämään ulkokuori kantavaan sisäkuoreen.
- Diagonaaliansaita voidaan käyttää liittämään betonikuoret toimimaan yhdessä. Yhteistoiminta lisää elementin puristus- ja taivutuskestävyyttä. (Betonirakenteiden kuormia siirtävien metalliosien käyttöseloste 2007; Anstar AD Diagonaaliansas 2004.)

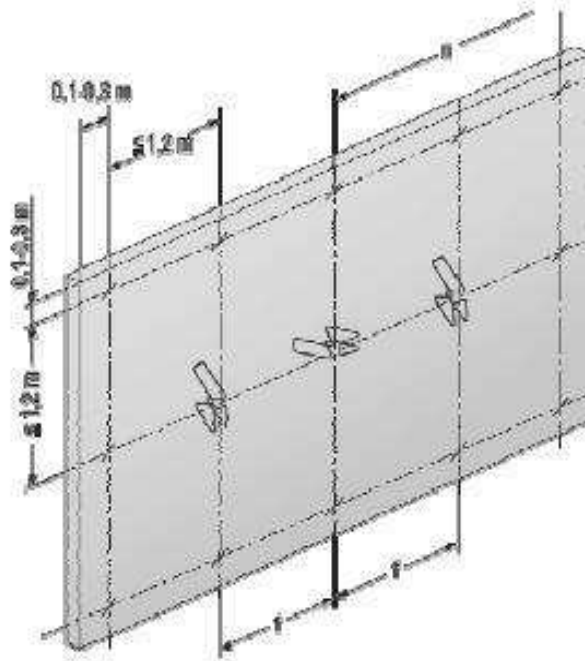
Diagonaaliansaat ovat olleet ja ovat nykyäänkin yleisin käytetty tapa yhdistää sandwich-elementin kuoret toisiinsa. Kiristyvät lämmöneristysvaatimukset ovat kuitenkin osaltaan vähentämässä diagonaaliansaiden käyttöä.

Palkkiansaan rakenne- ja toimintaperiaate on hyvin samankaltainen kuin diagonaaliansaan. Palkkiansasta käytetään tyypillisesti matalissa rakenteissa, esimerkiksi ovi- ja ikkunapalkeissa sekä matalissa sokkelielementeissä. (Betonirakenteiden kuormia siirtävien metalliosien käyttöseloste 2007; Ansait ja pistokkaat 2007.)

Pistokasansaat ovat sideneuloja, jotka liittävät sandwichelementin kuoret toisiinsa. Pistokkaiden vaikutuksesta kuorien välille ei muodostu sisäkuoren puristuskapasiteettia lisäävää yhteistoimintaa, mutta ulkokuoreessa tapahtuvien lämpö- ja kosteusliikkeiden aiheuttamat pakkovoimat jäävät pienemmiksi verrattuna esimerkiksi diagonaaliansaaseen. Siten myös ulkokuoren halkeilu jää pienemmäksi. Pistoansaan käyttökohteita ovat esimerkiksi uretaanilla tai styroksilla eristetyt elementit ja sandwich-elementtien reunat ja ikkunanpielet. (Betonijulkisivut 1995.)

Delta-ansajärjestelmä on yksi sandwich-elementtien ansastussovelluksista. Delta-ansajärjestelmässä elementin ulkokuori kannatetaan pystysuuntaisilla

Delta-ansaililla, joita tarvitaan yleensä 2 kappaletta elementtiä kohti. Erikoisen muotoisissa elementeissä, tai kun kuormat ovat erityisen suuret, käytetään ansaita enemmän (kuva 2.5). (Delta-ansasjärjestelmä 2009.)



Kuva 2.5. Delta-ansas-järjestelmän periaate

Lisäksi järjestelmään kuuluvat pistokkaat, joilla ulkokuoreen vaikuttavat pintaa vastaan kohtisuorat voimat, pääasiassa tuulivoima ja ulkokuoren käyritymisestä aiheutuva voima, siirretään sisäkuorelle. (Delta-ansasjärjestelmä 2009).

Monet sideraudoitusratkaisut ovat patentoituja tai tiettyyn rakennusjärjestelmään erityisesti suunniteltuja ratkaisuja.

Edellä mainittujen ansaiden lisäksi on kehitetty myös uusia ansaita elementtirakentamisen käyttöön ja teollisuus kehittää uusia ratkaisuja koko ajan.

### 2.2.3 Eristemateriaalit

Sandwich-elementeissä käytettävän lämmöneristeen pääasiallinen tehtävä on muodostaa lämpöä eristävä kerros kylmän ja lämpimän tilan välille. Lämmöneristyksellisten ominaisuuksiensa lisäksi eristeelle asetetaan myös monia rakenteellisia vaatimuksia.

Kova, vetoa ja leikkausta kestävä lämmöneriste siirtää voimia betonikuorien välillä, jolloin lämmöneristeessä on veto-, puristus- ja leikkaus-jännityksiä. Tällöin elementin kantokyky kasvaa huomattavasti.

Lämmöneristeen huomioonottaminen käytännön mitoituksessa ei kuitenkaan ole selvää, koska lämmöneristeillä ei ole viranomaishyväksyntää lujuuden suhteen käytettäessä lämmöneristeitä kantavina rakenteina. Käyttö tulee mahdolliseksi, kun saadaan viranomaishyväksyntä lämmöneristeiden lujuuden suhteen. Tällöin määritellään lämmöneristeen lyhyt ja pitkäaikaiset lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet, joita mitoituksessa voidaan käyttää. Tässä tapauksessa on mitoituksessa tarpeen laskea myös betonikuorien välisten lämpötila- ja kutistumaerojen synnyttämät jännitykset, elementin taipumat ja ulkokuoren halkeiluvaara. Lisäksi on otettava huomioon lämmöneristeen käyttäytyminen palotilanteissa. (Kinnunen 2009.)

Eristysmateriaalia valittaessa on tarkistettava eristeille asetetut palotekniset vaatimukset. Mineraalivillaeristeitä käytettäessä tulee valmistustekniikan vuoksi käyttää riittävän jäykkää eristettä. Yleensä eristepaksuuksissa on painumavara otettu huomioon, joten suunnitelmissa voidaan käyttää teoreettisia paksuuksia. (Betonijulkisivut 1995.)

Tiukentuvat lämmöneristysvaatimukset ja niiden vaikutus betonielementtirakenteissa käytettyihin lämmöneristeisiin on oma tieteen alansa, eikä siihen tässä opinnäytetyössä ole tarkoitus perehtyä edellä esitettyä tarkemmin.



## **2.2.4 Sisä- ja ulkokuori, raudoitukset**

Seuraavaksi on esitelty tavallisimmat sisä- ja ulkokuoressa käytetyt raudoitukset teoksen By 201 perusteella.

Ulkokuoren verkkoraidoitus mitoitetaan käytönaikaisten rasiusten, kuten pakkoimien sekä elementin käsittelykestävyyden perusteella. Ulkokuoren raudoituksena tavanomaisissa elementeissä käytetään verkkoa, joka on valmistettu 3 tai 4 mm paksusta harjatangosta 150 mm:n silmäkoolla. Verkko 3-150 on käytössä lähinnä ruutuelementeissä (pituus enintään 4 m) ja verkko 4-150 nauhaelementeissä, joissa elementin pituudesta johtuvat pakkovoimat ovat suurempia. Sisäkuoressa käytetään verkkoa 4-150 tai 5-150, ja mikäli on tarpeen, voidaan raudoitusta lisätä.

Elementin ulkokuoren reunat ja aukkojen pielet varustetaan pieliteräksin, jotta vältytään epätasaisen kutistuman aiheuttamilta halkeamilta. Pieliteräkset on aina sidottava tai hitsattava raudoitusverkkoon, raudoitteen oikean sijainnin varmistamiseksi.

Julkisivuelementeissä betonin lujuusluokka määräytyy julkaisun by 50 mukaan. Mikäli käytetään ruostumattomia raudoitteita, julkisivubetonien luokka on K35. Sisäseinissä lujuus on yleensä K30 tai K35.

Betonipeitteen vähimmäismitta määräytyy Betoninormien RakMK B4 (by 50) rasiusluokkien ja valitun suunnittelukäyttöjän mukaan. Betonipeitteen minimiarvo elementtirakenteessa on normaaleilla raudoitteilla 20–45 mm. Ruostumattomia raudoitteita käytettäessä riittää vähintään 15 mm:n betonipeite.

## **2.2.5 Kuorien paksuudet**

Sandwich-elementin ulkokuoren nimellispaksuus on ollut alkuaikoina 40–50 mm, myöhemmin 50–60 mm. Klinkkerilaattapintaisen ulkokuoren tavallinen paksuus on ollut 60 mm ja tiililaattakuoressa betonia on yleensä ollut 50 mm.

Vasta 1970-luvulla tehdyissä suosituksissa rakennepaksuutta kasvatettiin 70 mm:iin ja tiililaattapintaisilla ulkokuorilla 85 mm:iin. Nykyään käytetty ulkokuoren paksuus on 80 tai 85 mm. (Varjonen 2006.)

Sandwich-elementtien sisäkuoren nimellispaksuus määräytyy pääasiassa elementin kantavuuden perusteella. Ei-kantavissa elementeissä sisäkuoren paksuus on 70–100 mm ja kantavissa elementeissä 150 tai 160 mm. (Varjonen 2006.)

### **3 PASSIIVIENERGIAELEMENTTI**

Opinnäytetyö oli osana tutkimusprojektia, jossa tavoitteena on kehittää kiristyvien lämmöneristysvaatimusten edellyttämä sandwich-elementti.

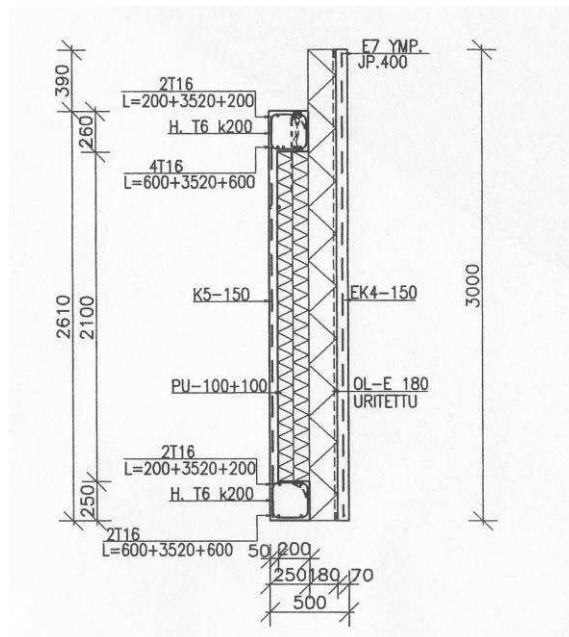
Kiristyvät lämmöneristysvaatimukset aiheuttavat mineraalivillalla eristettyihin elementteihin monia ongelmia. Näitä ovat muun muassa:

- Eristekerrosten kasvaessa myös elementin kokonaispaksuus kasvaa. Tämä vaikeuttaa elementtien valmistusta, nostamista, kuljetusta ja asentamista.
- Eristekerroksen kasvaessa, kuorien välinen etäisyys kasvaa, joka taas lisää epäkeskisyydestä aiheutuvaa momenttirasitusta.
- Rasitusten kasvaessa joudutaan ansaita vahvistamaan tai ansasjakoa tihentämään.
- Elementin rakenteellinen toimintatapa muuttuu.
- Kustannukset nousevat.

Tutkimusprojektin tavoitteena on saada aikaan menetelmä ja laitteisto sandwichelementtien valmistamiseksi, siten että vältetään edellä mainitut ongelmat ja toteutetaan elementti, jonka lämmöneristävyys on parempi kuin jo tunnetuissa rakenteissa.

### 3.1 Elementin kuvaus

Sandwich-elementtien kantavuus on tavallisesti hoidettu sisäkuorella. Tässä ratkaisussa sisäkuoresta tehdään kantava siten, että sisäkuoren reunoille tehdään paksummat osat, jotka raudoituksella tehdään elementin osana toimiviksi pilareiksi ja palkeiksi (kuva 3.1).



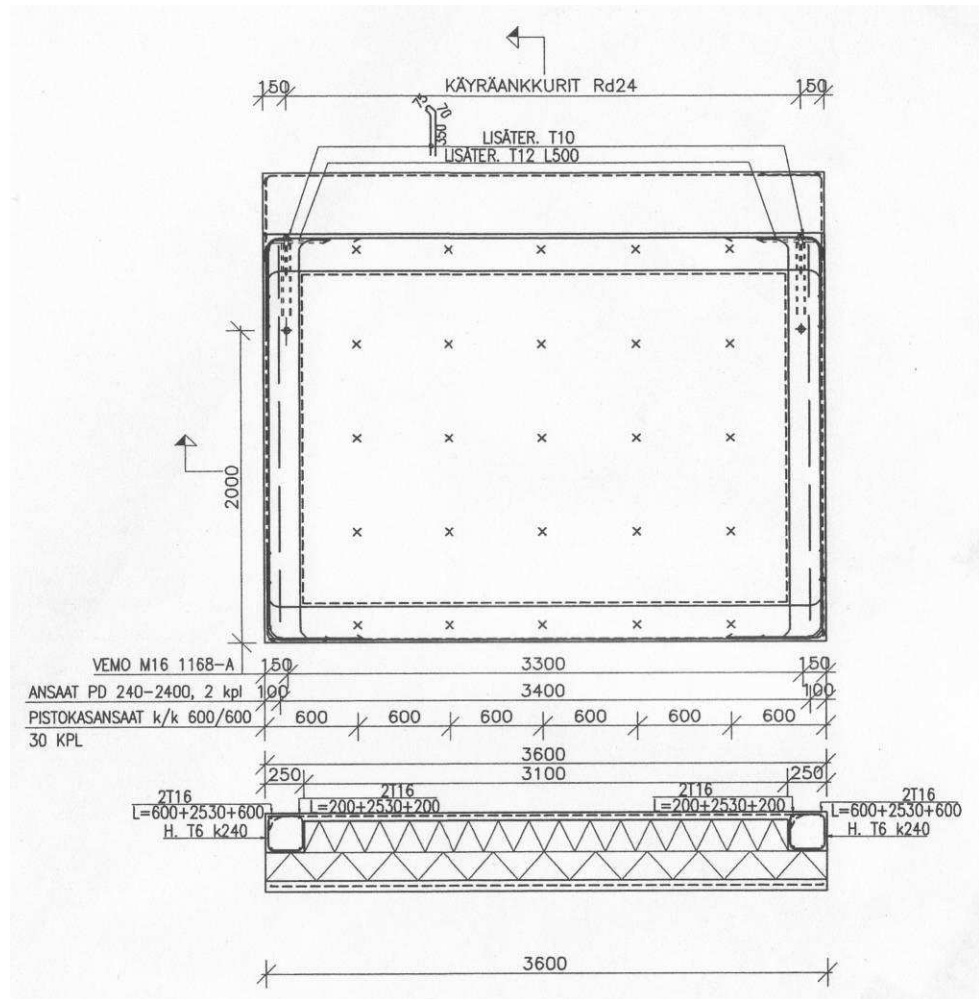
Kuva 3.1. Passiivienergiaelementin leikkaus

Ylemmiltä rakenteilta tulevat pystykuormat otetaan vastaan yläosan palkilla, josta rasitukset jakautuvat reunoilla oleville pilareille ja aina edelleen alemmille rakenneosille. Palkkien ja pilarien raudoitustarve ja koko määräytyvät kohteessa vaikuttavien kuormien mukaan.

Tällä rakenteella saadaan aikaan elementti, jonka lämmöneristekerrosta on mahdollista lisätä elementin keskialueella. Palkkien ja pilareiden alueelta elementin ohuempi lämmöneristeen määrä kompensoidaan siis keskialueelle asennettavalla paksummalla eristekerroksella.

Kuoret liitetään toisiinsa perinteisestä menetelmästä poiketen. Palkkikaistojen kohdalla käytetään niin sanottuja palkkiansaita ja ulkokuori ripustetaan sisäkuo-

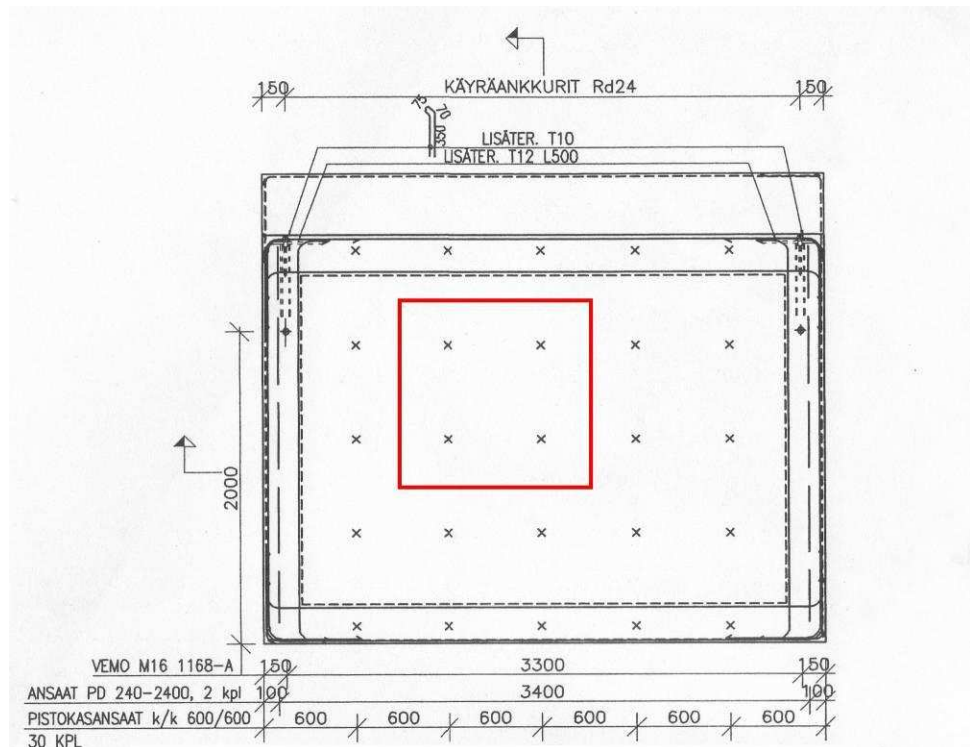
resta niillä. Pilarikaistojen kohdalla voidaan käyttää tavallisia diagonaaliansaita (kuva 3.2).



Kuva 3.2. Passiiviennergialementti

Elementin keskialueella kuorien kiinnittämiseen käytetään Taiter-pistoansaita. Pistoansaiden tarkoituksena on estää, ulkokuoressa tapahtuvien lämpö- ja kosteusliikkeiden aiheuttamien pakkovoimien, käyritymä ja mahdollinen halkeilu.

Testattavien elementtien rakenne päätettiin valita elementin keski-alueelta, eli paksumman eristekerroksen ja Taiter-pistoansaiden kohdalta (kuva 3.3).



Kuva 3.3. Testattavien elementtien valintakohta

Edellä esitettyyn valintaan päädyttiin testattavien elementtien helposta käsiteltävyydestä, rakenteen symmetrisyydestä ja käytössä olevien testausmahdollisuuksien takia. Lisäksi elementti kuvaa hyvin passiivien energiaelementin rakenteen toimintaa.

Taiter-ansaiden k-jako on 600 mm, joten testattavien elementtien mitoituksi tulee 1200 x 1200 mm.

### 3.2 Taiter-pistoansas

Elementissä on käytetty Taiter-pistoansaita. Ansaat on valmistanut Jaakko Pöntelin / Taiter Oy.

Ansas on valmistettu 0,5 mm paksusta ruostumattomasta teräslevystä ja taivutettu pituussuunnassa L-muotoon. Ansaan pituus määräytyy käytetyn eristekerroksen perusteella ja on muunneltavissa tarpeen mukaan (kuva 3.4). Esimerkiksi 240 mm:n eristepaksuudella, käytetyn ansaan pituus on 320 mm.



Kuva 3.4 Taiter-pistoansas

Betoniin eristeen läpi menevä ansaan kärki on viistetty teräväksi siten, että se leikkautuu eristeen läpi helposti eikä murra eristeen betonin puoleisesta pinnasta palaa pois.

Betoniin ankkuroinnin parantamiseksi ansaan molempiin päihin on prässätty aaltomainen, pistokkaan pituussuuntaan nähden poikittainen profilointi. Profiiloinnin pituus on ansaan molemmissa päissä 40 mm. Pistoansaan asentamisen jälkeen ansaan näkyviin jäävän pään kuviointi ulottuu siihen mittaan, mitä myöten tuote on tarkoitettu painettavaksi eristeeseen.

Edellä esitetyn Taiter-pistoansaan rakenteella/muodolla saavutetaan monia etuja sandwich-rakenteessa. Näitä ovat muun muassa:

- L-muotoinen profiili jäykistää tuotteen siten, että voidaan käyttää mahdollisimman ohutta materiaalia. Ansaan rakenne on riittävän jäykkä ja on hoikkana ja pitkänä osana asennettavissa kovien/paksujenkin eristekerrosten läpi.
- Teroitettu kärki leikkautuu eristeen läpi sitä vaurioittamatta, ja näin saadaan vähennettyä kylmäsilta vaikutusta.
- Eristekerroksen ehjänä pysymisellä varmistutaan myös riittävästä tartunnasta betoniin, koska eristekerroksesta mahdollisesti irtoava pala ei siirry ansaan kärjessä betoniin, heikentäen näin ansaan tartuntaa.
- Pistokkaan muoto on sellainen, että poikkileikkauspinta-alaa kohden ulkopinta-ala on mahdollisimman suuri (pyöreällä muodolla ulkopinta-ala

on poikkipinta-alaan nähden mahdollisimman pieni). Tämä vähentää kylmäsiirtavaikutusta huomattavasti ja on täten teknisesti parempi kuin muut ratkaisut.

- Kuviointi näkyviin jäävällä osalla varmistaa sen, että ansas asennetaan oikeaan syvyyteen.
- Ansaan muoto ja tekniset ominaisuudet mahdollistavat tehokkaan ja taloudellisen käytön sandwich-elementeissä käytettävien eristeiden kanssa ja toimii hyvin myös, jos eristekerrokset ovat eri materiaalia.

Ansaan tekniset ominaisuudet ja laskennallinen kapasiteetti on esitetty tarkemmin liitteessä 1.

## **4 LASKENTA**

Opinnäytetyön laskentaosan tarkoituksena on muodostaa teoreettinen kuva testattavien elementtien toiminnasta. Toisin sanoen pyrkii löytämään elementteille niiden käytännön toimintaa vastaava malli.

