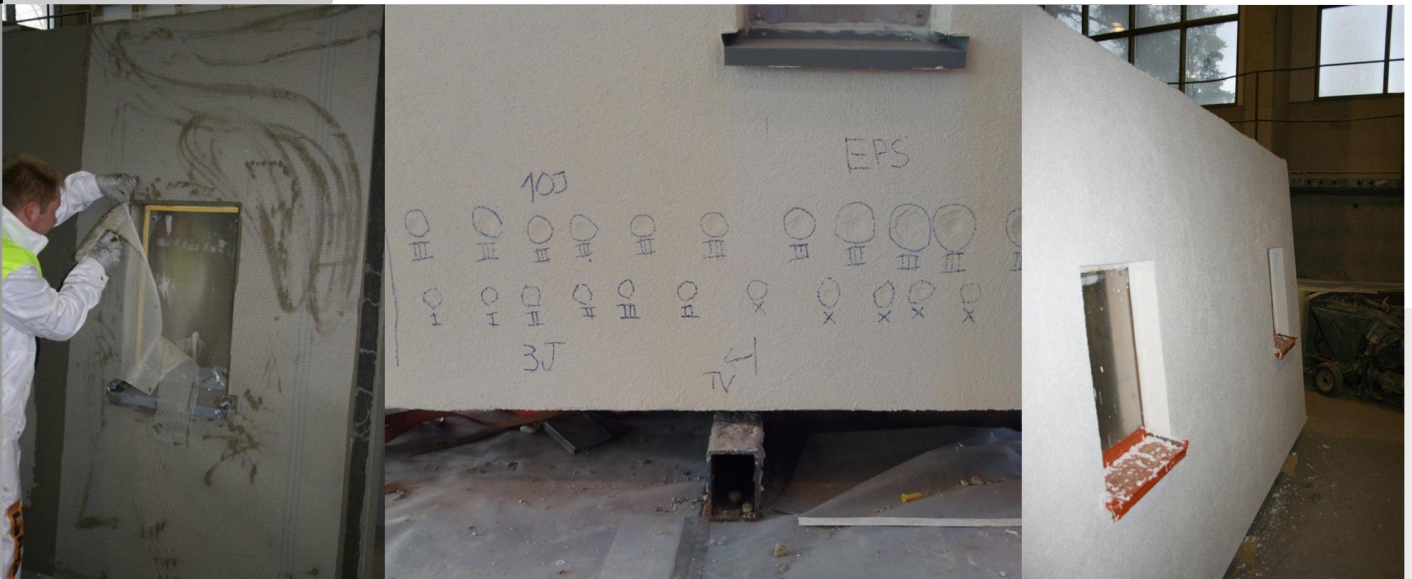




RAKENNUSTEKNIIKAN LAITOS

TUTKIMUSSELOSTUS TRT/2210/2013

LAKAN BETONIN ERISTERAPPAUSJÄRJESTELMÄN SÄÄNKESTÄVYYDEN TUTKIMINEN



27.5.2013



Tutkimusselostus nro 2143

(16 sivua + 3 liitesivua)

Tilaaaja

Lakan Betoni Oy
Ville Katainen
PL 42
80101 Joensuu

Tehtävä

Lakan betonin eristerappausjärjestelmän säänkestävyyden tutkiminen

Tutkimusryhmä

Professori, tekn. toht. Matti Pentti
Tutkija, dipl.ins. Petri Annila
Tutkimusapulainen, tekn. kand. Antti Pöntinen

Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennustekniikan laitos
PL 600
33101 Tampere

Puhelin (03) 3115 11 (TTY:n vaihde)
Faksi (03) 364 1443

Jakelu

Lakan Betoni Oy / Ville Katainen
Tutkimusryhmä
TTY / Rakennustekniikan laitoksen arkisto

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



SISÄLLYSLUETTELO

1	YLEISTÄ	3
2	KOERAKENTEET	3
2.1	Säärasituskoe	3
2.2	Koekappaleet lisäiskukokeisiin.....	4
3	SÄÄRASITUS	5
3.1	Säärasitusyksi.....	5
3.2	Kosteus- ja halkeilukäyttäytyminen	7
4	LUJUUSKOKEET JA NIIDEN TULOKSET	9
4.1	Iskulujuuskokeet	9
4.2	Tartuntavetolujuuskokeet.....	12
5	LISÄISKUKOKEET	14
5.1	Koekappaleiden vanhennus.....	14
5.2	Iskukokeiden suoritus	14
6	YHTEENVETO	16
6.1	Säänkestävyystudkimus.....	16
6.2	Lisäiskukokeet	16

LIITE 1: KOEINÄN RAKENNEKUVAT

LIITE 2: MITATUT PINTAKOSTEUKET

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



1 YLEISTÄ

Ville Katainen Lakan Betoni Oy:ltä pyysi Tampereen teknillisen yliopiston rakenteiden elinkaari- ja rakenteiden tutkimusryhmältä (myöhemmin lyhyesti TTY) tutkimussuunnitelman kahden eristerappausjärjestelmän säänkestävyyden tutkimisesta. Tutkimuksessa käytettiin TTY:n säärasituslaitetta ja *by57 Eriste- ja levyrappaus 2011* -kirjan määrittämää säärasitus sykliä. Käytetyllä syklillä simuloitiin Suomen ilmastoa kuvaavaa ankaraa syklistä säärasitusta.

Lakan Betoni Oy tilasi annetun *Tutkimussuunnitelman 5.10.2012* mukaisen tutkimuksen, johon sisältyneet kaksi erilaista rakennejärjestelmää raportoitiin omissa raporteissaan.

Tämä raportti kokoaa yhteen edellä mainitun säärasituskokeen (Tutkimusselostus nro 2143 Lakan Betonin eristerappausjärjestelmän säänkestävyyden tutkiminen) raportin sekä tämän tutkimuksen tulosten perusteella suoritettujen lisäiskukokeiden tulokset.

Lisäiskukokeet suoritettiin erillisillä koekappaleilla ETAG004-ohjeen (Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering 8/2011) mukaisella vanhennusmenettelyllä.

2 KOERAKENTEET

2.1 Säärasituskoe

Tilaaaja valmisti tutkittavat koeseinät elementtitehtaallaan Joensuussa TTY:n antamien rakennepiirustusten mukaisesti. Tilaaajalle toimitetut rakennepiirustukset on esitetty liitteessä 1. Toinen koeseinistä kävi läpi normaalin säärasituksen ja toinen toimi vertailurakenteena. Koeseinien valmistamisesta työohjeiden mukaan vastasi tilaajan edustaja, joka myös dokumentoi valmistuksen ja toimitti aineiston TTY:lle raportointia varten.

Tutkittavien rakenteiden taustana käytettiin n. 6 m² (leveys 2980 mm ja korkeus 1980 mm) kokoista raudoitettua betoniseinää, joka valettiin Lakan Betonin elementtitehtaalla koeseinän valmistamisen yhteydessä. Koeseinät oli jaettu vaakasuunnassa kahteen vastaavaan osaan, joilla tutkittiin kahden eri eristerappausjärjestelmien säänkestävyyttä. Tässä raportissa käsiteltävän koeseinän rakenne oli seuraava:

- 100 mm Lakan Betonin elementtitehtaalla valettu kantava sisäkuori
- 220 mm Valussa asennettu Ukorex Ultra
- Lakka Eristerappauslaasti, jossa Lakka rappausverkko
- Lakka Silikonihartsipohjuste ja -pinnoite.

Rakenteeseen sijoitettiin ikkunaa kuvaava 400 x 600 mm² kokoinen aukko, jossa ikkunakarmeja kuvasi alumiinilevy. Ikkuna sijoitettiin tilaajan toiveesta 200 mm alemmaksi, kuin mitä rakennepiirustuksissa oli esitetty (ks. liite 1). Ikkunaa kuvaava alumiinilevy sijoitettiin 90 mm syvyydelle rappauksen ulkopinnasta katsottuna. Ikkuna varustettiin normaalilla vesipellillä. Rappausjärjestelmä tiivistettiin ikkunaa kuvaavaa alumiinilevyä vasten, kuten se todellisuudessa rakenteessa tiivistettäisiin alumiinikarmeja vasten.

Koeseinien alaosaan tehtiin lisävahvistus Lakka Panssariverkosta.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Koeseinät valmistettiin vuoden 2012 lopulla seuraavan aikataulun mukaisesti:

- 31.10. elementtien betonivalu
- 12.11. aloituslistan ja kulmaverkkojen asennus
- 13.11. verkotuslaastikerroksen rappaus sekä lasikuitu- ja panssariverkkojen asennus
- 19.11. silikonihartsipinnoitteen levitys

Koeseinän rakentamiskuvauksia on esitetty kuvassa 2.1.



Kuva 2.1. Koeseinän valmistuskuvauksia Lakan Betonin elementtitehtaalla.

Koeseinät toimitettiin muoveihin pakattuna 13.12.2012 TTY:n laboratoriotiloihin Tampereelle. Molemmat koeseinät tarkastettiin saapumisen jälkeen, eikä niissä havaittu kuljetuksessa syntyneitä vaurioita.