### **4.1 Laskennan tavoitteet**

Laskenta-osion tavoitteena on selvittää elementin teoreettinen käyttäytyminen kuormitustilanteessa. Laskennan tarkoituksena on:

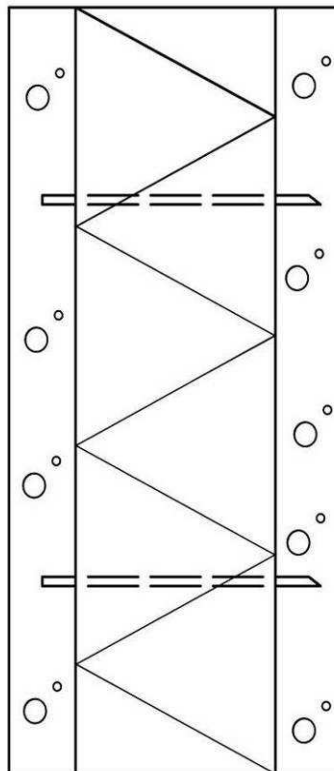
- muodostaa elementin rakennemalli
- selvittää elementissä vaikuttavat kuormat
- tutkia eri kuormitustapaukset
- mallintaa kuormien jakautuminen rakenteessa
- löytää määräävimmit kuormitustekijät eri rakenneosille
- laskea teoreettiset jännitykset ansaissa ja eristekerroksessa
- vertailla saatuja jännityksiä kapasiteetteihin

- saada vertailuarvoja tuleviin koetuloksiin.

## 4.2 Elementin rakennemalli

Rakennemallin tarkoituksena on esittää kyseessä oleva rakenne yksinkertaistetussa muodossa. Eri rakenneosat kuvataan yleensä yksinkertaistetuilla sauvoilla. Menetelmällä pyritään esityksasuun, jossa kyseinen rakenne esitetään mahdollisimman helposti ymmärrettävässä muodossa.

Seuraavaksi on esitetty laskennassa käytetyn rakennemallin luominen vaiheittain. Rakennemallin lähtökohtana toimii kuvan 4.1 elementti, josta rakennemallia lähdettiin luomaan.

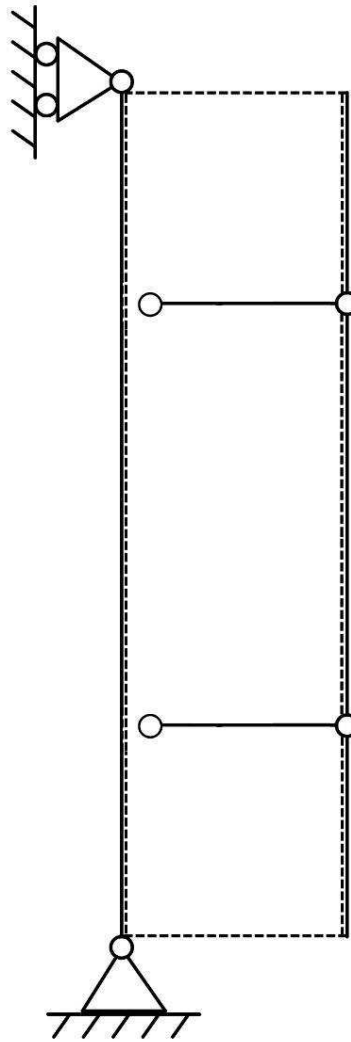


Kuva 4.1 Rakennemallin lähtökohta

Kun edellä esitetystä kuvasta esitetään lämmöneriste katkoviivalla, mallinnetaan kuoret ja ansaat yksinkertaistetuilla sauvoilla ja esitetään sisäkuoren tuen-

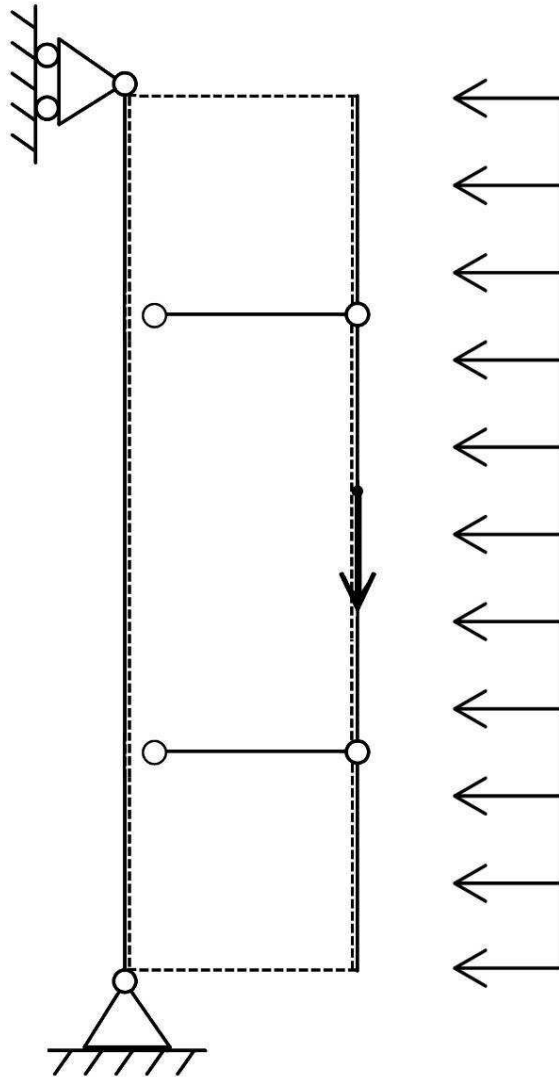


ta sekä ylä- että alareunassa elementtiä, saadaan kuvan 4.2 mukainen rakennemalli.



Kuva 4.2 Rakennemalli

Seuraava vaihe rakennemallin luomisessa on selvittää rakenteessa vaikuttavat voimat ja esittää ne rakennemallissa niille kuuluvilla vaikutusalueilla. Laskennassa huomioitavia kuormia ovat ulkokuoren omasta painosta aiheutuva kuorma ja tuulen aiheuttama kuorma, ja nämä on esitetty kuvassa 4.3.



Kuva 4.3. Rakennemallin kuormat

Ulkokuoren oman painon aiheuttama kuorma on sijoitettu rakennemallissa ulkokuoren painopisteeseen. Painopiste sijaitsee ulkokuoren symmetrisyyden vuoksi puolella välissä rakennetta. Tuulenpaineesta aiheutuva kuormitus jakautuu tuulen luonteen takia tasaisesti koko ulkokuoren alueelle. Tuulen aiheuttama kuormitus voi olla luonteeltaan myös imupainetta, jolloin tasainen kuorma mallinnetaan samalla periaatteella, mutta voima kohdistuu ulkokuoresta ulospäin.

Laskettaessa kyseisellä rakennemallilla, saadaan peruskuormitustapauksia kolme kappaletta. Ensimmäisessä tapauksessa huomioidaan vain ulkokuoren omasta painosta aiheutuva rasitus. Toisessa tapauksessa huomioidaan edelli-

sen lisäksi myös tuulenpaine, ja kolmannessa tapauksessa huomioidaan tuulen aiheuttama imupaine.

Näistä kolmesta perustapauksesta pyritään löytämään määräävimmit rasitukset

### **4.3 Tuulikuorma**

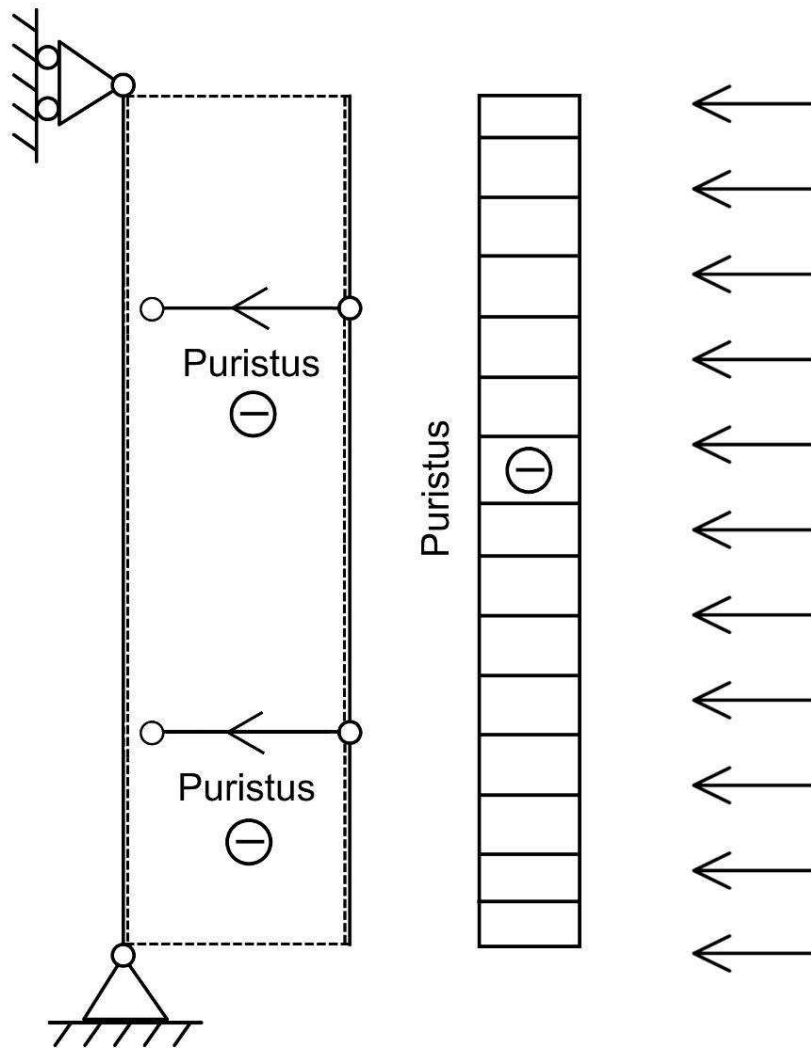
Tuulikuorman laskenta-arvot pohjautuvat Insinööritoimisto Pekka Häyrinen Oy:n tekemiin laskelmiin. Tuulikuorman laskenta-arvot on esitetty tarkemmin liitteessä 1.

#### **4.3.1 Tuulenpaine**

Tuulenpaineen aiheuttama tasainen kuorma vaikuttaa samansuuruisena koko ulkokuoren pinta-alalla.

Tuulenpaine pyrkii painamaan ulkokuorta eristekerroksen sisään, ja tämä aiheuttaa sekä ansaissa että eristekerroksessa puristusjännitystä. Ansaissa vaikuttava puristus jakautuu rakenteen symmetrisyyden takia tasaisesti kaikille neljälle ansaalle.

Tuulenpaineen aiheuttamat rasitukset on esitetty kuvassa 4.4.



Kuva 4.4. Tuulen aiheuttama rasitus

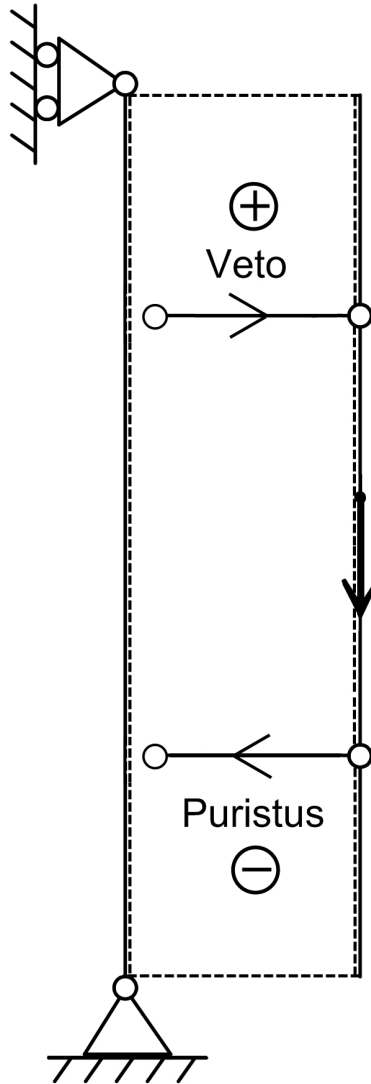
#### 4.3.2 Tuulen imupaine

Tuulen imupaineen aiheuttama rasitus muodostuu samalla periaatteella kuin tuulenpaineen. Aiheutuva rasitus on luonnollisesti vetorasitusta. Tuulenpaineen aiheuttama vetorasitus jakautuu tasan ansaissa ja eristekerroksessa.

#### 4.4 Elementin ulkokuoren paino

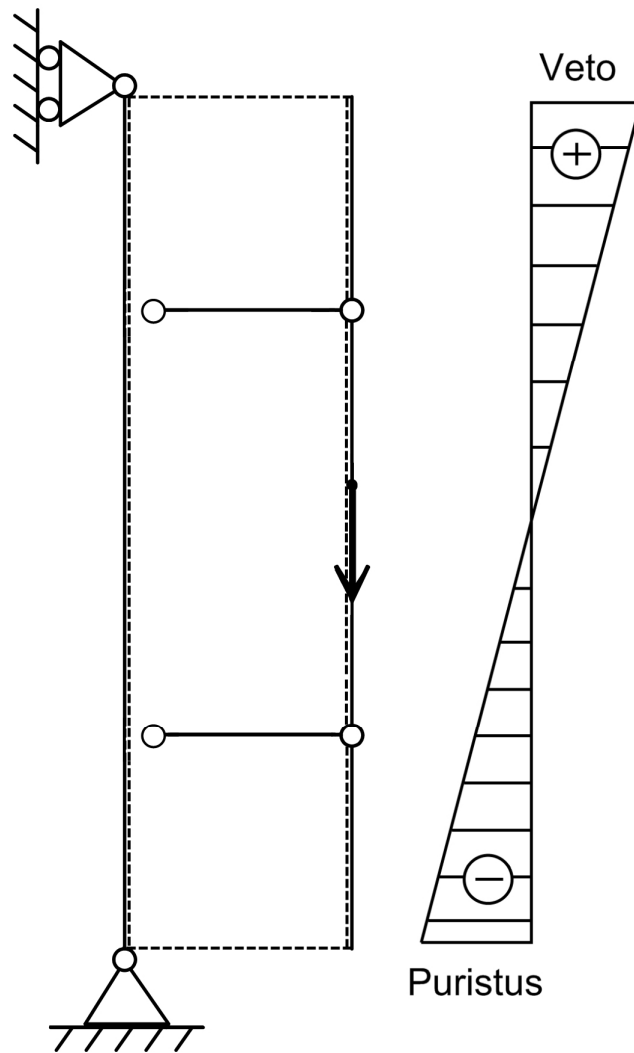
Elementin ulkokuoren epäkeskisyys sisäkuoreen nähden, aiheuttaa rakenteesen ulkokuoren epäkeskisyydestä aiheutuvan momentin. Epäkeskisyydestä

aiheutuva momentti pyrkii kiertämään elementin ulkokuorta myötäpäivään. Tämä aiheuttaa elementin yläpuolen ansaissa vetorasituksen ja alapuolisissa vastaavasti puristusrasitusta (kuva 4.5).



Kuva 4.5. Ulkokuoren aiheuttama rasitus ansaissa

Ulkokuoren painon aiheuttama rasitus eristekerroksessa on esitetty kuvassa 4.6. Ulkokuoren vääntö aiheuttaa eristekerroksen yläosaan teoreettisen vetorasituksen ja vastaavasti alaosaan puristusrasituksen.



Kuva 4.4.2 Ulkokuoren aiheuttama rasitus eristeessä

#### 4.5 Yhteenveto kuormituksista

Edellä esitetyistä rasiustapauksista valitaan laskennan tueksi ns. määräävimät vaihtoehdot eri rakenneosille.

Ansaiden kannalta määräävin mitoitustilanne on kuormitusyhdistelmä, jossa ulkokuoren painon lisäksi rakenteessa vaikuttaa tuulen imupaine. Tässä tilanteessa elementin yläosan ansaat ovat vedettynä sekä tuulen- että ulkokuoren painon rasittamina.

Eristekerroksen kannalta tutkittava tilanne on eristeen puristetussa alareunassa. Suurimman puristusjännityksen aiheuttaa kuormitus, jossa eristeeseen vaikuttaa ulkokuoren painon aiheuttama puristusrasitus ja tuulenpaineen puristusrasitus.

Rakenteen mitoituksessa lähdetään liikkeelle seuraavista perusoletuksista:

- Ulkokuoren paino aiheuttaa vetorasitusta kahdessa ylemmässä ansaassa ja puristusrasitusta eristeen alaosassa.
- Elementin yläosan ansaat ovat täysin vedettyjä.
- Puristusrasitus elementin alaosassa otetaan täysin vastaan eristeellä.
- Elementin alaosan ansaat toimivat vain tuulen imupaineen vetorasitukselle.
- Eristekerroksen ja betonikuorien välistä tartuntaa ei huomioida.
- Ansaiden kannalta mitoittavin tekijä on ankkurointikestävyys.
- Eristekerroksen kannalta tutkitaan puristuskapasiteetin mahdollista ylitymistä.

Yksinkertaistamisen vaikutuksista laskentaan on kerrottu tarkemmin luvussa 10.

## **5 KAPASITEETIT**

Kapasiteettien selvitysosassa tutkitaan mitoittavien rakenneosien kapasiteetit. Mitoitettavia kohteita ovat elementissä käytetyt pistoansaat ja lämmöneriste.

### **5.1 Taiter-ansaan kapasiteetti**

Ansaan kannalta määräävä tekijä on edellisessä osiossa mainittu ulkokuoren paino ja tuulen imupaine, yläosan ansaissa.

Laskennassa käytetyt mitoitusarvot pohjautuvat insinööritoimisto Pekka Häyri-  
nen Oy:n tekemiin laskelmiin ansaan kapasiteetista. Ansaan kapasiteettien yksi-  
tyiskohtainen laskenta on esitetty liitteessä 1.

Liitteestä 1 havaitaan, että tutkittaessa yhteen ansaaseen kohdistuvaa veto-  
rasitusta, ansaan vetokestävyyden mitoitusarvo on 2,591 kN ja ankkurointikes-  
tävyys 1,914 kN. Näistä luonnollisesti valitaan pienempi eli 1,914 kN, jota käyte-  
tään vetorasituksen maksimiarvona.

## 5.2 Eristemateriaalien ominaisuudet ja niiden vaikutus

Tutkittavilla eristemateriaaleilla on toisiinsa nähden erilaiset materiaaliomina-  
isuudet. Kuvassa 5.1 on vertailtu julkisivuelementeissä käytettyjen lämmöneris-  
teiden ominaisuuksia. (Mölsä 2010.)

	Mineraalivilla	Polystyreeni (EPS, XPS)	Polyuretaani
Lämmönjohtavuus	0,036-0,040	0,036 grafiitti-eristeillä 0,030	0,023
Puristuslujuus	10 kPa	70 kPa	100 kPa
Vahvuudet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hinta</li> <li>• palonkesto</li> <li>• ääneneristys</li> <li>• ominaisuuksien säilyminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hinta-laatusuhde</li> <li>• jäykkyys</li> <li>• keveys</li> <li>• työnaikainen kosteudenkesto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samat vahvuudet kuin polystyreenillä</li> <li>• tiiviys helpoiten saavutettavissa</li> </ul>
Heikkoudet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lämmönjohtavuus</li> <li>• mahd. työnaikaiset kosteusriskit</li> <li>• kokoonpuristuvuus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• palonkesto</li> <li>• ääneneristävyys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• korkea hinta</li> <li>• palonkesto</li> </ul>

Kuva 5.1. Julkisivuelementtien eristevertailu

Kuvasta 5.1 selviää myös materiaalivalmistajien ilmoittamat puristuslujuudet  
kullekin materiaalille (Isover OL-E - Tuoteseloste 2010; Thermisol Platina Sänk-  
käri 2009; SPU Eristeiden tekniset ominaisuudet 2009). Näitä ljujuuksia käyte-  
tään laskentaosan mitoituksessa.



### 5.3 Valitut eristeet ja eristepaksuudet

Testattavien elementtien kokeet toteutettiin kaikki samalla periaatteella. Elementtien kuoret ja raudoitukset pysyivät aina samana, mutta eristemateriaali ja eristepaksuus vaihtelivat. Eristepaksuuden muutoksen myötä, myös ansaiden pituus vaihteli.

Kuvassa 5.2 on esitetty eri eristemateriaaleilla saavutettavat U-arvot, eristepaksuuden mukaan. Tämän perusteella valittiin testattavien elementtien eristepaksuudet. Valitut paksuudet on kuvassa alleviivattu.

<u>U-arvoja vastaavat lämmöneristyspaksuudet ulkoseinille</u>					
	U-arvo, W/m <sup>2</sup> K				Eristemateriaali ja lämmönläpäisyyluku lambda ( $\lambda$ )
	0,17	0,14	0,12	0,10	
Eristys-	150	<u>180</u>	210	<u>250</u>	polyuretaani ( $\lambda=0,023-0,024$ )
paksuus	180	220	<u>250</u>	<u>300</u>	EPS grafiitti, XPS ( $\lambda=0,029-0,031$ )
	<u>240</u>	300	350	450	EPS tai mineraalivilla ( $\lambda=0,036$ )

Kuva 5.2. U-arvoja vastaavat lämmöneristyspaksuudet eri materiaaleilla (Mölsä 2010, s. 9)

Valituiksi eristepaksuuksiksi valittiin mineraalivilla 240 mm, EPS-grafiitti 250/300 mm ja polyuretaani 180/250 mm.

Kun testattavissa elementeissä käytetyt eristepaksuudet olivat selvillä, käytiin seuraavaksi valmistelemaan koejärjestelyjä.