2.2 Koekappaleet lisäiskukokeisiin

Lisäiskukokeiden suorittamista varten 220 mm vahvuisten EPS-eristelevyjen (levykoko 1200 x 600 mm²) päälle tehtiin aiemmin suoritettua säärasituskoetta vastaava rakenne, joka oli seuraava:

- 220 mm Ukorex Ultra –lämmöneriste
- Lakka Eristerappauslaasti, jossa Lakka rappausverkko
- Lakka Silikonihartsipohjuste ja –pinnoite

Joka toiseen koekappaleeseen asennettiin normaalin rappausverkon lisäksi Lakka Panssariverkko. Koekappaleiden valmistusaikataulu oli seuraava:

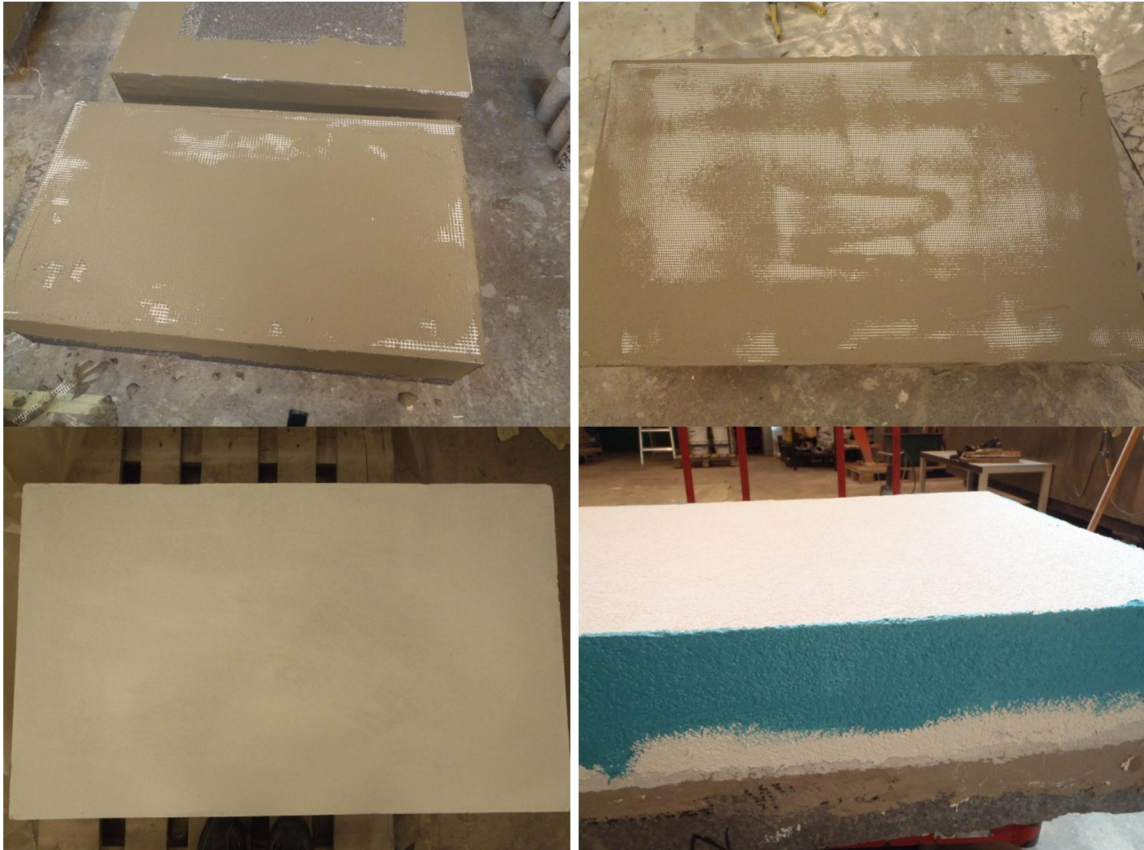
- 28.3. Verkotuslaastikerroksen rappaaminen ja lasikuituverkkojen asennus
- 3.4. Silikonihartsipohjusteen levitys
- 4.4. Silikonihartsipinnoitteen levitys

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

- 3.5. Koekappaleiden reunojen tiivistäminen siveltävällä vedeneristeellä

Laastien kuivuttua TTY:n laboratoriotiloissa 28 vuorokautta, koekappaleen reunat tiivistettiin vesitiiviiksi Kiillon Kerafiber siveltävällä vedeneristeellä.

Koekappaleiden valmistusvaiheita on esitetty kuvassa 2.1. Ylärivissä on verkotuslaastikeroksen ja lasikuituverkon asennusvaiheita. Alhaalla vasemmalla on yksi koekappale kuvattuna silikonihartsipohjusteen levittämisen jälkeen. Alhaalla oikealla koekappaleen reunat on tiivistetty siveltävällä vedeneristeellä.



Koeseinän rakentamisvaiheita on esitetty kuvassa 2.1.

3 SÄÄRASITUS

3.1 Säärasitus sykli

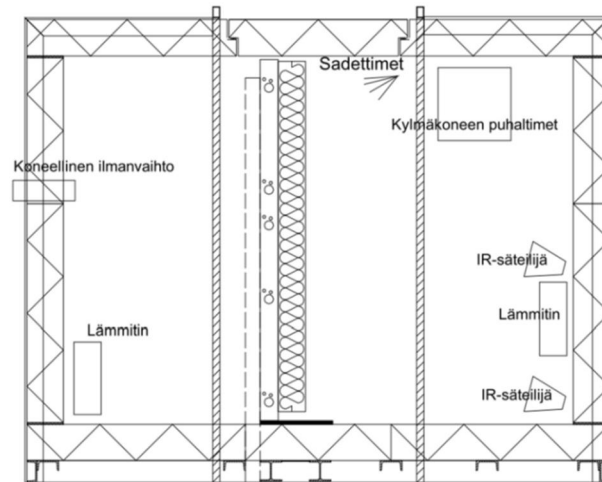
TTY käytti koeseinän säärasituksessa Suomen betoniyhdistyksen *by57 Eriste- ja levyrapaus 2011* -kirjassa suositeltua säärasitus sykliä, joka on kolmivaiheinen:

- 1) Sadetus 60 minuuttia: sadetusmäärä n. 1 l/min/m².
- 2) Jäädytys 240 minuuttia: lämpötilan lasku nopeasti -20 °C (±2 °C).
- 3) Säteilylämmitys 180 minuuttia: pintalämpötilan nostaminen nopeasti +60 °C (±2 °C).

Säärasituskoe suoritetaan TTY:n laboratoriotiloissa olevalla säärasituslaitteella. Tutkittava koeseinä jakaa säärasituslaitteen kammion sisä- ja ulkotilaksi. Ulkotilan olosuhteista säärasituskokeissa hallitaan lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta, vesisadetta ja IR-säteilyn

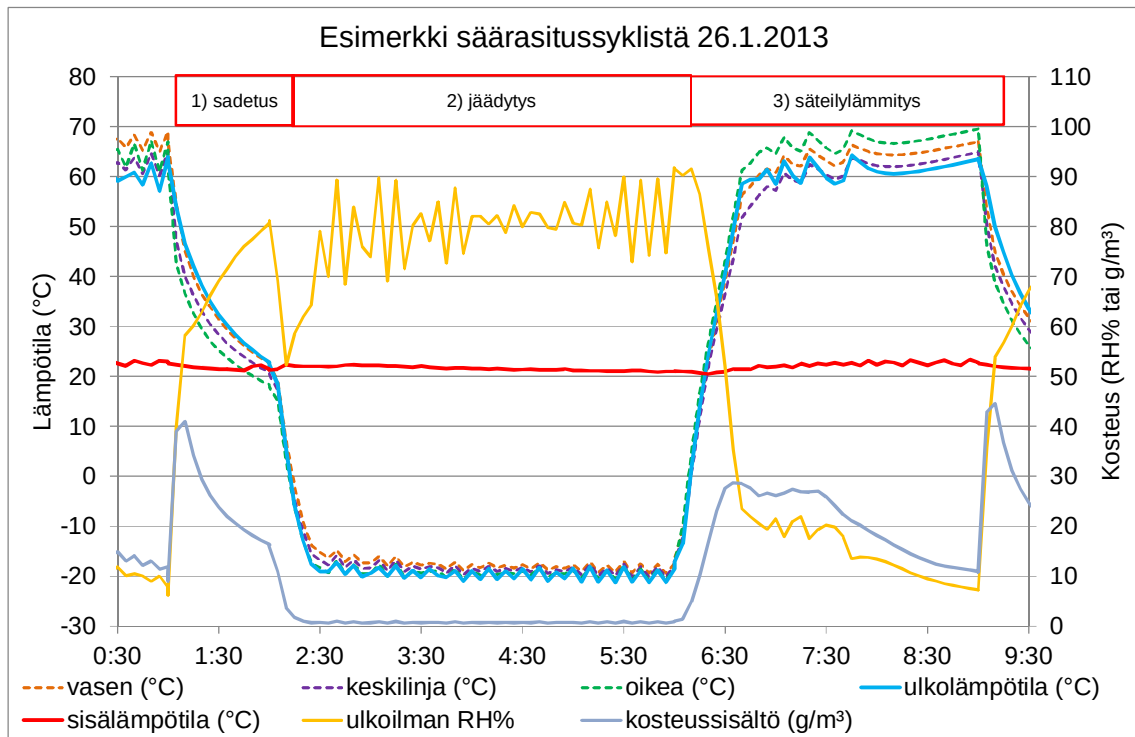
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

määrää. Sisätilan olosuhteista hallitaan lämpötilaa. Periaatekuva säärasituslaitteesta on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1 TTY:n säärasituslaitteen periaatteellinen rakenne.

Kuvassa 3.2 on esitetty säärasituskokeessa 26.1.2013 toteutunut sykli, joka toimii suoritettujen syklien esimerkkinä. Kuvassa kirkkaan sinisellä yhtenäisellä käyrällä on kuvattu ulkokammion lämpötiloja ja keltaisella ulkoilman suhteellista kosteutta. Lämpötila ja suhteellisen kosteuden avulla laskettu ilman kosteussisältö on esitetty kuvassa vaalean sinisellä käyrällä. Punainen käyrä kuvaa sisäilman lämpötilaa. Katkoviivoilla on kuvattu koeseinän ulkopinnan lämpötiloja.