## 6 ELEMENTTIEN TESTAUS

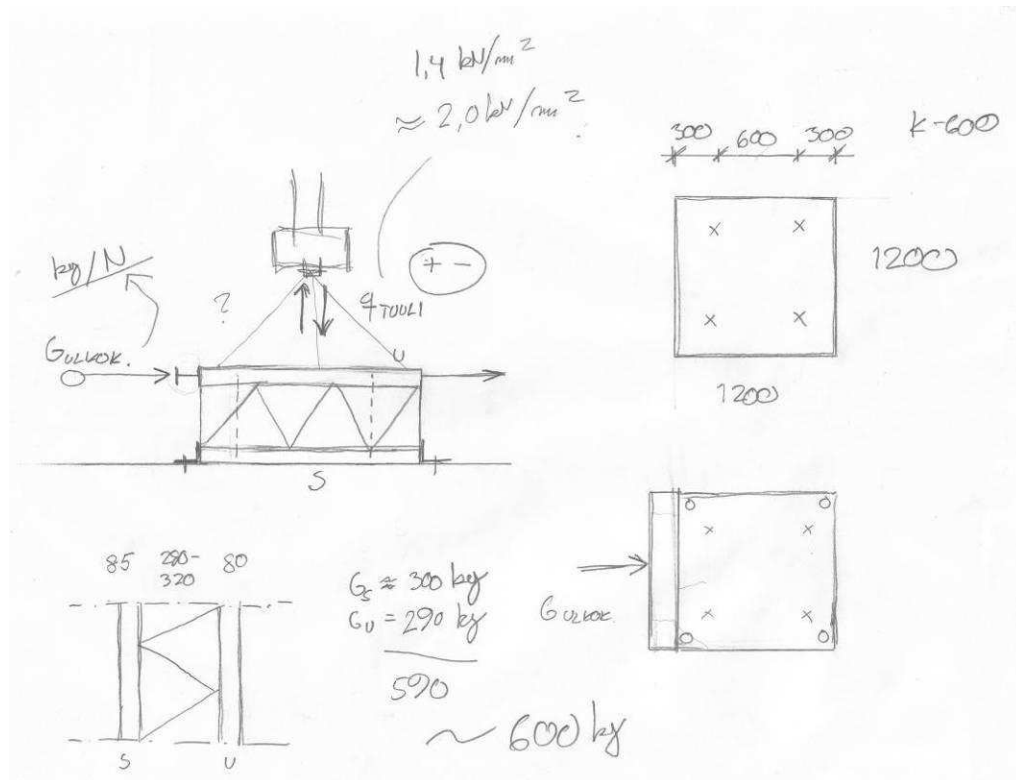
Testattavien elementtien kokeet oli luontevaa suorittaa Saimaan ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa. Kokeiden suorittamisessa, tuentasuunnitelmien luomisessa ja kuormitusjärjestelyjen rakentamisessa toimi suurena apuna laboriomekaanikko Pentti Holopainen.

### 6.1 Kuormitussuunnitelma

Mahdollisista koejärjestelyistä tehtiin aluksi alustavia luonnoksia. Lukuisien luonnostelujen ja käytössä olevien laitteiden kartoitusten jälkeen laadittiin alustava kuormitussuunnitelma.

Kuormitusjärjestelyissä lähdetään liikkeelle lähtöoletuksesta, jossa elementin sisäkuori on tuettuna paikalleen. Valinnalla pyritään käytännön tilannetta vastaavaan ratkaisuun, jossa elementin sisäkuori on tuettuna paikalleen ja ulkokuoresta ja ulkoisista voimista aiheutuvat rasitukset vaikuttavat ulkokuoreen ja siirtyvät sisäkuorelle ansaiden ja lämmöneristeen välityksellä.

Elementti päätetään tukea lattiaa vasten, ja tämän jälkeen kohdistaa ulkoiset kuormat ulkokuoreen. Sisäkuoren tuenta lattiaa vasten toteutetaan pääasiassa puurakenteisena, laboratoriosta löytyvillä sahatavara- ja kertopuukappaleilla (kuva 6.1).



Kuva 6.1. Koejärjestelyjen luonnoksia

Todellisessa tilanteessa elementti on tuettuna sisäkuorestaan pystyasentoon, mutta tämän tyyliseen kuormitusjärjestelyyn ei laboratorion laitteisto- ja tilankäytön puitteissa ollut mahdollisuutta.

Tuulen imupaineen aiheuttama vetorasitus päätetään toteuttaa kuormituskehän avulla. Kuormituskehällä saatavien maksimikuormien ansiosta elementti on mahdollista kuormittaa aina lopulliseen murtoonsa asti, kun ensin on todettu elementin kestävän todellisuudessa vaikuttavilla kuormilla. Kuormituskehän ohjauksyksikön yhteydessä on ohjelmisto, jonka avulla voidaan säätää ja seurata kuormituskehässä vaikuttavaa voimaa. Näin voidaan todeta rakenteen kestävän käytännössä vallitsevilla kuormilla ja mitata myös, minkä suuruisella kuormituksella mahdollinen loppumurto tapahtuu.

Elementin ulkokuoreen sijoitetaan k600-jaolla Vemo-valuankkurit (16x70, 4 kpl) joista tuulen imupainetta mallintava kuormitus suoritetaan. Koetta varten täytyy valmistaa erillinen kuormituspalkki, jonka avulla nosto saadaan suoritettua tasan kaikista neljästä nostopisteestä.

Ulkokuoren painon aiheuttama rasitus mallinnetaan kokeessa, laboratoriotiloista löytyvällä käsitunkilla. Ulkokuorta kuormitetaan tunkilla kokeen aikana, sen omaa painoa vastaavalla kuormalla, eli 2,9 kN:n voimalla.

Kuormituskehän voimamittauksen lisäksi mitataan myös ansaissa vaikuttavaa muodonmuutosta. Muodonmuutosten mittaamiseen käytetään venymäliuskoja. Venymäliuskat kiinnitetään ansaiden teoreettiselle vetopuolelle, ja kokeen aikana aiheutuvat muutokset mitataan. Saatuja tuloksia on tarkoitus vertailla laskentaosiosta saataviin laskenta-arvoihin.

## **6.2 Kuormituskehä**

Elementtien testaukseen käytetty kuormituskehä sijaitsee Saimaan ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön laboratoriossa. Kuormituskehä on pääasiallisesti suunniteltu puisten tai teräsbetonisten palkkien kuormitukseen. Kuormituskehälle on mahdollista aiheuttaa sekä veto- että puristuskuormitusta. (kuva 6.2).

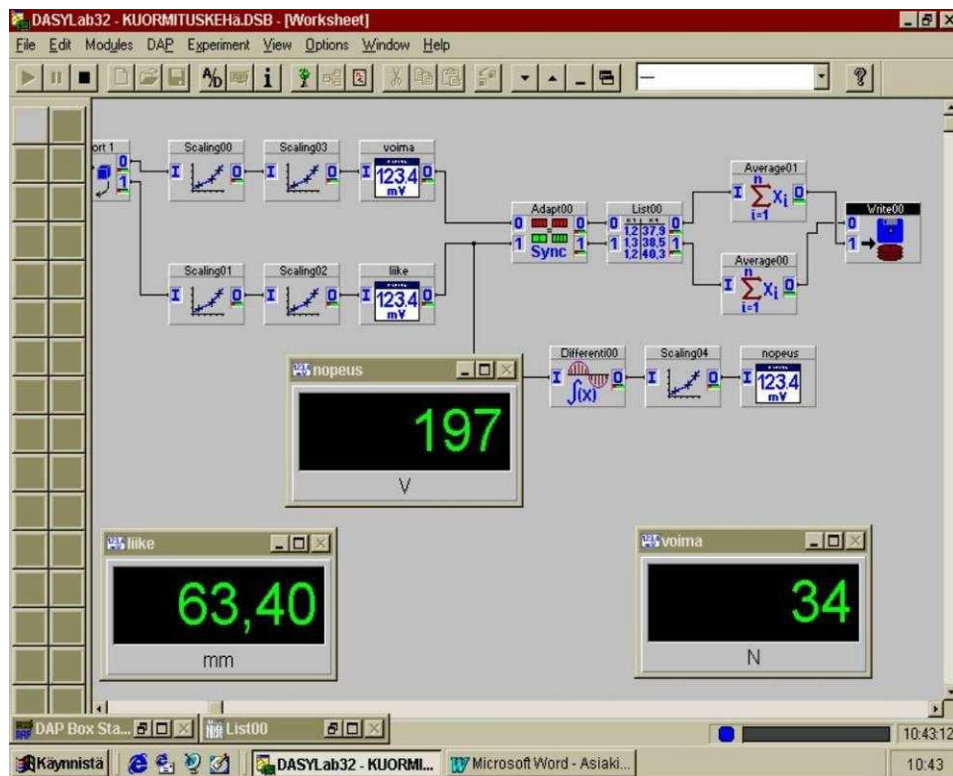


Kuva 6.2. Kuormituskehä

Kuormituskehän keskellä oleva servosylinteri pitää sisällään asema-anturin, jolla voidaan paikantaa sylinterin asema hyvinkin tarkasti. Syöttämällä jännitettä 0–10 V voidaan sylinterin asema määrittellä millien tarkkuudella. Esimerkiksi maksimijännitteellä 10 V on sylinteri ulkona 400 mm ja 0 V:lla 0 mm. (Liukkonen 2001.)

Sylinterin päässä on voima-anturi, jonka kapasiteetti on 250 kN. Voima-anturi mittaa voimaa jännitysvenymäliuskoilla, joita on kytketty 4 kpl rinnan. Voima-anturin kapasiteetin voi ylittää 150 %:lla, joten anturin todellinen kapasiteetti on 375 kN. (Liukkonen 2001.)

Voima- ja asema-anturien mittaustulosten hallintaan käytetään kuormituskehän ohjausyksikössä olevaa DASY-Lab 5.0 -ohjelmaa (kuva 6.3).



Kuva 6.3 DASY-Lab 5.0 -mittausohjelma

DASY-Lab -ohjelman oletusarvoinen mittaustiheys on 3 kertaa sekunnissa. Kuormituksen jälkeen saadut mittaustiedot voidaan siirtää Excel- taulukkolaskentaan ja edelleen käsitellä siellä halutulla tavalla.

### 6.3 Venymäliuskat

Venymäliuska on materiaalin venymisen mittaamiseen tarkoitettu anturi. Sen toiminta perustuu siihen, että anturissa olevan metallijohteen muoto muuttuu venytyksen takia ja siksi myös johteen sisäinen resistanssi muuttuu. Liuskan vastus kasvaa liuskaa venytettäessä ja pienenee sitä puristettaessa. Resistanssin muutoksen avulla saadaan mitattua kyseessä olevan materiaalin venymää.

Venymäliuskojen mittauksessa käytetään DEWE-3010 mittalaitetta ja siinä olevaa ohjelmaa DEWESoft 6.5. Mittaustiheys DEWESoft 6.5 ohjelmalla on 50 000 kertaa sekunnissa mittauskanavaa kohti (kuva 6.4).



Kuva 6.4 Venymäliuskojen mittausyksikkö DEWE-3010

Mittauskanavia käytetyssä DEWE-3010-laitteessa on kaksi kappaletta. Mittauskanavien määrä johtaa siihen, että testattavassa elementissä voi kerrallaan olla venymäliuskoilla varustettuja ansaita vain kaksi kappaletta. Ideaalitulanteessa jokaisessa ansaassa olisi venymäliuska, mutta tämä ei ollut laitteiston takia mahdollista ja neljän venymäliuskan käyttö jokaisessa elementissä olisi luonnollisesti nostanut kustannuksia.

Venymäliuskojen asennuksen suoritti Saimaan ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Olli Orkamaa. Liuskojen kiinnittämisen jälkeen anturit suojattiin teipillä. Teipin tarkoituksena oli estää venymä-anturien ja juotosten vahingoittuminen, painettaessa ansaita eristekerroksen läpi (kuva 6.5).





Kuva 6.5. Venymäliuskat asennettuna ansaisiin

#### 6.4 Testielementti

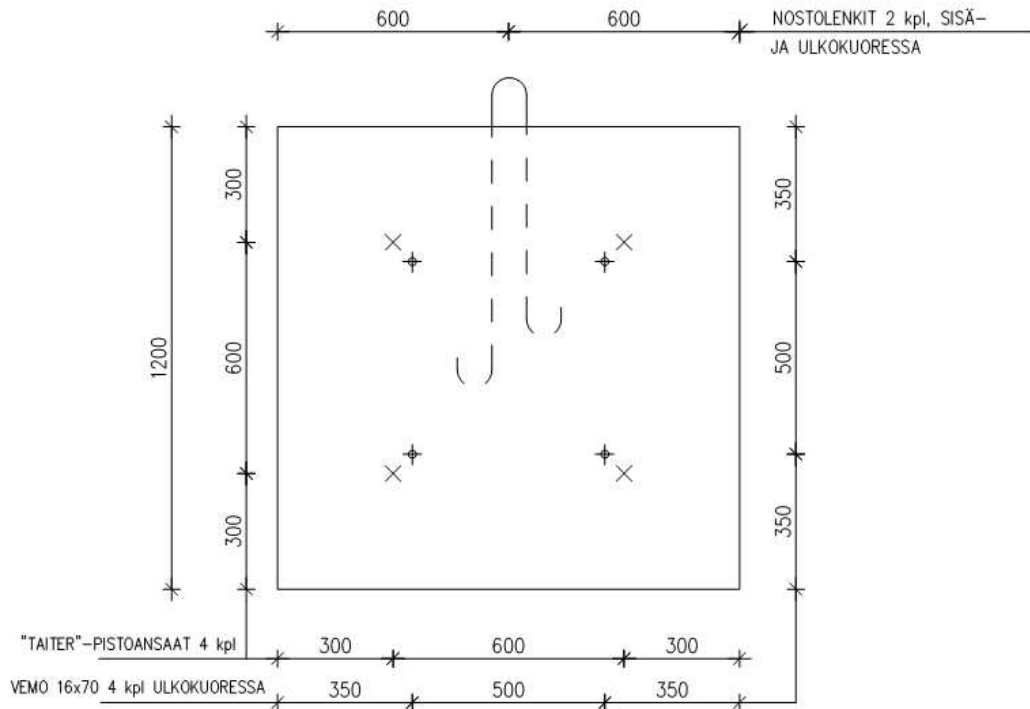
Kuormitussuunnitelman avulla saatiin tehtyä tärkeimpiä kuormitusjärjestelyihin tarvittavia materiaalihankintoja. Kuitenkin, koska suunnitelma perustui hyvin pitkälle visioiden ja hahmotelmien varaan, koejärjestelyjä oli erittäin vaikeaa valmistella etukäteen. Kuormitusjärjestelyjen selkeyttämiseksi päätettiin ensin valmistaa testielementti. Testielementin tarkoituksena oli helpottaa kuormitusjärjestelyjen toteuttamista, ennen varsinaisten elementtien kokeita. Samalla voitiin myös testata tuentojen riittävyys ja kestävyys ja kuormitustilanteen kokonaisvaltainen toimivuus.

Testielementiksi valittiin 240 mm mineraalivillaeristeinen elementti.

Testielementin ulkomitat ovat 1200 mm x 1200 mm. Elementin sisä- ja ulkokuoren paksuus on 80 mm ja mineraalivilla eristeen paksuus 240 mm. Rakenteen kokonaispaksuudeksi tulee näin ollen 400 mm. Elementin kuoret yhdistävät Tai-



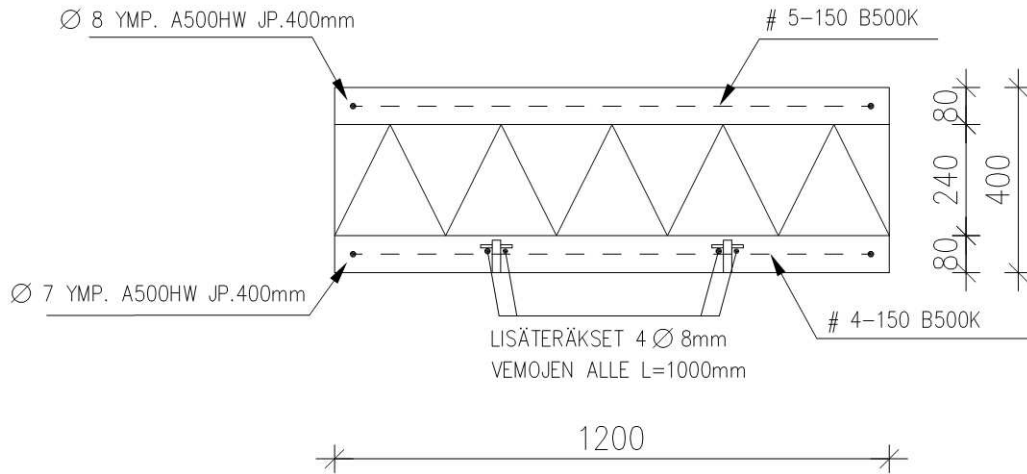
ter-pistoansaot on sijoitettu 300 mm:n päähän elementin ulkoreunoista ja niiden keskinäinen etäisyys on 600 mm (kuva 6.6).



Kuva 6.6. Testielementti

Elementin ulkokuoreen asennettavat Vemo-valuankkurit (16x70, 4 kpl) sijoitetaan 350 mm:n päähän elementin ulkoreunoista, ja niiden keskinäinen etäisyys on 500 mm. Nostolenkit asennetaan elementin ulko- ja sisäkuoreen elementin keskelle, 600 mm:n etäisyydeltä ulkoreunasta.

Testielementin ulko- ja sisäkuoreen asennetaan 40 mm:n etäisyydeltä reunasta koko betonikuoren kiertävä pieliteräs jatkospituudella 400 mm. Ulkokuoreessa pieliteräksen halkaisija on 7 mm ja sisäkuoreessa 8 mm (kuva 6.7).



Kuva 6.7. Elementin leikkauspiirros

Lisäksi elementin molempiin kuoriin asennetaan 150 mm:n silmäkoolla olevat rauditusverkot. Ulkokuoressa rauditusverkon paksuus on 4 mm ja sisäkuoressa 5 mm.

Vemo-valuankkurien alle asennetaan 4kpl 1000 mm pitkät 8 mm halkaisijalla olevat lisäteräkset, joiden tarkoituksena on varmistaa valuankkurien riittävä vetokestävyys elementin koestusvaiheessa.

## 6.5 Testielementin valu

Testielementti valettiin Joutsenon elementti Oy:n elementtitehtaassa 11.2.2010 klo 10.00 alkaen. Elementin muottityö, lämmöneristeet, raudoitukset ja nostosarat oli hankittu jo valmiiksi ja raudoitukset sekä lämmöneristeet oli leikattu tarvittavaan mittaan jo ennen valutyön aloittamista (kuva 6.8).



Kuva 6.8. Testielementin ulkokuoren raudoitus

Tarvittavien alkuvalmistelujen jälkeen testielementin ulkokuori betonoitiin. Valutun betonikerroksen päälle asennettiin 240 mm paksu mineraalivillaeriste.

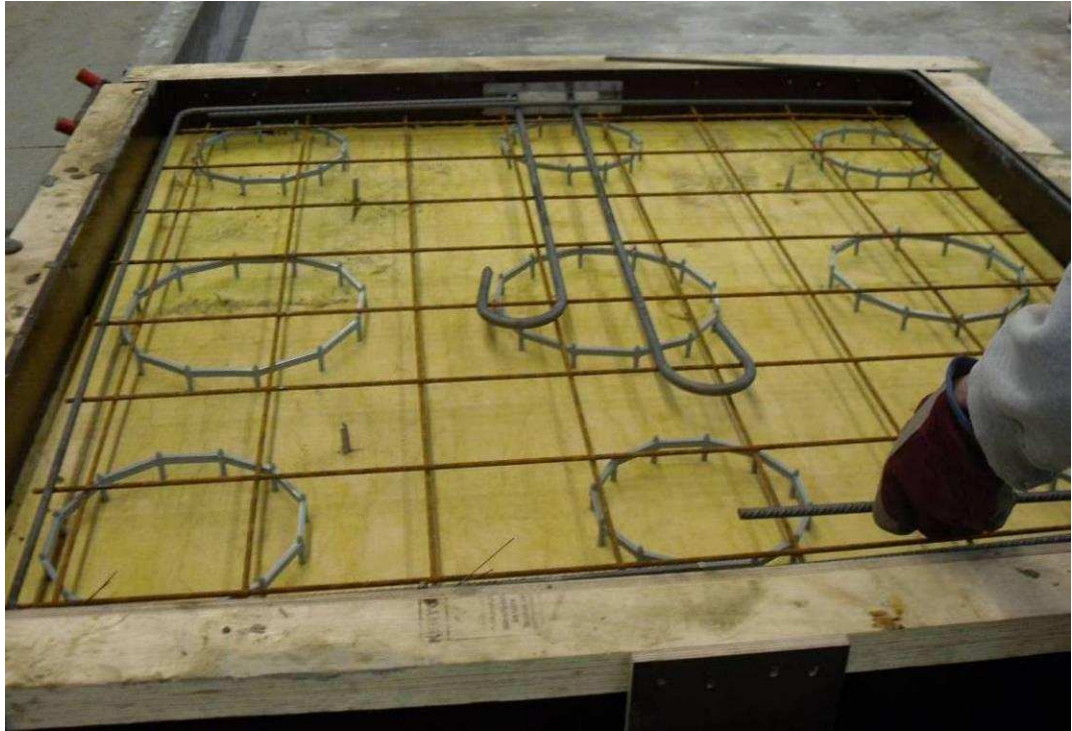
Tämän jälkeen mitattiin ja merkittiin eristeeseen seuraavaksi asennettavien Taiter-pistoansaiden sijainnit. Merkitsemisen jälkeen ansaat asennettiin mineraalivillakerroksen läpi käyttämällä siihen tarkoitettua asennuslaitetta. Laitteen tarkoitus on varmistaa ansaan oikea ja riittävä asennussyvyys, jotta ansaan 40 mm:n tartunta ulkokuoren betonivaluun on riittävä. Lisäksi laite helpottaa ansaiden asentamista kovien eristekerrosten läpi (kuva 6.9).



Kuva 6.9. Taiter-pistoansaiden asennus eristekerroksen läpi

Ansaiden asentamisen yhteydessä tuli varmistua siitä, että ansaan pää on riittävästi ympäröitynä betoniin. Tämä varmistettiin liikuttamalla ansasta edestakaisin muutaman kerran.

Ansaiden asentamisen jälkeen asennettiin paikoilleen elementin sisäkuoren rauditus. Rauditusosat olivat valmiina (kuva 6.10).



Kuva 6.10. Testielementin sisäkuoren rauditus

Sisäkuoreen tuleva rauditusverkko asetettiin korokoepalojen avulla haluttuun korkeuteen. Tämän jälkeen sidottiin ulkokuoren muut raudotteet kiinni rauditusverkkoon.

Raudoitusten ollessa paikallaan, suoritettiin vielä testielementin ulkokuoren betonointi (kuva 6.11).





Kuva 6.11. Testielementin sisäkuoren betonointi ja vibraus

Sisäkuoren valun jälkeen betonikerros vibrattiin riittävän tiiviyn aikaansaamiseksi. Tiivistyksen jälkeen betonin pinta teräshierrettiin ja jätettiin elementti odottamaan kuormitusjärjestelyjen alkua.

## 6.6 Kuormitusjärjestelyt

Testi-elementti saapui Saimaan ammattikorkeakoulun laboratorioon 15.2.2010.