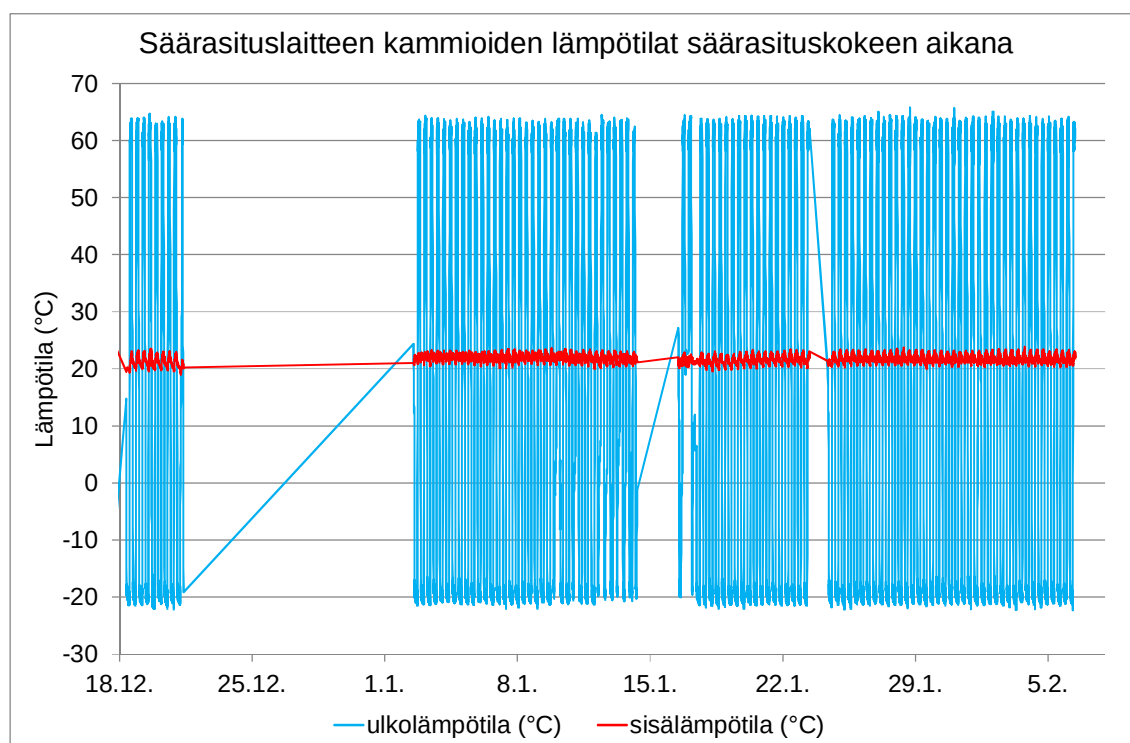


Kuva 3.2. Esimerkki säärasitusyyklistä.

Tutkimuslaskelma saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Säärasituskokeen aikaiset lämpötilat säärasituslaitteen ulko- ja sisäkammiossa on esitetty kuvassa 3.3. Syklit suoritettiin neljässä jaksossa seuraavasti:

- Jakso 1:** 17.12.–21.12.2012. Säärasitus keskeytettiin joulun pyhien ja vuodenvaihteen ajaksi, koska kukaan ei ollut seuraamassa mahdollisten vaurioiden etenemistä.
- Jakso 2:** 2.1.–14.1.2012. Säärasituslaitteen kylmäkoneen toiminnassa havaittiin olleen ongelmia viikonloppuna 12.1.–13.1. Syyksi selvisi kylmäkoneen sähkönsyötössä ollut kontaktihäiriö, minkä johdosta säärasitusyötyylin jäädytysvaihe jäi puuttumaan kahdesta syklistä.
- Jakso 3:** 16.1.–23.1. Säärasituslaitteessa suoritettiin 64 syklin jälkeen pintakosteuskartotus.
- Jakso 4:** 24.1.–6.2. Säärasituskoe lopetettiin 100 onnistuneen syklin ja 2 jäädytyksen osalta epäonnistuneen syklin jälkeen.



Kuva 3.3. Säärasituslaitteen aikaiset sisä- ja ulkolämpötilat.

3.2 Kosteus- ja halkeilukäyttäytyminen

Säärasituskokeen aikana mahdollisesti syntyviä vaurioita seurattiin arkisin kerran vuorokaudessa (3 säärasitusyötyylin välein).

Heti ensimmäisten kolmen syklin jälkeen ikkunapielissä havaittiin halkeilua, joka sijaitsi elastisen saumamassan ja rappauspinnan rajakohdassa. Halkeilu kasvoi säärasituksen edetessä selvemmin havaittavaksi. Kuvassa 3.4 vasemmalla on ikkunan oikean alakulman pystyhalkeama 3 syklin jälkeen ja oikealla sama halkeama 9 syklin jälkeen. Halkeaman leveys ei juuri enää kasvanut 15 ensimmäisen syklin jälkeen, mutta halkeama kasvoi lähes koko ikkunan kiertäväksi.

Tutkimuslaskelma saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Kuva 3.4. Ikkunapielissä esiintynyttä halkeilua.

Koeseinässä ei havaittu muuta halkeilua säärasituksen päätyttyä, kuvassa 3.4 esitetyn lisäksi.

Säärasitukseen menneelle koeseinälle suoritettiin pintakosteudenosoittimella kosteuskartoitus ennen säärasituskokeen alkua sekä 64 ja 100 säärasitusyötyksen jälkeen. Ennen kosteuskartoitusta koeseinä odotti säärasituslaitteessa vuorokauden viimeisen suoritettua säärasitusyötyksen jälkeen. Kosteuskartoituksessa käytetty pintakosteudenosoitin oli Gann Hydromette UNI 2. Osoittimen asteikko on 0...200. Lukemat ovat suhteellisia, eli niistä ei voida suoraan päätellä materiaalin kosteussisältöä.

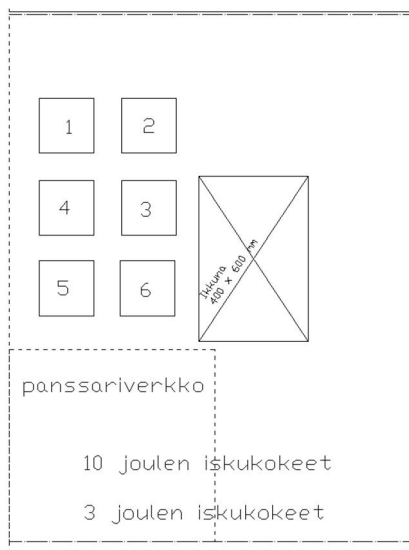
Kaikki kosteuskartoituksien tulokset on esitetty liitteessä 2. Säärasituskoetta edeltäneessä kartoituksessa kosteuslukemat olivat 15...40 koko koeseinässä. Säärasituskokeen päätyttyä kosteuslukemat olivat 15...50, paitsi ikkunan vesipellin nurkkien kohdalla, josta saatiin lukemia 65...85.

Korkeammat lukemat selittyvät ainakin osittain sillä, että vesipelti ohjaa suurimman kosteusrasituksen näihin kohtiin. Kuvassa 3.4 esitettyjen halkeamien ympäristössä ei havaittu korkeita arvoja kosteusarvoja. Muidenkaan mitattujen kosteuslukemien perusteella sadevesi ei ole kulkeutunut lämmöneristeeseen.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

4 LUJUUSKOKEET JA NIIDEN TULOKSET

Kuvassa 4.1 on esitetty lujuuskokeiden sijoittelu koeseinissä.

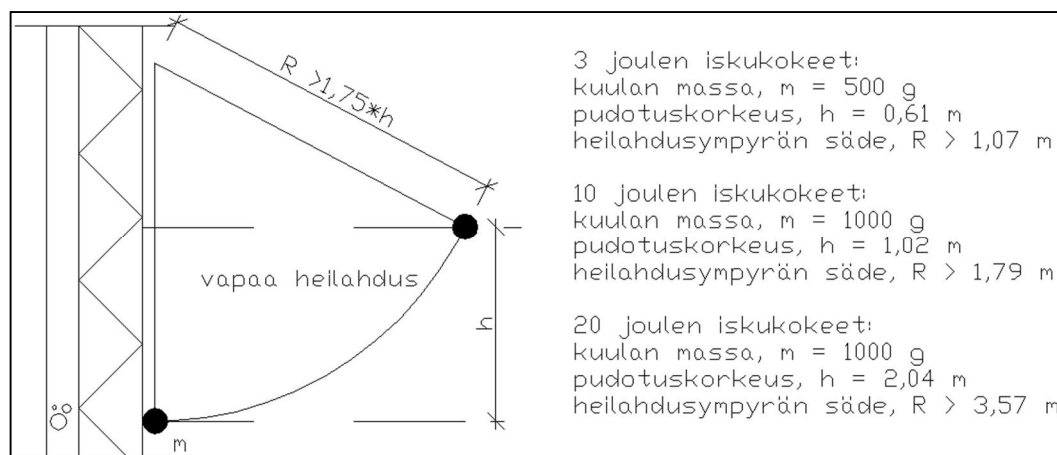


Kuva 4.1. Lujuuskokeiden sijoittelu koeseinässä.