Elementti nostettiin kuljetusauton kyydistä kuormalavan päälle, käyttämällä laboratoriotiloissa olevaa TEHO-hallinostinta. Elementin siirtely laboratoriossa hoidettiin käytössä olleiden nostoliinon ja Rocla-pumppukärryn avulla (kuva 6.12).



Kuva 6.12. Elementin siirto

Elementti siirrettiin kuormituspaikalle edellä mainittuja laitteita apuna käyttäen. Elementin sijoittuminen keskeisesti kuormituskehään nähden varmistettiin mitaamalla elementin reunan ja kuormituskehän pilariosan välinen etäisyys, molemmilta puolilta elementtiä. Kun elementti oli saatu sijoitettua oikeaan kohtaan, päästiin aloittamaan sisäkuoren tuentojen asennus.

Ensimmäinen vaihe kuormitusjärjestelyissä oli kulmaterästen asentaminen sisäkuoren laidoille (kuva 6.13).

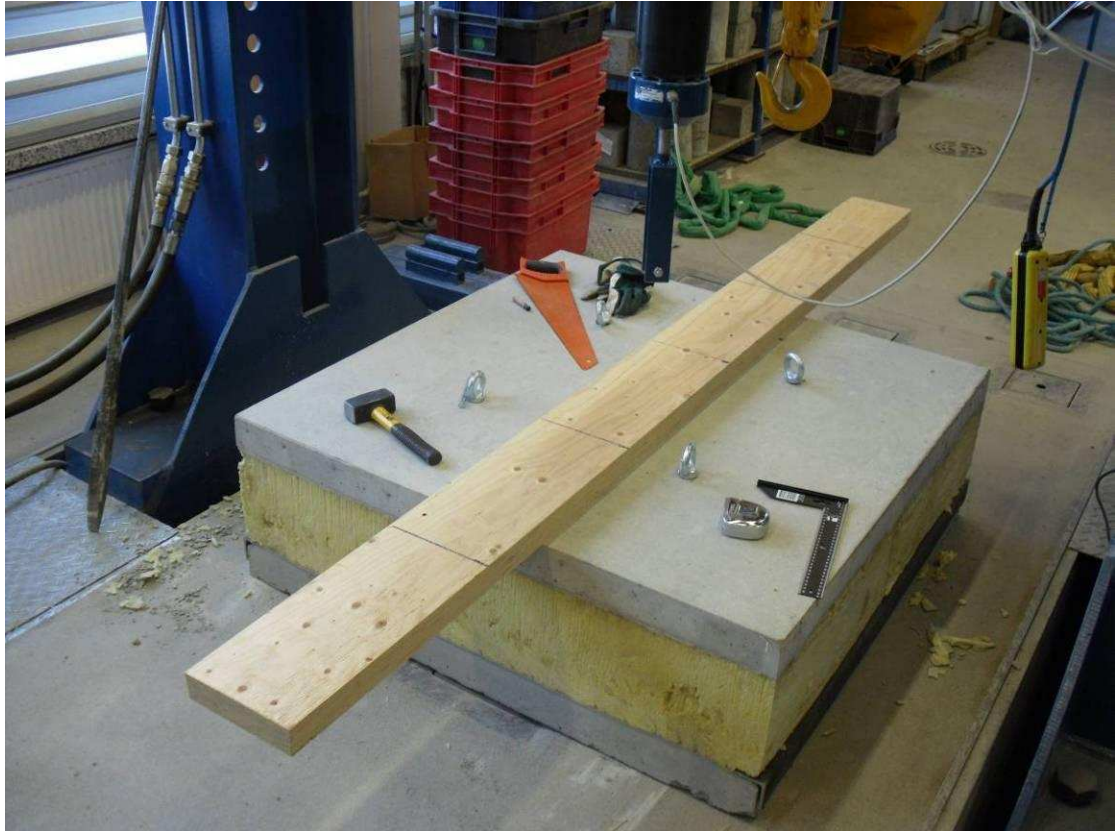


Kuva 6.13 Kulmateräksen asennus sisäkuoreen

Kulmaterästen tarkoituksena on jakaa kokeen aikana tuennoista aiheutuvat rasitukset koko kuoren sivun mitalle. Kulmaterästen asennus betonikuoren ja mineraalivillan rajapintaan oli suhteellisen helppoa, villan pehmeästä rakenteesta ja pienestä tartuntalujuudesta johtuen. Mineraalivillaa seuraavilla eristeillä asennustyö ei ollut yhtä kivutonta, ja eristekerroksen loveamiseen jouduttiin käyttämään erinäisiä työkaluja.

Kulmaterästen asennuksen jälkeen oli seuraavana vuorossa kertopuupalkista katkottujen tuentakappaleiden loveus (kuva 6.14).





Kuva 6.14. Kertopuutuntojen asennusta

Kertopuupuupalkkeihin tehtävien loveusten mitta määräytyy sisäkuoren ja kuoren päällä olevan kulmateräksen paksuuden yhteismitasta. Palkkeihin tehtävät loveukset pyrittiin tekemään mahdollisimman tiukoiksi, jotta kertopuun ja kulmateräksen väliin ei jäisi turhaa tyhjää tilaa. Koestustilanteen aikana ylimääräinen väljyys tuennoissa johtaa siihen, että elementti nousee kokonaisuudessaan hieman irti maasta, ennen kuin tuennat alkavat ottaa varsinaista kuormitusta vastaan.

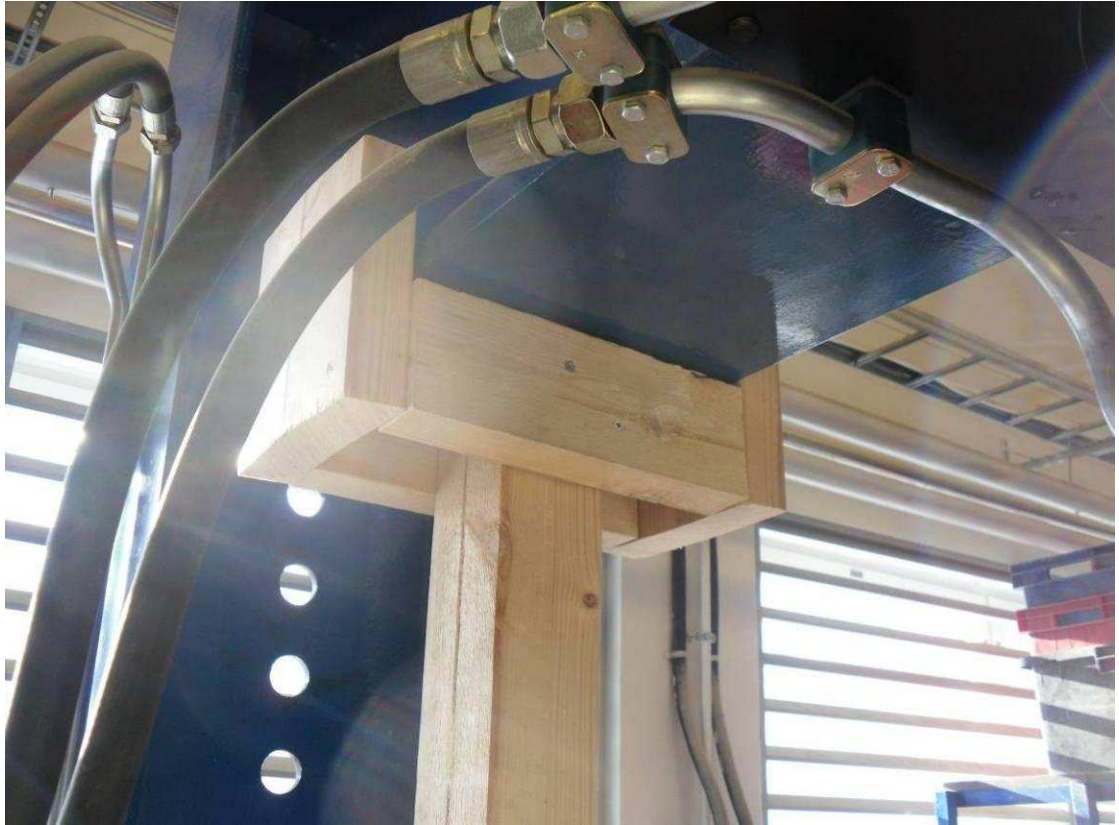
Kertopuupalkkien loveusten jälkeen lovettiin mineraalivillakerrokseen paikat edellä mainituille palkeille (kuva 6.15).



Kuva 6.15. Kertopuupalkkien asennus kulmaterästä vasten

Tuentapalkkien asennuksen jälkeen, niiden päälle kiinnitettiin kertopuusta valmistettu 200 x 300 mm:n kokoinen palkki. Palkin tehtävänä on välittää kokeen aikaisia kuormia ja estää alempien tuentapalkkien nousu.

Palkin päältä lähtee kaksi kappaletta 50 x 100 mm pystytuentoja, jotka tukeutuvat kuormituskehän palkin alapintaan. Pystytuntojen ja palkin välinen liitos toteutettiin käyttämällä pilarikenkiä. Pystytuntojen yläpään liitos toteutettiin siten, että pystytuennot eivät pääse liukumaan pois paikaltaan kuormituksen aikana (kuva 6.16).



Kuva 6.16. Pystytuennan yläpään liitos

Ulkokuoren laittaa vasten asennettiin U-profiilinen teräspalkki. Palkin tarkoituksena on jakaa tunkilta tuleva pistemäinen kuorma koko ulkokuoren sivun alueelle.

Palkin asennuksen yhteydessä jouduttiin jälleen loveamaan mineraalivillaan riittävä ura (kuva 6.17).





Kuva 6.17. Asennettu U-palkki

U-palkin asennuksen jälkeen tuettiin käsitunkki palkkia vasten. Tunkki asennettiin pystytuentojen väliin, elementin laitaan nähden keskeisesti. Tunkin kiinnittämiseen käytettiin metallisia putkipantoja, joiden avulla tunkki saatiin tiukasti kiinni kertopuupalkkia vasten (kuva 6.18).



Kuva 6.18. Tunkki kiinnitettynä ja valmiina koestukseen

Tunkin toiseen päähän asennettiin vielä teräksinen kuormituslevy. Levyn tehtävänä on siirtää tunkista aiheutuva rasitus kuormituskehän pilarille.

Kun elementtiin liittyvät tuennat oli saatu asennettua paikalleen, käytiin seuraavaksi valmistamaan kuormituspalkkia.

### **6.7 Kuormituspalkin valmistus**

Kuormituspalkin tarkoituksena on toimia kuormituskehän ja elementin ulkokuoren välisenä nosto-osana. Kuormituspalkin tärkein tehtävä on aikaansaada tasainen veto kaikista ulkokuoren neljästä nostopisteestä. Kuormituspalkki valmistettiin teräksisestä I-profiilista sekä siihen hitsattavasta nivelestä ja kahdesta nostosilmukasta.

Kuormituspalkin hitsaustyön suoritti Antti Kuukka (kuva 6.19).



Kuva 6.19. Kuormituspalkin hitsaus

Kuormituspalkin pituus on 600 mm. Palkin alapintaan hitsattavat nostosilmukat on sijoitettu 50 mm:n päähän palkin päistä. Näin ollen silmukoiden etäisyydeksi jää 500 mm, joka vastaa ulkokuoressa olevien nostolenkkien keskinäistä etäisyyttä.

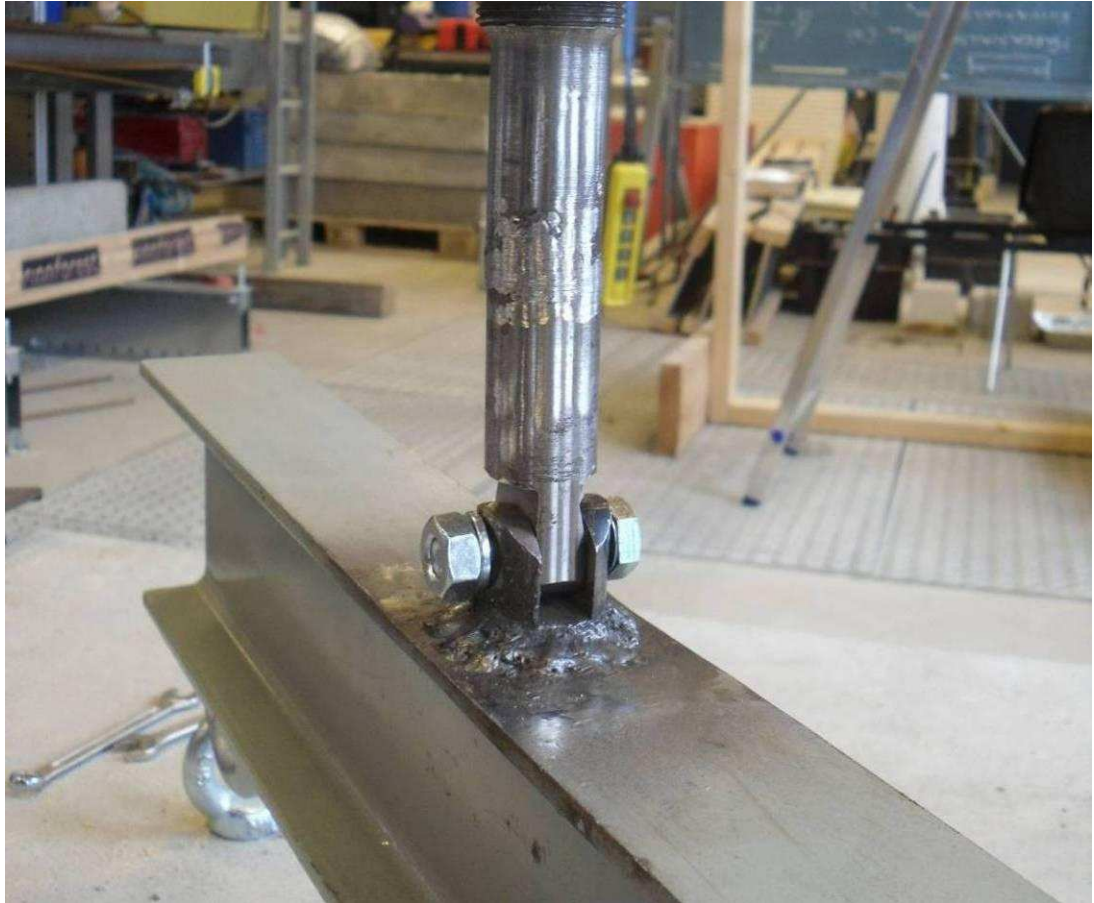
Silmukoiden sijoittelulla pyritään tulevasta vetokokeesta tekemään mahdollisimman tasaisesti kuormitettu, jotta kuormituspalkkiin tai ulkokuoreen ei kohdistuisi etäisyyksien eroista johtuvaa vääntörasitusta (kuva 6.20).



Kuva 6.20. Nostosilmukoiden sijoittelu

Kuormituspalkin yläpintaan hitsattiin nivelellinen liitoskappale, joka yhdistää kuormituskehän liitostapin ja kuormituspalkin toisiinsa. Liitos päätettiin toteuttaa nivelellisenä, jotta kokeen aikana mahdollisesti syntyvät vääntörasitukset saataisiin poistettua (kuva 6.21).





Kuva 6.21. Kuormituspalkin nivelliitos

Vääntöä kuormituspalkkiin syntyy esimerkiksi kokeeseen käytettävien teräsvaijerien pituuserosta, elementin epäkeskisyydestä kuormituskehään nähden ja ulkokuoren nostolenkkien mahdollisista mittaheitoista.

Kuormituspalkin nostosilmukoiden ja elementin ulkokuoressa olevien nostolenkkien välinen liitos suoritettiin teräsvaijereilla. Teräsvaijerit pujotetaan silmukoiden läpi ja liitetään vaijerin päät toisiinsa sakkeleilla (kuva 6.22).





Kuva 6.22. Teräsvaijerin päiden liitos

Edellä esitelty liitos mahdollistaa vaijerin liikkumisen silmukoiden sisällä. Näin mahdollisista mittaeroista johtuvat pakkovoimat pääsevät vapaasti tapahtumaan.

Teräsvaijereiden kiinnitysten jälkeen kuormitusjärjestely on kokonaisuudessaan valmis (kuva 6.23).



Kuva 6.23. Kuormitusjärjestely koestusvalmiudessa

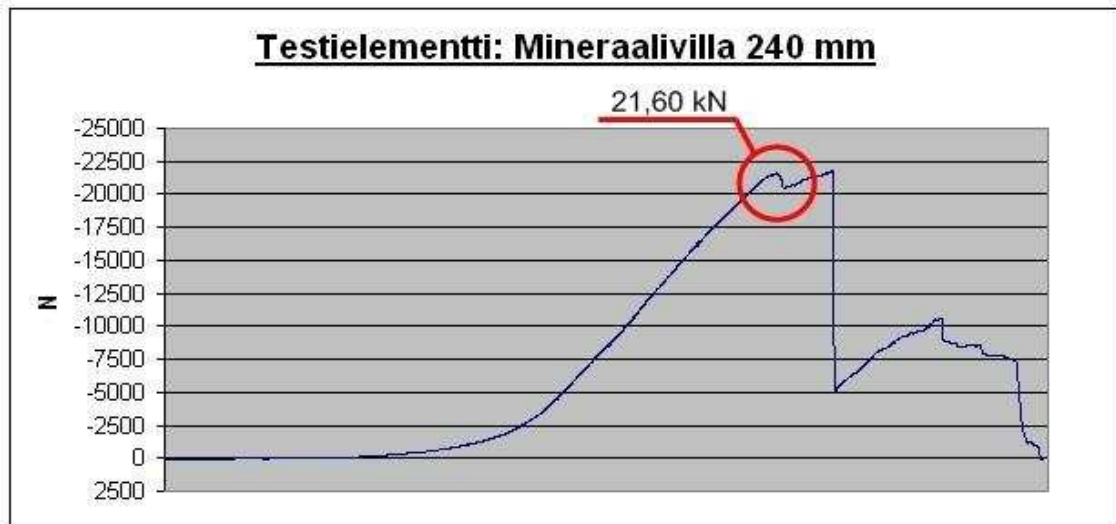
Koestuksen jälkeen tuentojen poistaminen ja uudelleen kasaus seuraavaa elementtiä varten on suhteellisen nopeaa, koska kokeet ovat järjestelyiltään samanlaisia ja samat tuentaosat käyvät myös seuraaviin elementteihin.

## 7 ELEMENTTIEN KOESTUKSET JA TULOKSET

Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi tehdyt kokeet ja niistä saadut tulokset. Jokaisen testatun elementin kohdalla on kerrottu elementin murtomekanismi ja maksimikuorma.

## 7.1 Testielementti: Mineraalivilla 240 mm

Koekuormituksessa elementtiä kuormitettiin käsitunkilla 2,9 kN:n voimalla, jonka jälkeen elementti vedettiin lopulliseen murtoon asti. Testielementin murto tapahtui 21,60 kN voimalla (kuva 7.1).

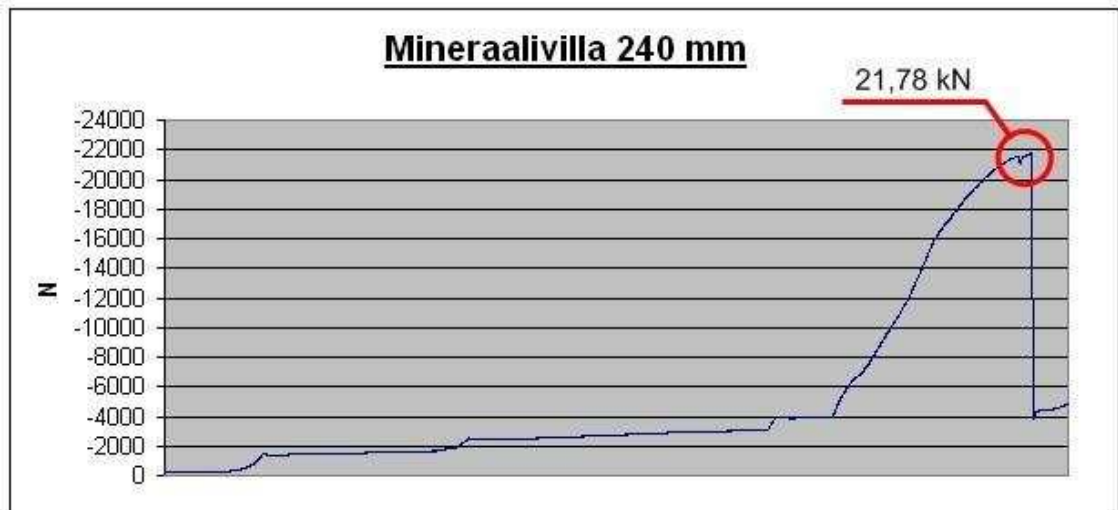


Kuva 7.1. Testielementin kuormituskuvaaja

Murtomekanismi testielementillä oli ansaan vetomurto. Kuormituskoe osoitti että käytetty koejärjestely on toimiva ja käytettyjen tuentojen kapasiteetti on riittävä. Kun koejärjestely oli todettu toimivaksi, käytiin seuraavaksi suorittamaan elementtien varsinaista testausta.

## 7.2 Mineraalivilla 240 mm

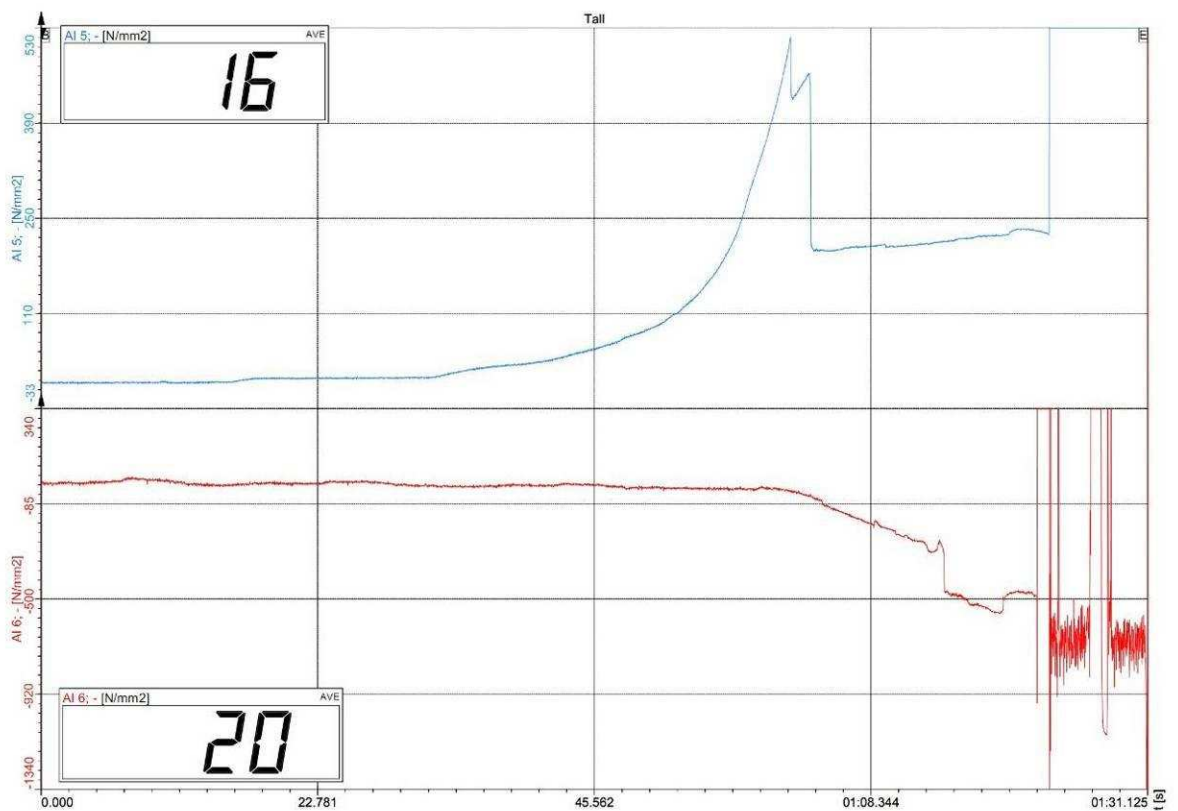
Koekuormituksessa elementtiä vedettiin ensin 2,9 kN:n voimalla (ulkokuoren paino). Tämän jälkeen asetettiin venymäliuskojen nollassa ja kuormitettiin tunkilla elementin ulkokuorta 2,9 kN:n voimalla. Alkuvalmistelujen jälkeen elementti vedettiin lopulliseen murtoon asti. Murto tapahtui 21,78 kN voimalla. (kuva 7.2).



Kuva 7.2. Mineraalivilla 240 mm:n kuormituskuvaaja

Murtomekanismi mineraalivilla 240 mm:n elementillä oli sama kuin testielementin, eli ansaan vetomurto.

Venymäliuskoista saaduista tuloksista nähdään, että ansaassa vaikuttanut jännitys ennen ansaan pettämistä oli noin 500 N / mm<sup>2</sup> (kuva 7.3).

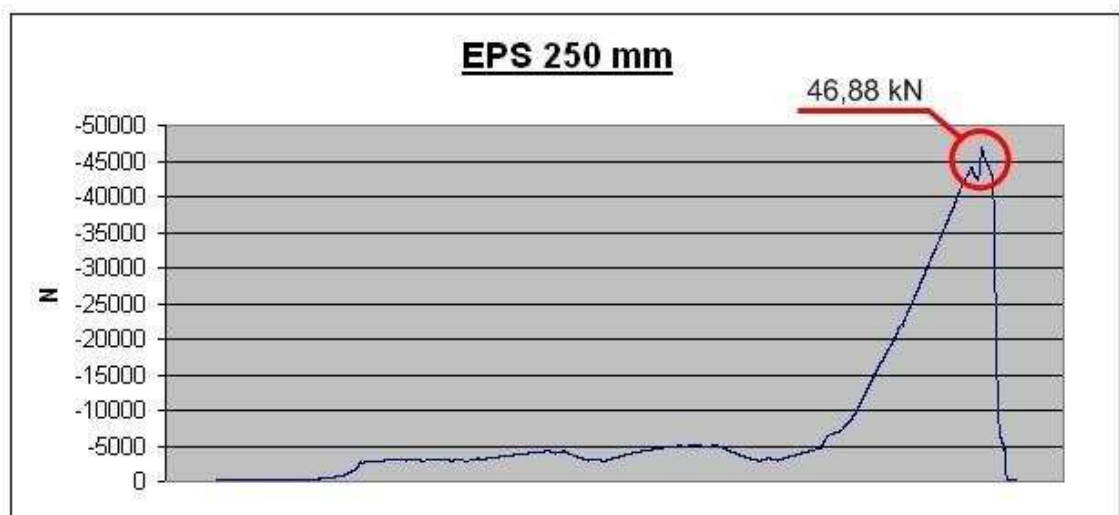


Kuva 7.3. Mineraalivilla 240 mm:n venymäliuskakuvaaja

Kuvassa 7.3 olevan ylemmän ansaan kuvaajan jännityspiikki ennen vetokuormituksen varsinaista aiheuttamista, ei ole kunnolla selitettävissä. Todennäköisesti syynä oli vioittunut mittajohto, jonka huono kunto paljastui tuentoja poistettaessa. Toisesta ansaasta mitattua jännityskuvaajaa voidaan kuitenkin pitää luotettavana.

#### 7.4 EPS 250 mm

EPS 250 mm elementin koestus suoritettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä kokeessa elementin ulkokuorta vedettiin ensin 2,9 kN:n suuruisella voimalla, asetettiin venymäliuskojen nollassa, nostettiin kuormitus 4 kN:n ja palautettiin takaisin 2,9 kN:iin. Vetorasituksen muuntelulla pyrittiin mallintamaan todellista tilannetta jossa tuulen imupaine hetkellisesti kuormittaa ulkokuorta ja palautuu sitten neutraaliin tilaan. Tämän jälkeen elementtiä kuormitettiin 5 kN:iin ja palautettiin 2,9 kN:iin. Palautuksen jälkeen elementtiä vedettiin aina 46,88 kN:in asti jonka jälkeen kuormitus päätettiin lopettaa, koska tuentojen kestävydestä ei ollut täyttä varmuutta (kuva 7.4).

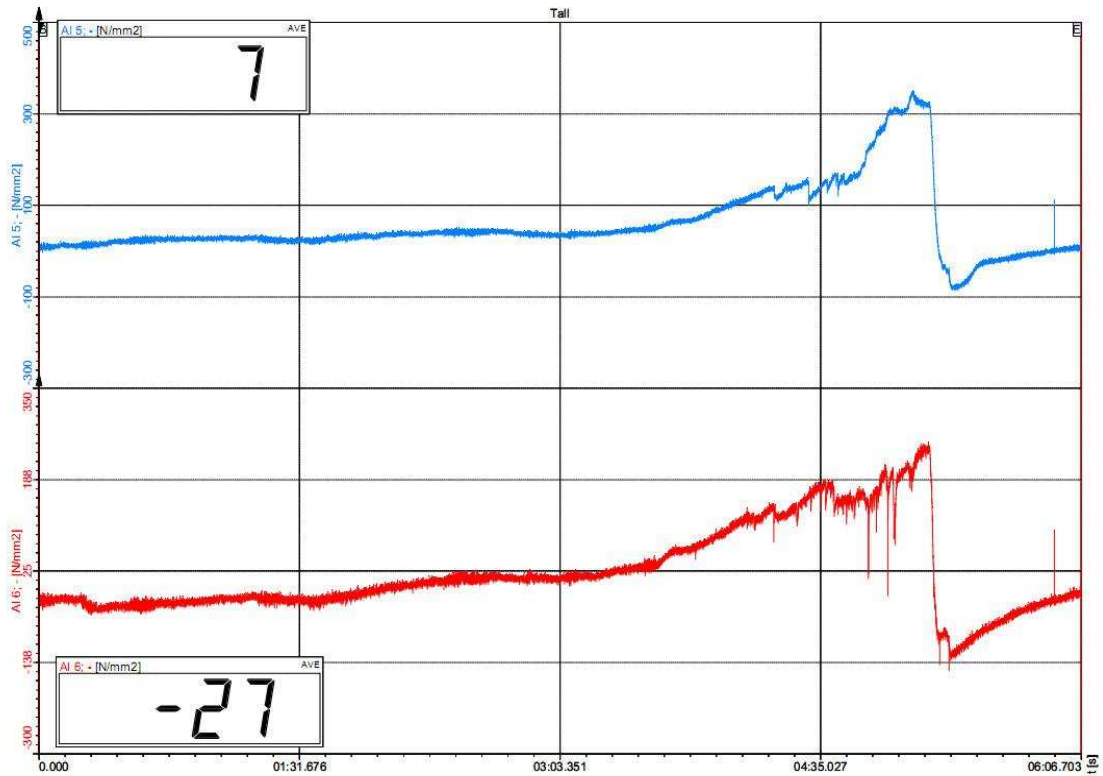


Kuva 7.4. EPS 250 mm:n kuormituskuvaaja (1. vaihe)

Venymäliuskoista saaduista tuloksista nähdään, että kuormituksen alkuvaiheessa tehty vetorasituksen porrastus, aiheutti ansaissa keskimäärin noin 20–

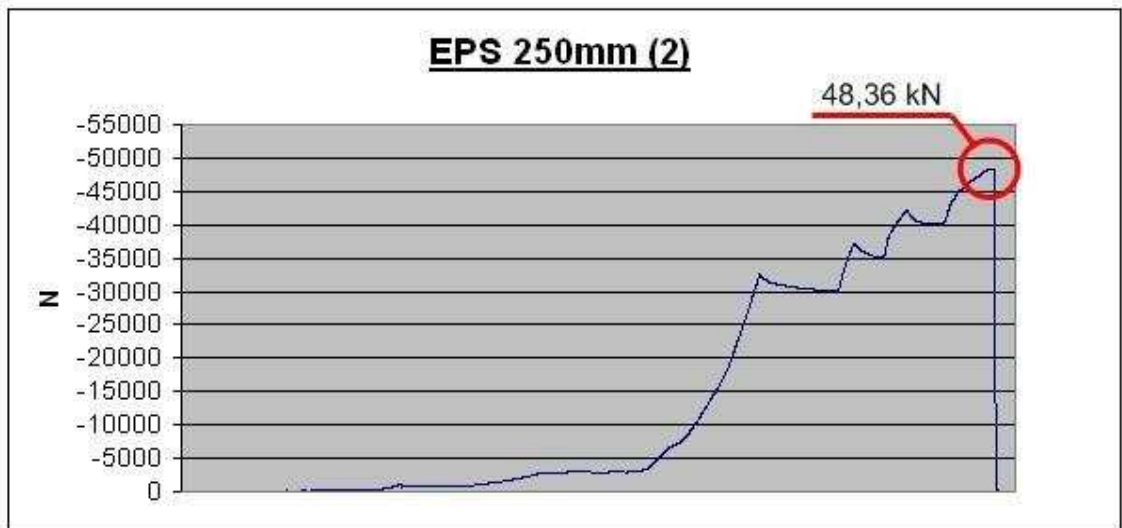


40 N /mm<sup>2</sup>:n jännityksen kasvun. Kokeen loppuvaiheen 46,88 kN:n voiman aiheuttama jännitys oli toisessa ansaassa noin 340 N / mm<sup>2</sup> ja toisessa noin 280 N / mm<sup>2</sup> (kuva 7.5).



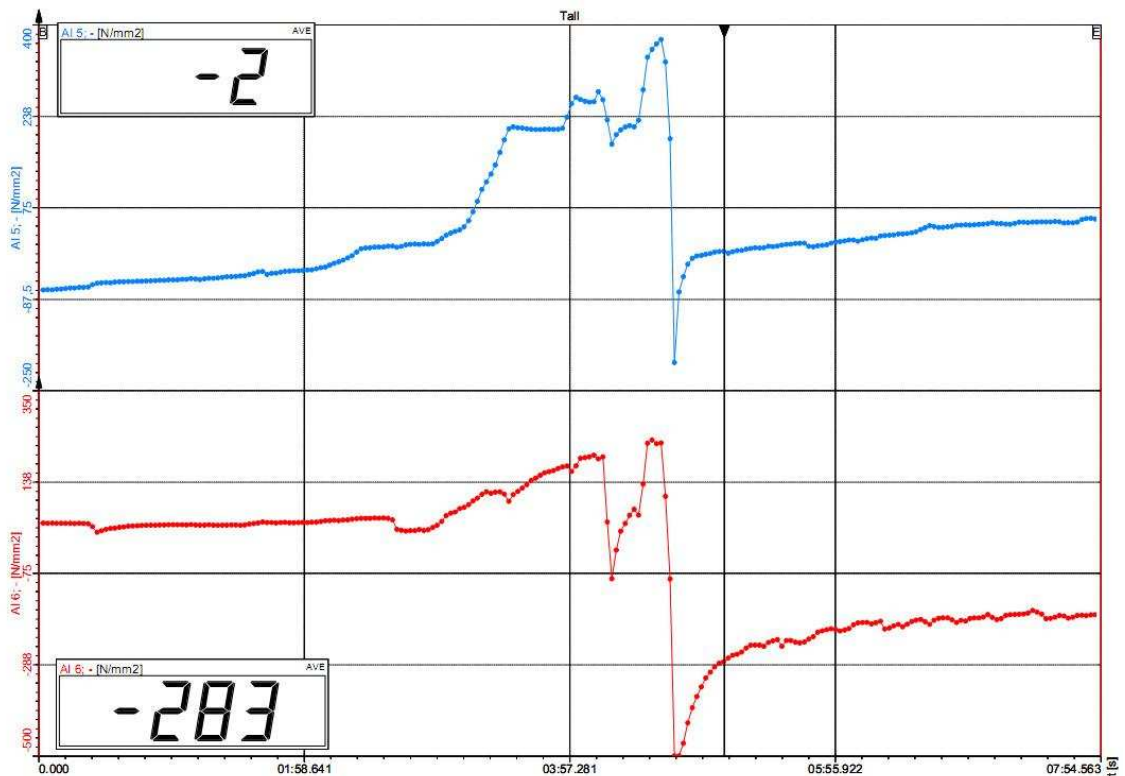
Kuva 7.5. EPS 250 mm:n venymäliuskakuvaaaja (1. vaihe)

EPS 250 mm toisessa koestusvaiheessa elementti päätettiin kuitenkin vetää joko elementin murtoon tai tuentojen pettämiseen saakka. Ulkokuoren 2,9 kN:n vedon ja venymäliuskojen nollauksen jälkeen, elementtiä vedettiin aina 48,36 kN:n asti, jonka jälkeen yksi kuormitettavista nostolenkeistä murtui ja koe lopetettiin (kuva 7.6).



Kuva 7.6. EPS 250 mm:n kuormituskuvaaja (2. vaihe)

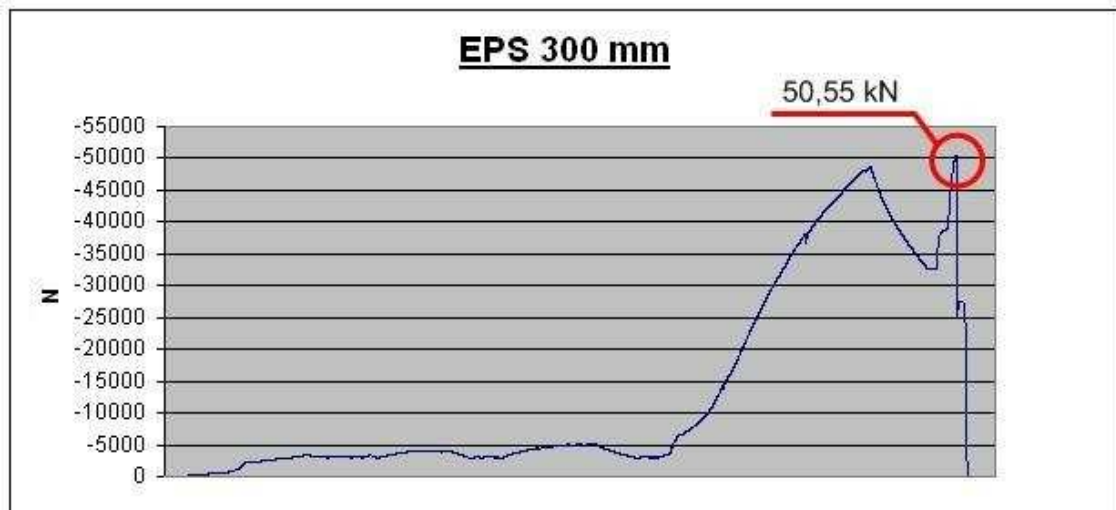
Venymäliuskoista saadut jännityskuvaajat ovat hyvin samansuuruiset kuin ensimmäisen vaiheen kuormituksessa (kuva 7.7).



Kuva 7.7. EPS 250 mm:n venymäliuskakkuvaaja (2. vaihe)

### 7.3 EPS 300 mm

EPS 300 mm elementin kokeen kulku oli samanlainen kuin EPS 250 mm elementillä. Alun kuormitus porrastuksen jälkeen elementtiä vedettiin noin 48 kN:n asti, tarkistettiin tuentojen kestävyys ja vedettiin loppumurtoon 50,55 kN:n saakka (kuva 7.8).

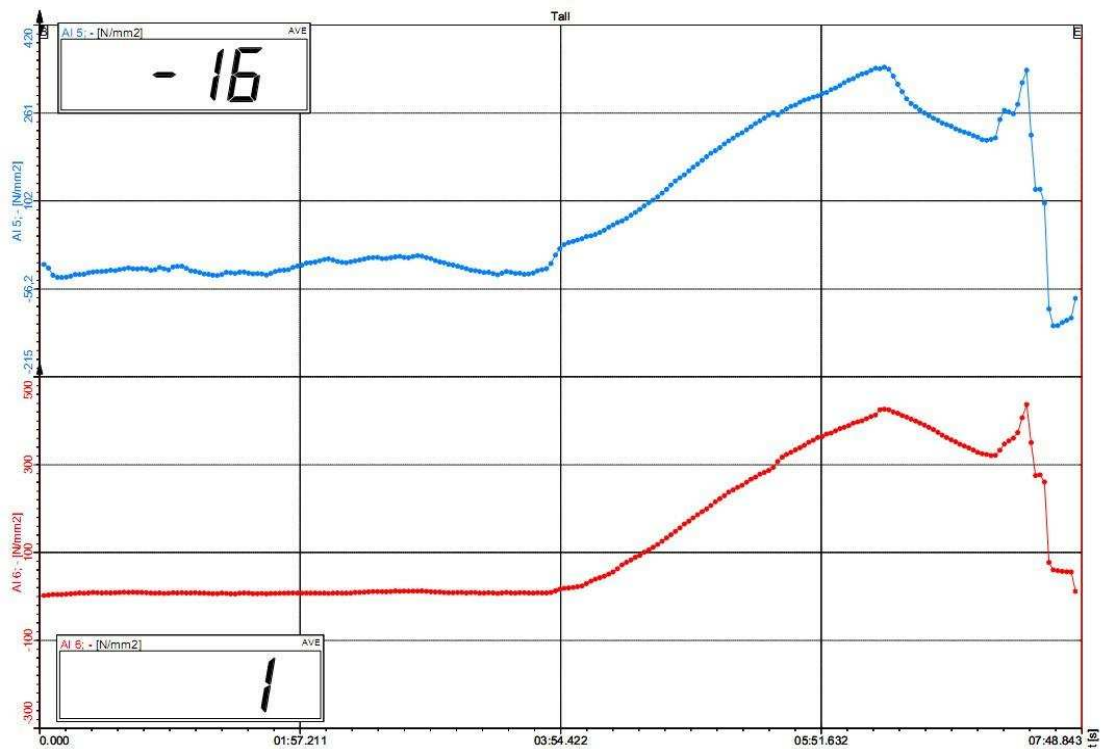


Kuva 7.8. EPS 300 mm:n kuormituskuvaaja

Murtomekanismi kokeessa oli toisen kuormituksessa käytetyn teräsvaijerin katkeaminen.

Venymäliuskoista saaduista tuloksista nähdään, että kuormituksen alkuvaiheessa tehty vetorasituksen porrastus, aiheutti ansaissa keskimäärin noin 10–30 N / mm<sup>2</sup>:n jännityksen kasvun. Kokeen loppuvaiheen 50,55 kN:n voiman aiheuttama jännitys oli toisessa ansaassa noin 350 N / mm<sup>2</sup> ja toisessa noin 400 N / mm<sup>2</sup> (kuva 7.9).



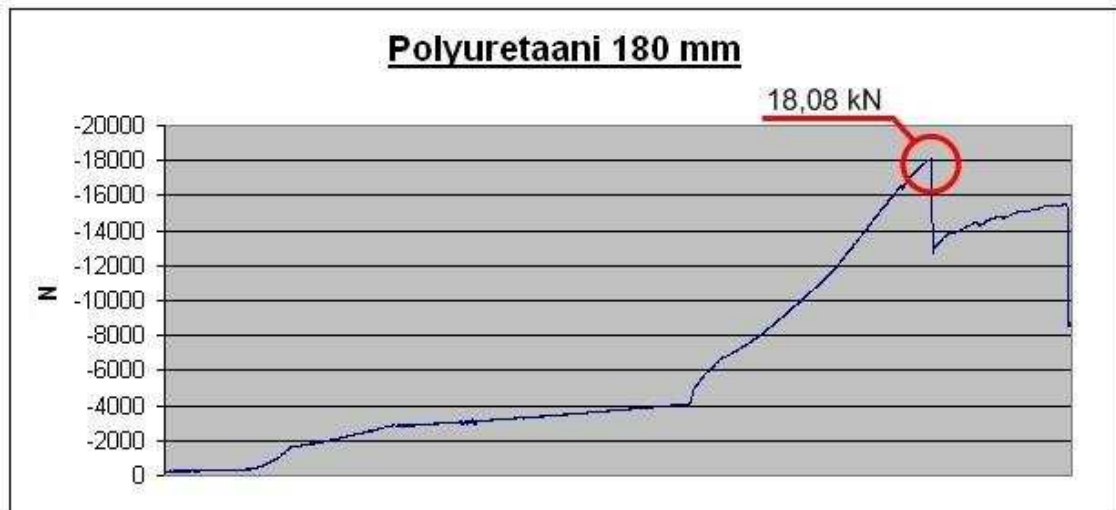


Kuva 7.9. EPS 300 mm:n venymäliuskakuvaaja

EPS elementtien testauksen jälkeen koejärjestelyissä luovuttiin venymäliuskojen käytöstä. Syynä käytöstä luopumiseen oli liuskoista saatavan tiedon määrän vähäisyys suhteutettuna liuskojen eteen tehtävään työmäärään. Tarkempia huomioita aiheesta löytyy luvusta 10.