4.1 Iskulujuuskokeet

Iskulujuuskokeet tehtiin ETAG004-ohjeistuksen (*Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*) mukaisesti. Ohjeen mukaisesti suoritettiin 3 ja 10 joulen iskukokeet normaalisti verkotettuun rakenteeseen ja näiden tulosten perusteella vastaavat iskut myös panssariverkolla vahvistettuun rakenteeseen.

Kuvassa 4.2 on esitetty ETAG004-ohjeen mukaisten iskulujuuskokeiden periaatteet. Esi-merkkinä 10 joulen iskulujuuskokeissa 1000 g kuula päästetään vapaaksi 1,02 metriä isku-kohdan yläpuolelta ja se heilahtaa vapaana narun päässä säteeltään vähintään 1,79 metrin ympyränkaarta päin koeseinää. Kuulan liike-energia törmäyshetkellä on 10 joulen suurui-



Kuva 4.2. Iskulujuuskokeiden periaate.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Iskukokeissa syntyneet vauriot luokitellaan ETAG004-ohjeen mukaisesti taulukossa 4.1 esitetyllä tavalla.

Taulukko 4.1. Iskulujuuskokeiden vaurioiden luokittelu ETAG004-ohjeen mukaan.

Käyttöluokka	Vaurioiden luokittelu (ETAG004)
3 joulea	I Rappaukseen ei saa syntyä näkyvää vaurioitumista.
	II Rappaukseen ei saa syntyä halkeilua.
	III Rappaukseen saa syntyä halkeamia, mutta ei rappauspinnan läpäisevää rengashalkeamaa.
	X Rappaukseen syntyy rengashalkeama.
10 joulea	I Rappaukseen ei saa syntyä näkyvää vaurioitumista.
	II Rappaukseen saa syntyä halkeamia, mutta ei rappauspinnan läpäisevää rengashalkeamaa.
	III Rappaukseen syntyy rengashalkeama.

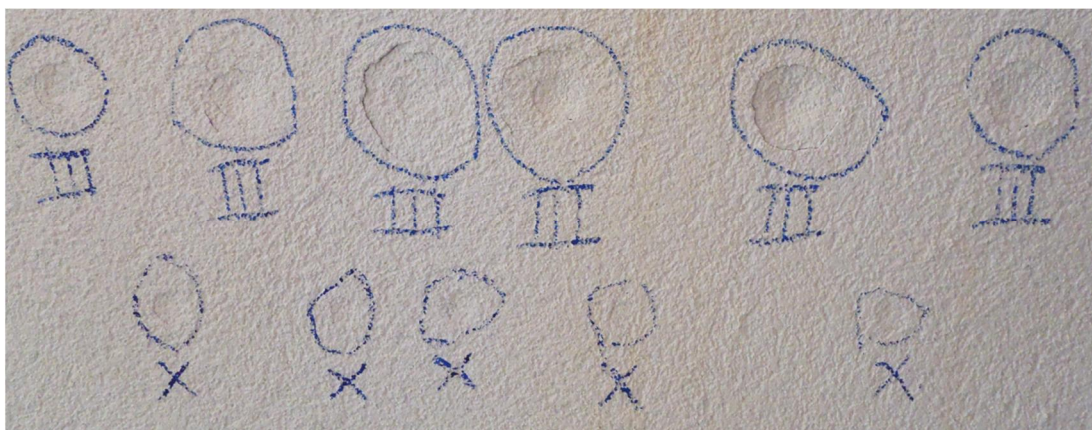
Iskulujuuskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 4.2. Syntyneet vauriot vaihtelivat merkittävästi eri iskujen välillä, minkä johdosta luokittelussa saatiin kaikkien käyttöluokkien vaurioita.

Taulukko 4.2. Iskulujuuskokeiden tulokset

ISKULUJUUSKOKEIDEN TULOKSET							
Iskujen vauriot ETAG004-ohjeen mukaan							heikoin koetulos
3 joulea, normaali verkotus	X	X	X	X	X	X	X
vertailu 3 joulea, normaali verkotus	III	III	III	X	X	X	X
10 joulea, normaali verkotus	III	III	III	III	III	III	III
vertailu 10 joulea, normaali verkotus	III	III	III	III	III	III	III
ETAG004 mukainen käyttöluokka				X			
Iskujen vauriot ETAG004-ohjeen mukaan							heikoin koetulos
3 joulea, panssariverkko	I	I	II	II	II	III	III
vertailu 3 joulea, panssariverkko	I	I	II	II	II	II	II
10 joulea, panssariverkko	III	III	III	III	III	III	III
vertailu 10 joulea, panssariverkko	III	III	III	III	III	III	III
ETAG004 mukainen käyttöluokka				III			

Kuvassa 4.3 on esitetty säärasitettuun seinään normaalin verkotuksen alueelle tehtyjen kuuden 10 joulun (yläriivi) ja viiden 3 joulun (alarivi) iskukokeen tulokset. 10 joulun iskuista syntyi, kuvastakin selvästi havaittavissa olevat, rengashalkeama. 3 joulun iskuista syntyi myös rengashalkeamat, vaikka ne eivät kuvassa selvästi esiinny.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Kuva 4.3. Säärasitettuun seinään tehtyjen iskukokeiden tuloksia.