## 7.5 Polyuretaani 180 mm

Polyuretaani 180 mm elementtiä vedettiin ensin 2,9 kN:n voimalla ja kuormitettiin tunkilla elementin ulkokuorta 2,9 kN:n voimalla. Tämän jälkeen elementti vedettiin lopulliseen murtoon asti. Murto tapahtui 18,08 kN voimalla (kuva 7.10).

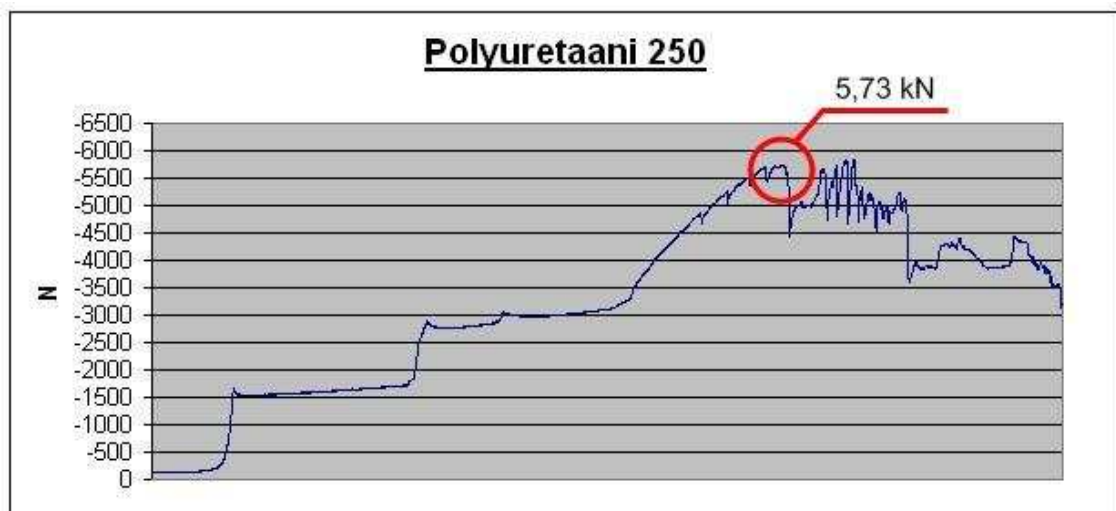


Kuva 7.10. Polyuretaani 180 mm:n kuormituskuvaaja

Murtomekanismi polyuretaani 180 mm elementillä oli ansaan ankkuroinnin pettäminen betonikuoresta.

### 7.6 Polyuretaani 250 mm

Polyuretaani 250 mm elementin koekulku oli sama kuin polyuretaani 180 mm. Elementin murto tapahtui edellisistä elementeistä poiketen jo melko varhain, 5,73 kN:n voimalla (kuva 7.11).



Kuva 7.11. Polyuretaani 250 mm:n kuormituskuvaaja

Murtomekanismi polyuretaani 250 mm:n elementissä oli ansaan ankkuroinnin pettäminen betonikuoresta. Tarkempi tutkimus osoitti että elementissä käytetyt ansaat olivat liian lyhyet. Käytetyt ansaat oli tarkoitettu 240 mm:n eristepaksuudelle, tässä käytetyn 250 mm:n sijasta. Tästä ja asennussyvyyden vaihtelusta johtuen ansaiden ankkurointisyvyys vaihteli 15 mm:stä suositeltuun 40 mm:n.

## 7.7 Yhteenveto kokeista ja tuloksista

Kuvassa 7.12 on vielä esitetty edellä mainittujen kokeiden yhteenveto, josta selviää kunkin kokeen maksimikuorma ja murtomekanismi.

<b><u>Kokeiden yhteenveto</u></b>		
	Max. kuorma	Murtomekanismi
Testielementti	21,60 kN	Ansaan vetomurto
Mineraalivilla 240 mm	21,78 kN	Ansaan vetomurto
EPS 250 mm	50,55 kN	Vaijerin pettäminen
EPS 300 mm	48,36 kN	Nostolenkin pettäminen
Polyuretaani 180 mm	18,08 kN	Ankkuroinnin pettäminen
Polyuretaani 250 mm	5,73 kN	Ankkuroinnin pettäminen

Kuva 7.12. Yhteenveto saaduista koetuloksista

Kokeiden suorittamisen jälkeen käytiin saatuja koetuloksia vertailemaan laskentaosasta saatuihin tuloksiin.

## 8 LASKENTAOSAN JA KOETULOSTEN VERTAILU

Laskentaosan kapasiteettien laskentaan on käytetty Excel-laskentapohjaa. Liitteessä 3 on esitetty esimerkkilaskelma mineraalivilla 240 mm elementille. Muiden elementtien kohdalla laskentamenettely on sama kuin esimerkkilaskelmasa, lukuun ottamatta eristepaksuuden ja eristemateriaalin muuntelua.

Seuraavaksi on esitelty kunkin elementin laskenta- ja koetulosten vertailu.

<b><u>Mineraalivilla 240 mm</u></b>	Laskennallinen	Kokeellinen	Varmuus
Ankkurointikestävyys	1,914 kN	> 5,445 kN	2,8
Max. kuorma ankkuroinnille	4,63 kN	> 21,78 kN	4,7
Ansaan vetokestävyys	2,591 kN	5,445 kN	2,1
Jännitys tod. kuormilla	123,6 N/mm <sup>2</sup>	30,0 N/mm <sup>2</sup>	4,1
Max. kuorma vetokestävyydelle	7,33 kN	21,78 kN	3,0
Jännitys max. kuormalla	620 N/mm <sup>2</sup>	500 N/mm <sup>2</sup>	1,2

Kuva 8.1. Mineraalivilla 240 mm vertailutaulukko

Mineraalivilla 240 mm elementillä määrävimmäksi tekijäksi muodostui ansaan vetokestävyys. Varmuus vetokestävyydelle laskenta- ja koetulosten perusteella on 2,1. Laskennallisen ja venymäliuskoista saadun tiedon perusteella ansaissa vaikuttavan jännityksen varmuus olisi 1,2, joka olisi rakenteellisesti määrävvin, mutta edellä esitetyn perusteella venymäliuskoista saadut jännitykset eivät ole vertailukelpoisia.

Laskennallisesti ankkurointikestävyys on rakenteen heikoin tekijä, mutta koetulokset osoittavat että ankkuroinnissa on riittävästi kapasiteettia ja teoreettinen varmuus ylittyy hienosti.

<b>EPS 250 mm</b>	Laskennallinen	Kokeellinen	Varmuus
Ankkurointikestävyys	1,914 kN	12,095 kN	6,3
Max. kuorma ankkuroinnille	4,53 kN	48,38 kN	10,7
Ansaan vetokestävyys	2,591 kN	12,095 kN	4,7
Jännitys tod. kuormilla	126,0 N/mm <sup>2</sup>	40,0 N/mm <sup>2</sup>	3,2
Max. kuorma vetokestävyydelle	7,24 kN	48,38 kN	6,7
Jännitys max. kuormalla	1287 N/mm <sup>2</sup>	340 N/mm <sup>2</sup>	3,8

Kuva 8.2. EPS 250 mm vertailutaulukko

EPS 250 mm elementin lopullinen murtomekanismi ei selvinnyt, mutta vetorasi-  
tuksen ollessa 48,38 kN, ovat rakenneosien varmuudet jo erittäin riittävät.

Koekuormitus osoitti selkeästi eristemateriaalin vaikutuksen elementin raken-  
teellisen kestävyteen. Verrattuna aikaisempaan mineraalivillaelementtiin kuor-  
mitus on jo yli kaksinkertainen, eikä elementin murtoa vielä tapahtunut.

<b>EPS 300 mm</b>	Laskennallinen	Kokeellinen	Varmuus
Ankkurointikestävyys	1,914 kN	12,64 kN	6,6
Max. kuorma ankkuroinnille	4,53 kN	50,55 kN	11,2
Ansaan vetokestävyys	2,591 kN	12,64 kN	4,9
Jännitys tod. kuormilla	137,8 N/mm <sup>2</sup>	30,0 N/mm <sup>2</sup>	4,6
Max. kuorma vetokestävyydelle	6,76 kN	50,55 kN	7,5
Jännitys max. kuormalla	1353 N/mm <sup>2</sup>	400 N/mm <sup>2</sup>	3,4

Kuva 8.3. EPS 300 mm vertailutaulukko

EPS 300 mm elementin vertailutulokset ovat hyvin samankaltaiset EPS 250 mm  
elementtiin verrattuna. Varmuus ansaan vetokestävyydelle on jo 4,6, joka on yli  
kaksinkertainen mineraalivillaelementtiin verrattuna.

<b>Polyuretaani 180 mm</b>	Laskennallinen	Kokeellinen	Varmuus
Ankkurointikestävyys	1,914 kN	4,52 kN	2,4
Max. kuorma ankkuroinnille	5,19 kN	18,08 kN	3,5
Ansaan vetokestävyys	2,591 kN	> 4,52 kN	> 1,7
Jännitys tod. kuormilla	109,4 N/mm <sup>2</sup>	- N/mm <sup>2</sup>	-
Max. kuorma vetokestävyydelle	7,9 kN	> 18,08 kN	> 2,3
Jännitys max. kuormalla	513,5 N/mm <sup>2</sup>	- N/mm <sup>2</sup>	-

Kuva 8.4. Polyuretaani 180 mm vertailutaulukko

Polyuretaani 180 mm elementin määrävimmäksi tekijäksi muodostui ansaan ankkurointikestävyys. Varmuus ankkuroinnille laskenta- ja koetulosten perusteella on 2,4. Ansaan vetokestävyys loppuarvoa ei kokeessa luonnollisesti saatu selville ja kyseisellä kuormalla varmuus vetokestävyydelle on 1,7. Todellisuudessa varmuus on kuitenkin enemmän.

<b>Polyuretaani 250 mm</b>	Laskennallinen	Kokeellinen	Varmuus
Ankkurointikestävyys	1,914 kN	1,43 kN	0,7
Max. kuorma ankkuroinnille	4,53 kN	5,73 kN	1,3
Ansaan vetokestävyys	2,591 kN	> 1,43 kN	> 0,6
Jännitys tod. kuormilla	126,0 N/mm <sup>2</sup>	- N/mm <sup>2</sup>	-
Max. kuorma vetokestävyydelle	7,24 kN	> 5,73 kN	> 0,8
Jännitys max. kuormalla	513,5 N/mm <sup>2</sup>	- N/mm <sup>2</sup>	-

Kuva 8.5. Polyuretaani 250 mm vertailutaulukko

Polyuretaani 250 mm elementin koekuormituksesta ei saatu vertailukelpoista tietoa. Koe tosin osoittaa varsin suoraviivaisesti ansaiden riittävän ankkurointipi-tuuden merkityksen. Vertailussa määrävvin tekijä oli ansaan ankkurointikestävyys varmuudella 0,7, joka on murto-osa muihin elementteihin verrattuna.

## **9 YHTEENVETO VERTAILUTULOKSISTA**

Laskentaosan ja koekuormitusten vertailun yhteenvedona voidaan todeta että rakenteessa on laskentakapasiteetteihin nähden moninkertainen varmuus.

Liitteissä 3, 4 ja 5 on esitetty kullekin eristemateriaalille kapasiteettitaulukot eristepaksuuden ja vetokestävyyden kuvaajina.

Taulukoiden laskennallisen kapasiteetin kuvaaja on luotu liitteessä 2 olevan Excel-laskentapohjan perusteella. Muuttamalla laskennassa käytettyjä eristepaksuuden ja vetorasituksen laskenta-arvoa on kullekin eristemateriaalille saatu oma laskennallisen kapasiteetin kuvaaja.

Kokeellisen kapasiteetin kuvaaja on luotu kunkin elementin koekuormituksesta saatujen tietojen perusteella. Kapasiteettikuvaajat ovat suuntaa-antavia, johtuen testattavien elementtien vähäisestä kappalemäärästä. Mikäli testattavia elementtejä olisi ollut useampia, olisi eri elementtien hajonta ollut kuvaajissa myös huomioitavissa.

Liitteessä 6 on esitetty ansaiden k-jaon vaikutus elementin rakenteelliseen kapasiteettiin.

## **10 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT**

Tässä työssä tutkittiin Taiter-pistoansaiden käyttöä passiivienergiсандwich-rakenteessa. Elementtien laskennallista kapasiteettia tutkittiin työssä tehdyllä Excel-laskentapohjalla, josta saatuja tuloksia verrattiin koekuormituksista saattuihin tuloksiin. Vertailun tuloksena syntyi kullekin eristemateriaalille oma kapasiteettitaulukko, josta nähdään laskentakapasiteetin ja kokeellisten kapasiteettien välinen yhteys.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa perehdyttiin elementtirakentamiseen ja erityisesti sandwich-elementtien teoriaan. Tietoa aiheesta oli helppo löytää ja saatavilla olevan materiaalin määrää joutui jopa karsimaan. Yleiset elementtirakentamisen periaatteet selkenivät nopeasti, artikkeleja ja eri tutkimusmateriaaleja selaillemalla.

Yleisen perehtymisosan aikana kokonaiskuva sandwich-rakenteessa olevien eri rakenneosien merkityksestä selkeni huomattavasti. Kokonaiskuvan selkeytymisen lisäksi elementtirakenteen oikean toiminnan kannalta huomioitavat tekijät alkoivat hahmottua aiheeseen perehtymisen myötä.

Sandwich-rakenteeseen vaikuttavien eri kuormitustekijöiden suuri määrä oli pienimuotoinen yllätys. Teoriaosaan perehtymällä selvisi näiden kuormitusten aiheuttamien rasitusten suuruudet ja kuinka niiden vaikutus huomioidaan sandwich-rakenteessa.

Laskentaosaa varten tehty elementin rakennemalli on yksinkertaistettu todelliseen rakenteeseen verrattuna. Rakennemallin yksinkertaistaminen johtaa selkeämpään laskentaan, mutta toisaalta vääristää saatuja lopputuloksia.

Laskentaosan alkuvaiheessa tehdyt perusoletukset rasitusten jakautumiselle ovat niin ikään yksinkertaistettu. Rakenteessa ei myöskään huomioida kaikkia mahdollisia rasitusten aiheuttajia esimerkiksi lämpötilaeroista ja kosteusvaihteluista aiheutuvia pakkovoimia. Laskennassa mitoituksen kannalta huomioitavia rakenneosia olivat ansaat ja eristekerros. Ansaissa mitoituksessa huomioitiin vain ansaaseen kohdistuva vetorasitus ja eristekerroksessa mahdollinen puristuskapasiteetin ylittyminen.

Ansaisten mitoituksessa ei laskennan yksinkertaistamisesta johtuen huomioitu esimerkiksi ansaille kohdistuvaa taivutus- tai leikkausrasitusta. Näiden rasitusten samanaikainen vaikutus vetorasituksen kanssa olisi heikentänyt ansaan laskennallista vetokapasiteettia. Lisäksi elementin alempien ansaisten mahdollista puristuksesta aiheutuvaa ansaan nurjahdusta ei laskennassa tutkittu. Pu-



ristusrasitus elementin alaosassa otettiin täysin vastaan eristeellä, vaikka puristusrasitus jakaantuu jäykkyyksien suhteessa ansaiden ja eristekerroksen välillä.

Eristekerroksen mahdollista puristuskapasiteetin ylittymistä ei laskennassa saatu syntymään millään normaalilla kuormitustapauksella. Eri laskentatekijöiden arvojen muuttaminen johtaa joka tapauksessa ansaan käyttöasteen ylittymiseen, ennen kuin puristuskapasiteetin ylittymistä tapahtuu.

Eristekerroksen puristuslujuus mineraalivillalla laskettaessa ylittyy, mikäli tuulenpaineen laskenta-arvo ylittää 6 kN/m<sup>2</sup>. EPS eristeellä arvo on 66 kN/m<sup>2</sup> ja polyuretaanilla 96 kN/m<sup>2</sup>. Todellisuudessa edellä mainittuja kuormituksia ei esiinny ja arvot ovat enemmän tai vähemmän vakavasti otettavia.

Laskentaosaa varten tehty Excel-laskentapohja toimii erittäin hyvin tämän tyyppisissä laskelmissa. Kun laskentapohja on kerran saatu toimivaksi, niin rakenteen eri rakenneosien muuttaminen on todella nopeaa ja yksinkertaista. Laskentapohjan suurin hyöty onkin siinä että muuttamalla jonkin rakenneosan mittoja tai ominaisuuksia, nähdään heti kyseisen muutoksen vaikutus koko rakenteen toimintaan. Hyvänä puolena Excel-pohjaisessa laskennassa on myös kuvaajien ja taulukoiden helppo luotavuus ja tietojen siirtely eri osien välillä.

Elementeille tehtävät kuormituskokeet onnistuivat kaiken kaikkiaan hyvin. Käytössä olleet laitteet käytettiin tehokkaasti ja niiden ominaisuudet pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman monipuolisesti.

Laboratorion tilankäyttö kuitenkin rajoitti testattavien elementtien kokoa. Kokeita olisi voinut suorittaa isommillakin elementeillä, ja näin saada tarkempia kuormitustuloksia passiivien energiaelementin kannalta katsottuna. Edellä mainittu menetely olisi kuitenkin nostanut kustannuksia ja vaikeuttanut elementtien käsittelyä ja siirtelyä. Käytössä olleisiin kuormitusmahdollisuuksiin nähden, koejärjestelyt olivat erittäin onnistuneet.

Testattavien elementtien valun ja koekuormituksen välinen aika olisi täytynyt pitää vakiona, jotta lujuuden kehitys olisi ollut elementeissä samassa vaiheessa

ja ankkurointikestävyyskoe arvot olisi ollut vertailukelpoisia. Tämä olisi kuitenkin aiheuttanut muutenkin jo tiukkaan aikatauluun viivytyksiä ja nostanut kustannuksia kun elementtejä olisi pitänyt kuljettaa koestuspaikalle yksi kerrallaan.

Venymäliuskojen kohdalla ei saatu toivotunlaisia tuloksia. Kokeiden aikana huomattiin liuskoista saatavan käyttökelpoisen tiedon vähäinen määrä ja tulokset olivat enemmän tai vähemmän tulkinnanvaraisia. Venymäliuskojen käyttö olisi edellyttänyt että jokaisessa neljässä ansaassa olisi ollut kaksi kappaletta liuskoja ansasta kohden. Liuskat olisi tullut kiinnittää ansaan molemmin puolin ja ansaista saatujen tulosten keski-arvo olisi ollut oikea tulos. Yhden venymäliuskan käyttö ansaassa johtaa vääristyneisiin mittatuloksiin. Ansaan asennusvaiheessa vähänkin vinoon asennetun ansaan venymäliuska saattaa sijaita ansaan puristetulla puolella ja näin vääristää mittatuloksia. Kahden venymäliuskan käyttö kaikissa neljässä ansaassa johtaa kuitenkin kahdeksaan venymäliuskaan elementtiä kohden, jolloin kustannukset nousevat huomattavasti.

Koekuormitukset osoittavat kaikesta huolimatta sen että kyseisissä elementeissä on moninkertainen kapasiteetti laskenta-arvoihin nähden.

Ansaan asennusaikaisen työn tarkkuuden merkitys on erittäin suuressa roolissa. Polyuretaani 250 mm elementillä tehty koe osoittaa selkeän yhteyden oikein asennetun ja "asennusvirheellisen" ansaan merkityksen rakenteen kapasiteettiin.

EPS elementeillä tehdyt kokeet osoittavat eristekerroksen ja betonikuorten välisen tartuntalujuuden merkityksen. Tartuntalujuutta ei huomioida Excel-laskentapohjassa ja tästä syystä laskennallinen kapasiteetti on sama kuin mineraalivilla tai polyuretaanieristeillä. Lämmöneristeiden tartuntalujuuden merkitystä ei kuitenkaan huomioida sandwich-elementtien kapasiteetin laskennassa, koska lämmöneristeillä ei tässä tilanteessa ole viranomaishyväksyntää lujuuden suhteen. Käyttö tulee mahdolliseksi, kun saadaan mahdollinen viranomaishyväksyntä lämmöneristeiden lujuuden suhteen. Tällöin määritellään lämmöneristeen lyhyt ja pitkäaikaiset lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet, joita mitoituksessa voidaan käyttää.

Elementtien koekuormitukset osoittavat sen että kyseisellä rakenteella on todellisuudessa vallitseviin rasituksiin verrattuna moninkertainen kapasiteetti ja

Kokeissa käytetyt elementit ovat kuitenkin vain osa varsinaisesta lopullisesta passiivienegiaelementistä. Passiivienegiaelementissä vaikuttavien rasitusten ja niiden jakautuminen rakenteen eri osille on huomattavasti monimutkaisempaa kuin tässä työssä tutkittujen elementtien. Lisäselvityksiä rakenteelle on siis tehtävä. Jatkossa on harkittava esimerkiksi FEM-laskentaan pohjautuvan mitoituskannan käyttöä ja sen tueksi suorittaa koekuormituksia täysikokoisilla elementeillä.

Taiter-pistoansaiden käyttö passiivienegiaelementissä edellä esitettyjen kokeiden perusteella on mahdollista. Ansaiden käytön kannalta on oleellista selvittää passiivienegiaelementissä ansaalle kohdistuvat rasitukset. Jatkossa tulee kuitenkin varmistaa ansaan asennusaikaisen työn tarkkuus, koska pienennettäessä elementeissä käytettyjen ansaiden määrää, mahdolliset laatu- ja asennustyön aikaiset poikkeamat ovat erittäin merkityksellisessä roolissa.

Opinnäytetyön aikana saadut tulokset eivät varsinaisesti vielä anna absoluuttista vastausta passiivienegiaelementin mahdolliseen käyttöönnottoon, mutta toimivat hyvänä lähtökohtana tuleville jatkotutkimuksille ja lupaavat näillä näkymin hyvää tulevaisuuden rakentamiselle.

## KUVAT

- Kuva 2.1. Ontelolaatan ja kantavan sandwich-elementin liitos. Sivu 9.
- Kuva 2.2. Ei-kantavan sandwich-elementin ja välipohjan liitos. Sivu 10.
- Kuva 2.3 Elementtiin kohdistuvat voimat. Sivu 12.
- Kuva 2.4. Erilaisia käytettäviä sideansaita. Sivu 13.
- Kuva 2.5. Delta -ansas -järjestelmän periaate. Sivu 15.
- Kuva 3.1. Passiivienergialelementin leikkaus. Sivu 19.
- Kuva 3.2. Passiivienergialelementti. Sivu 20.
- Kuva 3.3. Testattavien elementtien valintakohta. Sivu 21.
- Kuva 3.4 Taiter-pistoansas. Sivu 22.
- Kuva 4.1 Rakennemallin lähtökohta. Sivu 24.
- Kuva 4.2 Rakennemalli. Sivu 25.
- Kuva 4.3. Rakennemallin kuormat. Sivu 26.
- Kuva 4.4. Tuulen aiheuttama rasitus. Sivu 28.
- Kuva 4.5. Ulkokuoren aiheuttama rasitus ansaissa. Sivu 29.
- Kuva 4.6. Ulkokuoren aiheuttama rasitus eristeessä. Sivu 30.
- Kuva 5.1. Julkisivuelementtien eristevertailu. Sivu 32.
- Kuva 5.2. U-arvoja vastaavat lämmöneristyspaksuudet eri materiaaleilla. Sivu 33.
- Kuva 6.1. Koejärjestelyjen luonnoksia. Sivu 35.
- Kuva 6.2. Kuormituskehä. Sivu 37.
- Kuva 6.3 DASY-Lab 5.0 -mittausohjelma. Sivu 38.
- Kuva 6.4 Venymäliuskojen mittausyksikkö DEWE-3010. Sivu 39.
- Kuva 6.5. Venymäliuskat asennettuna ansaisiin. Sivu 40.
- Kuva 6.6. Testielementti. Sivu 41.

Kuva 6.7. Elementin leikkaus. Sivu 42.

Kuva 6.8. Testielementin ulkokuoren raudoitus. Sivu 43.

Kuva 6.9. Taiter- pistoansaiden asennus eristekerroksen läpi. Sivu 44.

Kuva 6.10. Testielementin sisäkuoren raudoitus. Sivu 45.

Kuva 6.11. Testielementin sisäkuoren betonointi ja vibraus. Sivu 46.

Kuva 6.12. Elementin siirto. Sivu 47.

Kuva 6.13 Kulmateräksen asennus sisäkuoreen. Sivu 48.

Kuva 6.14. Kertopuutuntojen asennusta. Sivu 49.

Kuva 6.15. Kertopuupalkkien asennus kulmaterästä vasten. Sivu 50.

Kuva 6.16. Pystytuennan yläpäähän liitos. Sivu 51.

Kuva 6.17. Asennettu U-palkki. Sivu 52.

Kuva 6.18. Tunkki kiinnitettynä ja valmiina koestukseen. Sivu 53.

Kuva 6.19. Kuormituspalkin hitsaus. Sivu 54.

Kuva 6.20. Nostosilmukoiden sijoittelu. Sivu 55.

Kuva 6.21. Kuormituspalkin nivelliitos. Sivu 56.

Kuva 6.22. Teräsvaijerin päiden liitos. Sivu 57.

Kuva 6.23. Kuormitusjärjestely koestusvalmiudessa. Sivu 58.

Kuva 7.1. Testielementin kuormituskuvaaja. Sivu 59.

Kuva 7.2. Mineraalivilla 240 mm:n kuormituskuvaaja. Sivu 60.

Kuva 7.3. Mineraalivilla 240 mm:n venymäliuska kuvaaja. Sivu 60.

Kuva 7.4. EPS 250 mm:n kuormituskuvaaja (1. vaihe). Sivu 61.

Kuva 7.5. EPS 250 mm:n venymäliuska kuvaaja (1. vaihe). Sivu 62.

Kuva 7.6. EPS 250 mm:n kuormituskuvaaja (2. vaihe). Sivu 63.

Kuva 7.7. EPS 250 mm:n venymäliuska kuvaaja (2. vaihe). Sivu 63.

Kuva 7.8. EPS 300 mm:n kuormituskuvaaja. Kuva 7.8. EPS 300 mm:n kuormituskuvaaja. Sivu 64.

Kuva 7.9. EPS 300 mm:n venymäliuskakuvaaja. Sivu 65.

Kuva 7.10. Polyuretaani 180 mm:n kuormituskuvaaja. Sivu 66.

Kuva 7.11. Polyuretaani 250 mm:n kuormituskuvaaja. Sivu 66.

Kuva 7.12. Yhteenveto saaduista koetuloksista. Sivu 67.

Kuva 8.1. Mineraalivilla 240 mm vertailutaulukko. Sivu 68.

Kuva 8.2. EPS 250 mm vertailutaulukko. Sivu 68.

Kuva 8.3. EPS 300 mm vertailutaulukko. Sivu 69.

Kuva 8.4. Polyuretaani 180 mm vertailutaulukko. Sivu 69.

Kuva 8.5. Polyuretaani 250 mm vertailutaulukko. Sivu 70.

## LÄHTEET

Ansaat ja pistokkaat. 2007. Peikko Oy:n esite

Anstar AD Diagonaaliensas. 2004. Suomen Betoniyhdistyksen käyttöseloste nro. 205 - 26.5.2003.

Betonijulkisivut. 1995. Valmisosarakentamien 1: betonijulkisivut.

Betonirakenteiden kuormia siirtävien metalliosien käyttöseloste. 2007. Suomen Betoniyhdistyksen käyttöseloste nro 265.

By 201: Betonitekniikan oppikirja. 2004. Jyväskylä: Suomen Betonitieto Oy.

Delta-ansajärjestelmä. 2009. Semtu Oy:n käyttö- ja suunnitteluohje.

Isover OL-E - Tuoteseloste 2010.

<http://www.isover.fi/fi/Tuotesivu/?intProductCategoryID=62&intProductID=17780&tuoteseloste=1> (Luettu 20.2.2010)

Kinnunen. 2009. Ansaiden käyttö sandwich-seinä-elementissä. Peikonlehti 2009, 18-21.

Liukkonen, P. 2001. Kuormituskehän käyttöönotto Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulussa. Etelä-Karjalan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Mölsä. 2010. Kovat eristeet uhkaavat villan asemaa julkisivuissa. Rakennuslehti 2, sivu 9.

SPU Eristeiden tekniset ominaisuudet 2009. SPU-systems Oy.

[http://www.spu.fi/eristeet\\_tutkitusti\\_turvallinen](http://www.spu.fi/eristeet_tutkitusti_turvallinen) (Luettu 4.5.2010)

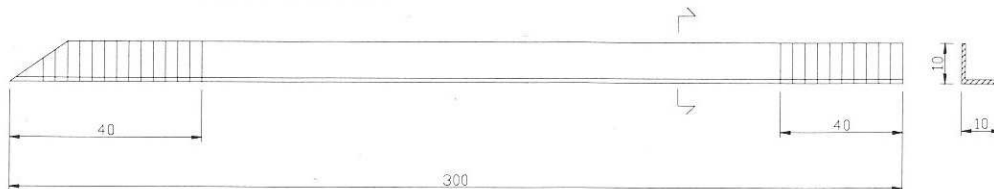
Thermisol Platina Sänkkäri 2009.

[http://www.thermisol.fi/static/files/317.Platina\\_Sankkari.pdf](http://www.thermisol.fi/static/files/317.Platina_Sankkari.pdf) (Luettu 15.4.2010)

Varjonen, S. 2006. Julkisivukorjauksen vaikutus asuntojen myyntihintoihin. Turun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

## Pistoansas

Materiaali: AISI 304  
Mitot: L-10x10x0,5  
Ankkurointisyvyys 40 mm



### 1. Materiaalit

Ansas EN 10088 lujuusluokka 1.4301 ; AIS 304

$$f_{0,2k} := 230 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{uk} := 520 \cdot \text{MPa}$$

Varmuuskerroin  $\gamma_s := 1.15$

Laskentalujuus  $f_d := \frac{f_{0,2k}}{\gamma_s} \quad f_d = 200 \text{ MPa}$

Laskelmissa lähdetään 0.2-raján sijasta kokeessa saadusta 2 %-n eli 3 mm:n myöttöä vastaavasta jännityksestä

Kimmokerroin  $E_s := 200000 \cdot \text{MPa}$

Betoni C25/30  $f_{ck} := 25 \cdot \text{MPa}$

vetolujuus  $f_{ctm} := 0.3 \cdot \left( \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \text{MPa} \quad f_{ctm} = 2.565 \text{ MPa}$

$$f_{ctk} := 0.7 \cdot f_{ctm} \quad f_{ctk} = 1.795 \text{ MPa}$$

Varmuuskerroin  $\gamma_c := 1.5$

$$f_{ctd} := \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \quad f_{ctd} = 1.197 \text{ MPa}$$



## 2. Poikkeikkausarvot

0.5 mm:n ruostumaton pelti on taivutettu kulmaprofiiliksi 10\*10\*0.5

Pituus  $L := 300 \text{ mm}$

Leveys  $b := 10 \text{ mm}$

Korkeus  $h := 10 \text{ mm}$

Paksuus  $t := 0.5 \text{ mm}$

Pinta-ala  $A := (b + h) \cdot t$   $A = 10 \text{ mm}^2$

Painopiste  $p := \frac{b \cdot t \cdot \frac{t}{2} + h \cdot t \cdot \frac{h}{2}}{A}$   $p = 2.625 \text{ mm}$

Hitausmomentti  $I := \frac{b \cdot t^3}{12} + \frac{h^3 \cdot t}{12} + b \cdot t \cdot \left(p - \frac{t}{2}\right)^2 + h \cdot t \cdot \left(p - \frac{h}{2}\right)^2$   $I = 98.177 \text{ mm}^4$

Piiri  $u := 2 \cdot (b + h + t)$   $u = 41 \text{ mm}$

## 3. Myötölujuus

Määritetään koetulosten perusteella 2%:n eli 3 mm:n myötöä vastaava jännitys. Tätä jännitystä pidetään ansasmateriaalin myötölujuutena  $f_y$

5 mm paksut ansaat

Koekappale	paksuus	Pinta-ala mm <sup>2</sup>	2 %:n myötöä vastaava		Suurin voima	
			voima kN	Jännitys MPa	Voima kN	Jännitys MPa
1	0.5	10	3.2	320.0	5.21	521.0
7	0.5	10	3.5	350.0	5.962	596.2
8	0.5	10	3.3	330.0	5.293	529.3
9	0.5	10	3.5	350.0	5.348	534.8
keskiarvo				337.5		545.3
hajonta				15.0		34.4
variaatio				0.044		0.063
hajontakerroin				2.6		2.6
ominaisarvo				298.1		454.9

Käytetään ominaislujuutena arvoa  $f_{yk} := 298 \text{ MPa}$

Laskentalujuus  $f_d := \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$   $f_d = 259.13 \text{ MPa}$

#### 4. Vetokestävyys

$$\text{Myötövoima } N_{yd} := \frac{f_{0.2k}}{\gamma_s} \cdot A \quad N_{yd} = 2 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} := f_d \cdot A \quad N_{Rd} = 2.591 \text{ kN}$$

#### 5. Puristuskestävyys

$$\text{Vapaa pituus } L_1 := 300 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} \quad L_1 = 220 \text{ mm}$$

Sidettä voidaan pitää molemmista päistään lähes jäykästi kiinnitettynä

$$\text{Nurjahduspituus } L_c := 0.7 \cdot L_1 \quad L_c = 154 \text{ mm}$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \cdot \text{MPa}}{f_{0.2k}}} \quad \varepsilon = 1.011$$

$$\frac{b}{t} = 20 > 9 \cdot \varepsilon = 9.097$$

$$\frac{h}{t} = 20 > 15 \varepsilon = 15.162$$

=>Poikkileikkausluokka 4

L-profiilin laippa muodostaa yhdeltä reunalta tuetun tason osan

$$\text{Keskeinen puristus } \sigma_1 := \sigma_2 \quad k_\sigma := 0.43 \quad (\text{SFS-EN-1993-1-5 taul.4.2})$$

$$b_- := \max(b, h) \quad b_- = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Muunnettu hoikkuus } \lambda_{p_-} := \frac{\frac{b_-}{t}}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} \quad \lambda_{p_-} = 1.062 > 0.748$$

$$\text{Poikkileikkauksen pienennystekijä } \rho := \frac{\lambda_{p_-} - 0.188}{\lambda_{p_-}^2} \quad \rho = 0.775$$

$$\text{Tehollinen puristettu pinta-ala } A_{\text{ceff}} := \rho \cdot A \quad A_{\text{ceff}} = 7.747 \text{ mm}^2$$

$$\text{Laippojen tehollinen pituus } b_{\text{eff}} := \rho \cdot b \quad b_{\text{eff}} = 7.747 \text{ mm}$$

$$h_{\text{eff}} := \rho \cdot h \quad h_{\text{eff}} = 7.747 \text{ mm}$$

Tehollisen poikkileikkauksen hitausmomentti

$$\text{Painopiste } p_{\text{eff}} := \frac{b_{\text{eff}} \cdot t \cdot \frac{t}{2} + h_{\text{eff}} \cdot t \cdot \frac{h_{\text{eff}}}{2}}{A_{\text{ceff}}} \quad p_{\text{eff}} = 2.062 \text{ mm}$$

$$\text{Hitausmomentti } I_{\text{eff}} := \frac{b_{\text{eff}} \cdot t^3}{12} + \frac{h_{\text{eff}} \cdot t^3}{12} + b_{\text{eff}} \cdot t \cdot \left(p_{\text{eff}} - \frac{t}{2}\right)^2 + h_{\text{eff}} \cdot t \cdot \left(p_{\text{eff}} - \frac{h_{\text{eff}}}{2}\right)^2$$

$$I_{\text{eff}} = 44.878 \text{ mm}^4$$

Taivutusvastukset

$$W_{\text{eff},1} := \frac{I_{\text{eff}}}{p_{\text{eff}}} \quad W_{\text{eff},1} = 21.768 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},2} := \frac{I_{\text{eff}}}{h - p_{\text{eff}}} \quad W_{\text{eff},2} = 5.653 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},\text{min}} := \min(W_{\text{eff},1}, W_{\text{eff},2}) \quad W_{\text{eff},\text{min}} = 5.653 \text{ mm}^3$$

$$\text{Kimmoteorian mukainen nurjahduskuorma } N_{\text{cr}} := \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot I_{\text{eff}}}{L_c^2} \quad N_{\text{cr}} = 3.735 \text{ kN}$$

$$\text{Muunnettu hoikkuus } \lambda_- := \sqrt{\frac{A_{\text{ceff}} \cdot f_{0.2k}}{N_{\text{cr}}}} \quad \lambda_- = 0.691$$

Nurjahduskäyrä  $\alpha := 0.34$

$$\text{Apusuure } \phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_- - 0.2) + \lambda_-^2\right] \quad \phi = 0.822$$

$$\text{Puristuskestävyyden pienennyskerroin } \chi := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_-^2}} \quad \chi = 0.789$$

Kestävyyden pienennyskerroin laipan lommahduksen perusteella

$$\lambda_{p-} = 1.062$$

$$\text{Apusuure } \phi_p := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_{p-} - 0.2) + \lambda_{p-}^2\right] \quad \phi_p = 1.211$$

$$\text{Puristuskestävyyden pienennyskerroin } \chi_p := \frac{1}{\phi_p + \sqrt{\phi_p^2 - \lambda_{p-}^2}} \quad \chi_p = 0.558$$

Puristuskestävyys, kun normaalivoima keskeinen teholliseen poikkileikkaukseen nähden

$$N_{bRd} := \min(\chi, \chi_p) \cdot A_{\text{ceff}} \cdot f_d \quad N_{bRd} = 1.12 \text{ kN}$$

## 6. Taivutuskestävyys

Taivutuksessa toinen laippa on lähes keskeisesti vedetty tai puristettu ja toinen laippa taivutettu. Tapaus, jossa toinen laippa on keskeisesti puristettu on lommahduksen kannalta määräävämpi.

Tehollinen poikkileikkaus sama kuin puristuskestävyyttä tarkasteltaessa

Tehollisen poikkileikkauksen taivutusvastus  $W_{\text{eff.min}} = 5.653 \text{ mm}^3$

Taivutuskestävyys  $M_{\text{Rd}} := W_{\text{eff.min}} \cdot f_d$   $M_{\text{Rd}} = 1.465 \text{ Nm}$

## 7. Brutto poikkileikkaukseen nähden keskeinen puristuskestävyys

Tehollisen poikkileikkauksen ja bruttopoikkileikkauksen välisten painopisteiden erotuksesta aiheutuu epäkeskisyys ja momentti

$e_N := p - p_{\text{eff}}$   $e_N = 0.563 \text{ mm}$

Oletetaan aluksi, että  $N_{\text{Ed}} := 0.497 N_{\text{bRd}}$

$\Delta M_{\text{Ed}} := N_{\text{Ed}} \cdot e_N$   $\Delta M_{\text{Ed}} = 0.314 \text{ Nm}$

Taivutusmomentti yhtä suuri sekä y että z suuntaan

Taivutuksen ja normaalivoiman yhteisvaikutus

Poikkileikkaus symmetrinen nurjahduksen suhteen y ja z suunnassa

Momentti vakio koko pituudella  $\psi_1 := 1$

$C_m := 0.79 + 0.21 \cdot \psi_1 + 0.36 \cdot (\psi_1 - 0.33) \cdot \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr}}}$   $C_m = 1.036$

Oletetaan, että kiepahdusta ei tapahdu  $\Delta M_{\text{Ed}}$ :n vaikutuksesta  $C_{\text{mLT}} := 1$   $\chi_{\text{LT}} := 1$

$\mu := \frac{1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr}}}}{1 - \chi_{\text{LT}} \cdot \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr}}}}$   $\mu = 0.964$

$k_{\text{yy}} := C_m \cdot C_{\text{mLT}} \cdot \frac{\mu}{1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr}}}}$   $k_{\text{yy}} = 1.174$

$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{bRd}}} + 2k_{\text{yy}} \cdot \frac{\Delta M_{\text{Ed}}}{\chi_{\text{LT}} \cdot M_{\text{Rd}}} = 1$

Redusoitu puristuskestävyys  $N_{\text{bRd.red}} := N_{\text{Ed}}$   $N_{\text{bRd.red}} = 0.557 \text{ kN}$

### 8. Tartuntalujuus ja ankkurointikestävyys

Ansas on upetettu betoniin 40 mm:n syvyydeltä. Betoniin upotettu pää on porfiloitus. Ansaalle on tehty tartuntakokeet, joissa 0,5 mm:n paksuinen ansas pysyi betonissa aina ansaan myötämiseen asti

Koetulosten perusteella ominaisarvot on määritetty SFS-EN-1990 liitteen D, kohdan D7.2 mukaan.

#### Kaikki kokeet; sekä levypaksuudella 0.5 että 0.8 mm

Koekappale	paksuus mm	leveys mm	Max. voima N	Piiri mm	tartuntapituus lb mm	tartuntalujuus fb MPa
1	0.5	20	5210	40	40	3.26
3	0.8	20	6857	40	40	4.29
4	0.8	20	5896	40	40	3.69
5	0.8	20	7105	40	40	4.44
6	0.8	20	5482	40	40	3.43
7	0.5	20	5962	40	40	3.73
8	0.5	20	5293	40	40	3.31
9	0.5	20	5348	40	40	3.34
keskiarvo						3.68
hajonta						0.45
variaatio						0.12
hajontakerroin SFS-EN 1990 taul. D1 8-koetulosta Vx tuntematon						2.00
ominaisarvo						2.78
betonin lujuus						25
vetolujuus fctm						2.57
fctk						1.80
tartuntakerroi kb=fbk/fctk						1.55
=fbm/fctm						<b>1.44</b>

Vain 0.5:mm testikappaleet						
Koekappale	paksuus	leveys	Max. voima	Piiri	tartuntapituus	tartuntalujuus
1	0.5	20	5210	40	40	3.26
7	0.5	20	5962	40	40	3.73
8	0.5	20	5293	40	40	3.31
9	0.5	20	5348	40	40	3.34
keskiarvo						3.41
hajonta						0.21
variaatio						0.06
hajontakerroin SFS-EN 1990 taul. D1 4-koetulosta Vx tuntematon						2.63
ominaisarvo						2.84
betonin lujuus						25
vetolujuus fctm						2.57
fctk						1.80
tartuntakerroi kb=fbk/fctk						1.58
=fbm/fctm						<b>1.33</b>

**Mikkelin Betoni Oy**  
Urajärventie 12  
19110 Vierumäki  
p. 03 875610

**Pistoansas**

25.3.2009 7

Tartuntakerroin koetulosten perusteella  $k_b := 1.3$

Tartuntalujuus  $f_{bd} := k_b \cdot f_{ctd}$   $f_{bd} = 1.556 \text{ MPa}$

Tartuntapiiri  $u = 41 \text{ mm}$

Ankkurointipituuden nimellisarvo  $l_b := 40 \cdot \text{mm}$

Ankkurointipituuden toleranssi  $\Delta l_b := 10 \cdot \text{mm}$

Ankkurointipituuden laskenta-arvo  $l_{bd} := l_b - \Delta l_b$   $l_{bd} = 30 \text{ mm}$

Ankkurointikestävyys  $F_{bRd} := f_{bd} \cdot u \cdot l_{bd}$   $F_{bRd} = 1.914 \text{ kN}$

## 9. Käyttö

Tuulikuorma

RakMk B1 / RIL 144

Maastoluokka III rakennuksen korkeus  $z := 18 \cdot \text{m}$

$$\text{Nopeuspaine } q := 0.49 \cdot \left( \frac{z}{10 \cdot \text{m}} \right)^{0.32} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \qquad q = 0.591 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Painekertoimet

$$\text{paine } c_{p1} := 1.0 \qquad q_{wk1} := c_{p1} \cdot q \qquad q_{wk1} = 0.591 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{imu } c_{p2} := -1.5 \qquad q_{wk2} := c_{p2} \cdot q \qquad q_{wk2} = -0.887 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Osavarmuuskerroin  $\gamma_q := 1.6$

Tuulikuorman laskenta-arvot

$$\text{paine } q_{wd1} := \gamma_q \cdot q_{wk1} \qquad q_{wd1} = 0.946 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{imu } q_{wd2} := \gamma_q \cdot q_{wk2} \qquad q_{wd2} = -1.419 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Oletetaan, että ansaat sijoitetaan  $0.9 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$  ruutuun  $c_x := 0.9 \cdot \text{m}$

$$c_y := 0.9 \cdot \text{m}$$

Ansaalle tulevat rasitukset:

Imukuorma aiheuttaa ansaalle vetoa ja painekuorma puristusta

$$\begin{aligned} \text{Imukuormasta } N_{Ed2} &:= -c_x \cdot c_y \cdot q_{wd2} & N_{Ed2} &= 1.15 \text{ kN} \\ & & &< \min(N_{Rd}, F_{bRd}) = 1.914 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Painekuormasta } N_{Ed1} := -c_x \cdot c_y \cdot q_{wd1} \qquad N_{Ed1} = -0.766 \text{ kN}$$

Painekuormasta osan kantaa jäykkä eriste.

## Sandwich-elementin mitoitus

Timo Hytönen

### 1. Lämmöneriste

Valitse käytettävä lämmöneriste

#### Mineraalivilla

Puristuslujuus = 10 kPa  
Tiheys = 25 kg/m<sup>3</sup>

Eristepaksuus = 240 mm

### 2. Ulko- ja sisäkuori

#### Ulkokuori

Ulkokuoren paksuus = 80 mm  
Ulkokuoren korkeus = 1200 mm  
Ulkokuoren pituus = 1200 mm

#### Sisäkuori

Sisäkuoren paksuus = 80 mm  
Sisäkuoren korkeus = 1200 mm  
Sisäkuoren pituus = 1200 mm

### 3. Elementti

Valittu lämmöneriste (mm)  
Mineraalivilla  
240

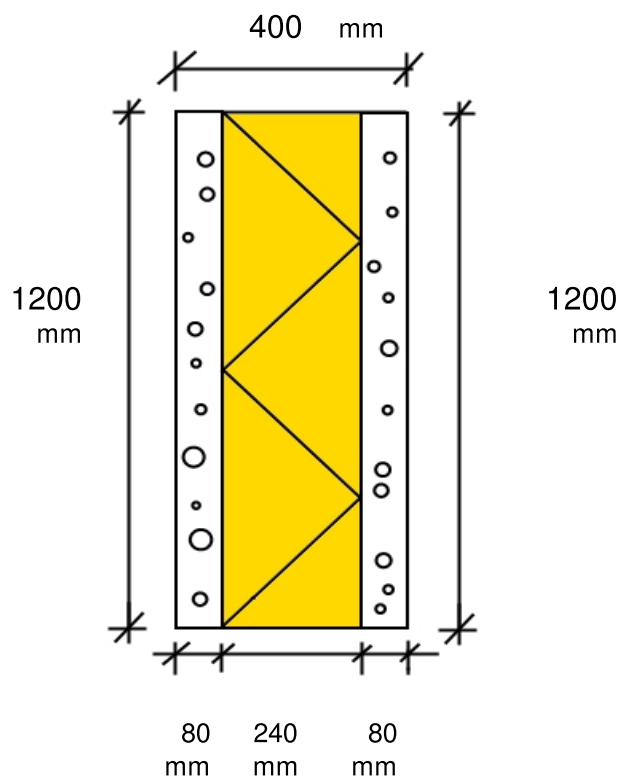
Sisäkuoren paino (kN)  
2,88

Ulkokuoren paino (kN)  
2,88

Eristemateriaalin paino (kN)  
0,00864

Ansaiden lukumäärä (kpl)  
4

Ansaiden k-jako = 600 mm





## 4. Tuulikuorma

Tuulikuorman ominais-arvot (laskettu erikseen)

Laskenta-arvot

paine = 0,591 kN / m<sup>2</sup> ----> 0,89 kN / m<sup>2</sup>  
imu = 0,887 kN / m<sup>2</sup> ----> 1,33 kN / m<sup>2</sup>

Murtorajatilän kerroin = 1,5

### 4a. Tuulikuorman aiheuttama raskuus eristeessä (eriste kokonaan puristettu)

Tuulikuorman paine = 0,89 kN/m<sup>2</sup> ---> 0,000887 N/mm<sup>2</sup>  
Ulkkokuoren korkeus = 1200 mm  
Ulkkokuoren pituus = 1200 mm  
Ulkkokuoren pinta-ala = 1440000 mm<sup>2</sup>  
Tuulenpaineen raskuus = 1276,56 N

Eristekerroksen ala-osassa vaikuttava jännitys = 1,0638 N/mm<sup>2</sup>

### 4b. Tuulikuorman aiheuttama vetorasitus ansaissa

Tuulikuorman imupaine = 1,33 kN / m<sup>2</sup>  
Ulkkokuoren korkeus = 1200 mm  
Ulkkokuoren pituus = 1200 mm  
Ulkkokuoren pinta-ala = 1440000 mm<sup>2</sup> ---> 1,44 m<sup>2</sup>

Pintaan kohdistuva vetorasitus = 1,916 kN  
Ansaisten määrä = 4 kpl

Ansaalle kohdistuva vetorasitus = 0,479 kN

## 5. Ulkkokuoren paino

### 5a. Ulkkokuoren aiheuttama vetorasitus ansaissa

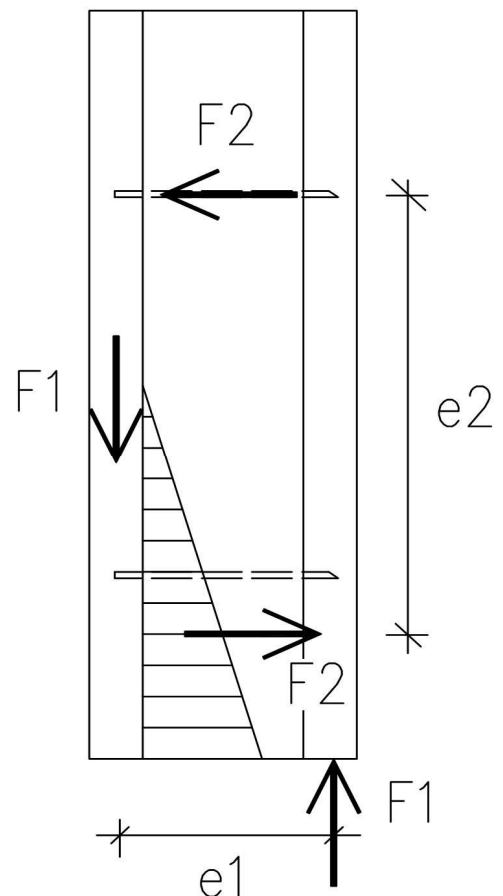
Ulkkokuoren paino F1 = 2,88 kN  
Murtorajatilän kerroin pysyville kuormille = 1,15

Ulkkokuoren paino (MRT) = 3,31 kN  
(laskenta-arvo)

Etäisyys e1 = 320 mm  
Momentti M1 = 1,060 kNm  
Etäisyys e2 = 700 mm  
Voima F2 = 1,514 kN

Voima F2 jakautuu kahdelle ansaalle, joten yhdessä ansaassa vaikuttava vetovoima = F2 / 2

----> 0,757 kN



5b. Ulkokuoren painon aiheuttama rasisus eristessä

Puristuspuinnan resultantti  $F_2 = 1514,06 \text{ N}$

Puristuspuinnan korkeus  $e_y = 600 \text{ mm}$

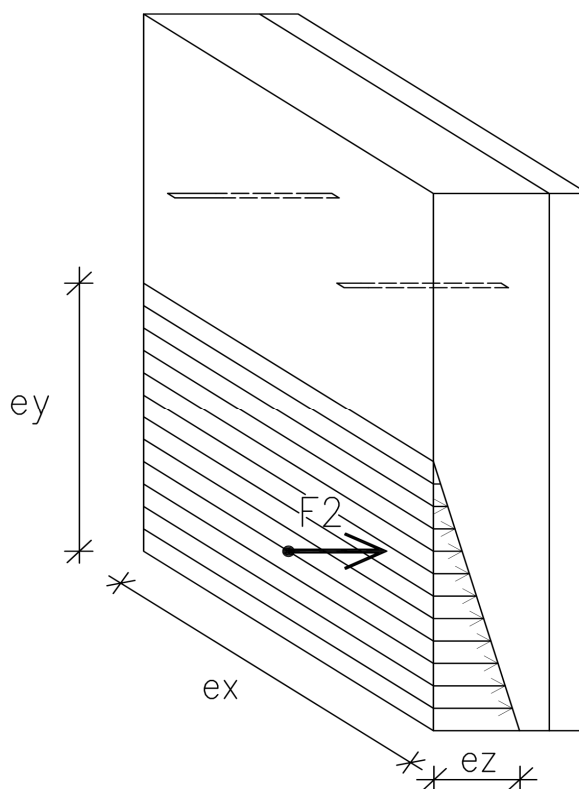
Puristuspuinnan leveys  $e_x = 1200 \text{ mm}$

Puristuspuinnan "syvyys"  $e_z = (F_2 * 2) / (e_y * e_x)$

---->  $e_z = 0,004206 \text{ mm}$

Tasossa  $e_x * e_z$  vaikuttava jännitys (max.)

$(e_z * e_x) = 5,05 \text{ N/mm}^2$



**6. Käyttöasteet**

**Ansas**

Ansaan ankkurointikestävyys = 1,914 kN (laskettu erikseen)

Ansaille kohdistuva vetorasitus tuulikuormasta = 0,479 kN

Ansaille kohdistuva vetorasitus ulkokuoresta = 0,757 kN

yht. 1,236 kN

Käyttöaste = rasisus / kapasiteetti ---> **64,6 % OK !!**

**Eriste**

Eristeen puristuskapasiteetti = 0,01 N/mm<sup>2</sup>

Kapasiteetti  $e_x * e_z$  tasossa = 12 N/mm<sup>2</sup>

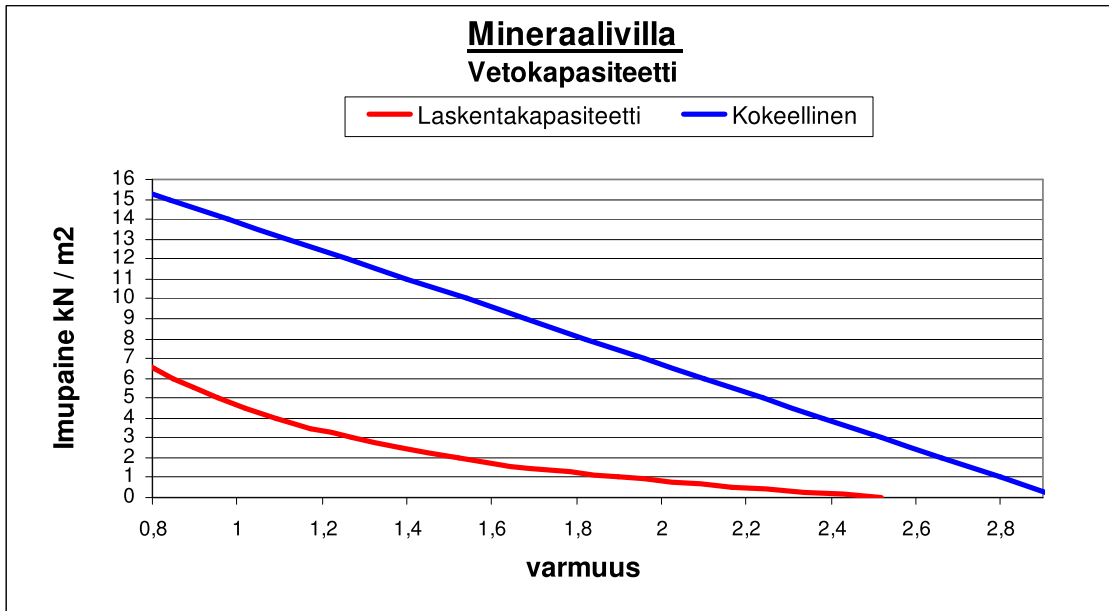
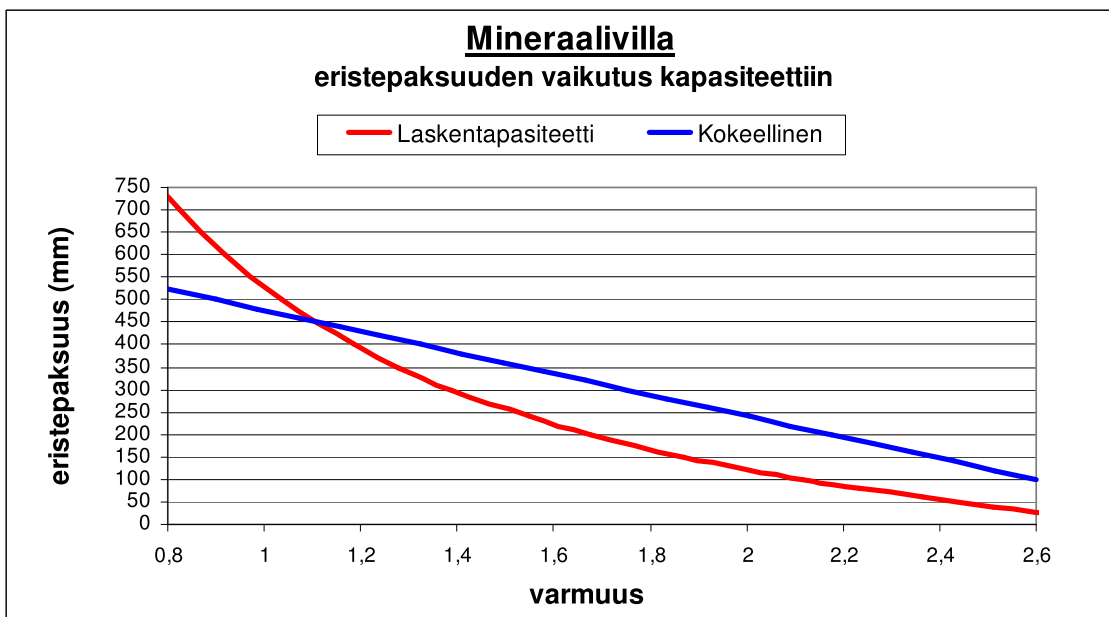
Eristeelle kohdistuva puristusrasitus tuulikuormasta = 1,0638 N/mm<sup>2</sup>

Eristeelle kohdistuva puristusrasitus ulkokuoresta = 5,05 N/mm<sup>2</sup>

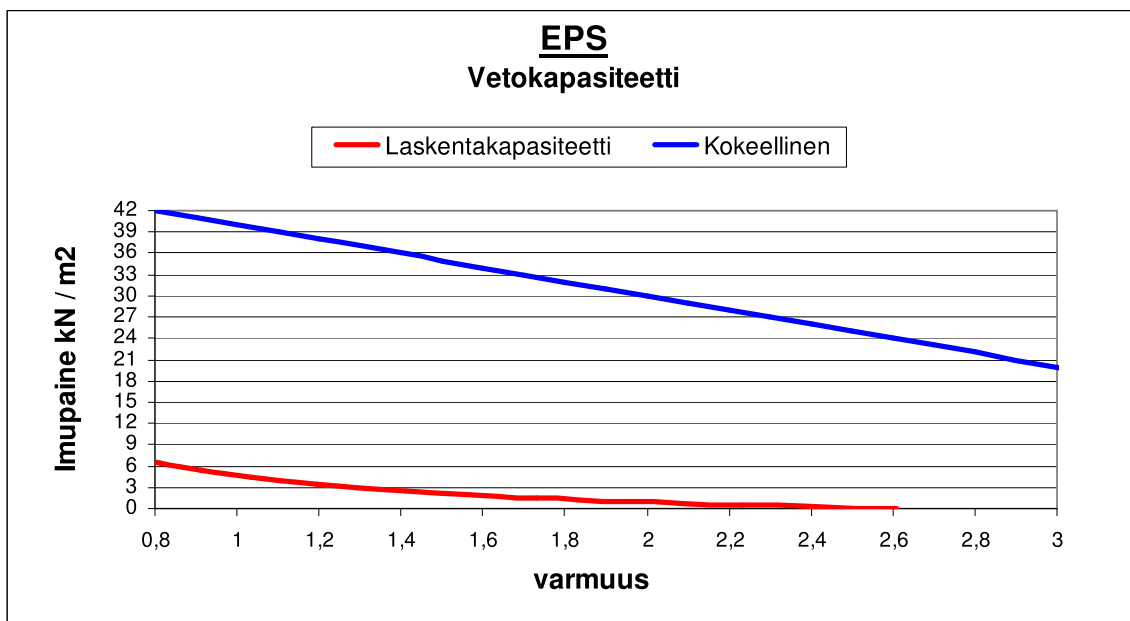
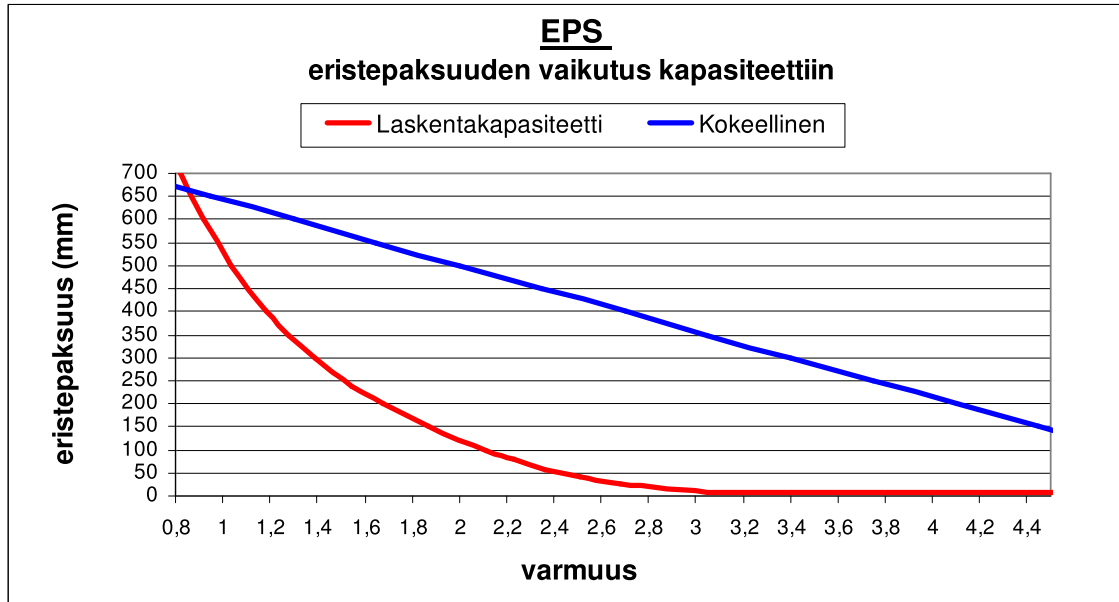
yht. 6,11 N/mm<sup>2</sup>

Käyttöaste = rasisus / kapasiteetti ---> **50,9 % OK !!**

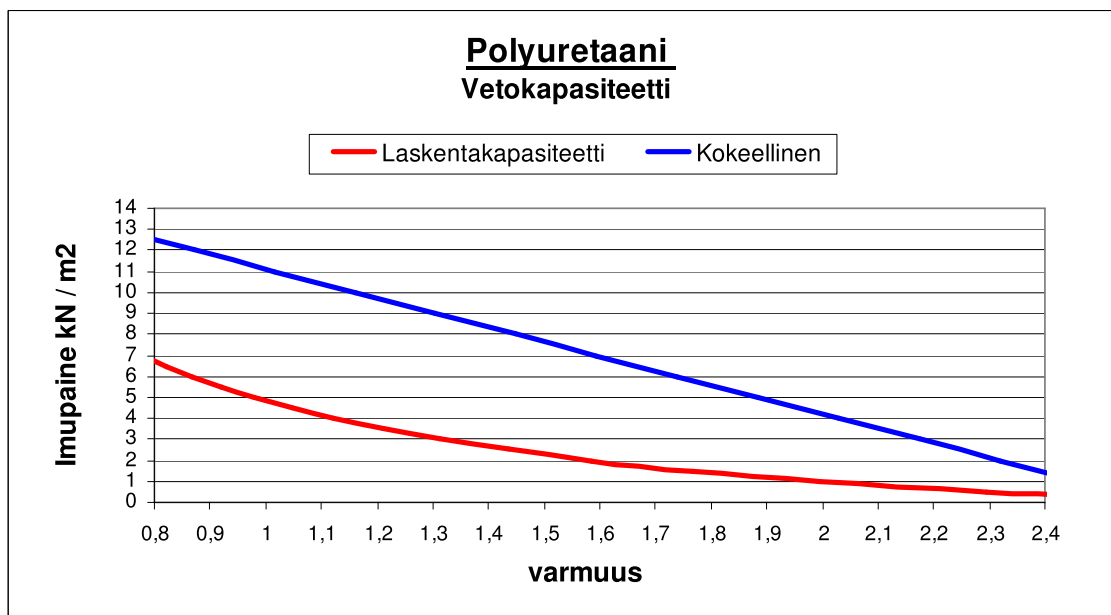
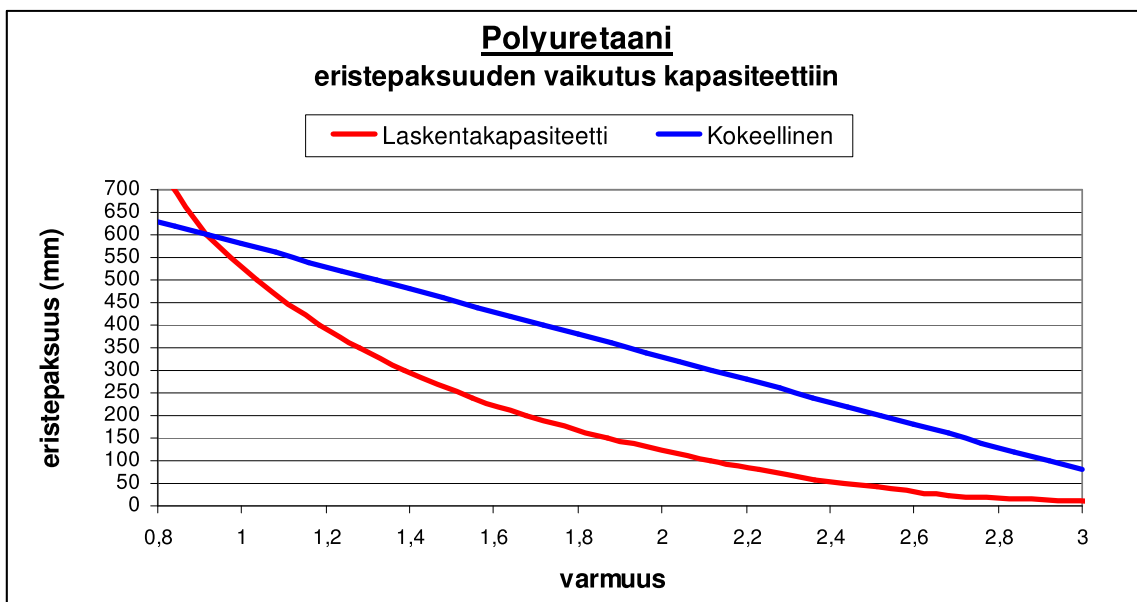
## Mineraalivilla



## EPS



## Polyuretaani



## Ansaiden k-jaon vaikutus kapasiteetteihin