Iskulujuuskokeiden vaurioiden ja tulosten vaihtelun johdosta koeseinä purettiin iskukohtien alueelta verkotuslaastikerroksen paksuuden ja verkon sijainnin tutkimista varten. Verkotuslaastikerroksen paksuudessa havaittiin seuraavaa vaihtelua:

- vertailurakenne, verkotuslaastikerroksen paksuus 3...8 mm
- säärasitettu rakenne, verkotuslaastikerroksen paksuus 1...6 mm

Rappausverkko sijaitsi verkotuslaastissa lämmöneristeen puolella. Parhaimmat koetulokset sijoituivat loogisesti paksumman verkotuslaastikerroksen kohdalle ja heikoimmat ohuimman verkotuslaastikerroksen kohdalle. Kuvasta 4.4 verkotuslaastikerroksen paksuusero on selvästi havaittavissa. Kuvassa on esitetty verkotuslaastikerroksen ääripäitä vertailurakenteessa. Kuvassa esiintyvät halkeamat liittyvät rappauspinnan irrottamiseen. Ohuemmasta laastikerroksesta voidaan havaita kohdalla sijainneet kaksi päällekkäistä rappausverkkoa.



Kuva 4.4. Verkotuslaastikerroksen paksuuden vaihtelut iskulujuuskokeiden alueella vertailurakenteessa.

Koetulosten perusteella panssariverkon ei voida todeta parantaneen iskunkestävyyttä. Tähän vaikuttaa ainakin kaksi tekijää:

- myös panssariverkon alueella sijaitsi alle 3 mm paksua verkotuslaastikerrosta ja
- iskuissa syntyi rengshalkeamat, minkä johdosta niitä ei voitu luokitella normaalisti verkotettua rakennetta parempaan käyttöluokkaan.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Vertailukappaleen ja säärasitetun koeseinän tulosten välillä ei ole merkittävää. Tuloksista ei tämän johdosta voi luotettavasti päätellä onko iskulujuus heikentynyt säärasituksessa vai ei, myöskään panssariverkon vaikutusta ei voida arvioida.

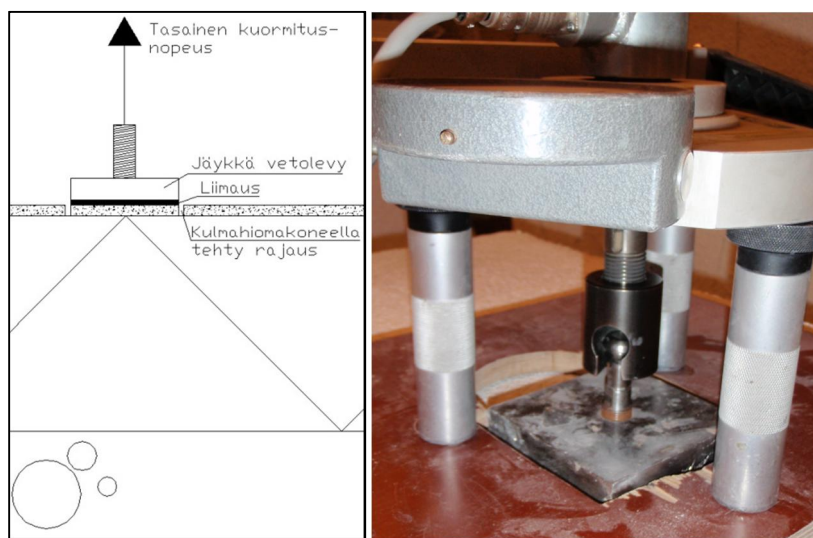
Verkotuslaastikerroksen suuresta vaihtelusta johtuen rakenne soveltuu käytettäväksi käyttöluokassa III. ETAG004-ohje on määritellyt käyttöluokat seuraavasti:

- I Maan tasalla olevat seinät, joiden läheisyyteen yleisöllä on esteetön pääsy (katutaso).
- II Iskukorkeudella olevat seinät kohteissa, joissa ihmiset huolehtivat rakennuksestaan (sisäpihat, rivitalot yms) tai heitetyille esineille alttiit alueet (2-kerros katujulkisivussa).
- III Alueet, jotka eivät todennäköisesti altistu iskuille tai heitetyille esineille (ylemmät kerrokset).

4.2 Tartuntavetolujuuskokeet

Rappauspinnan ja lämmöneristeen väliset tartuntavetokokeet tehtiin ETAG004-ohjeistuksen mukaisesti tasaisella kuormitusnopeudella. Koeseinän pintaan liimattiin 6 kappaletta metallisia vetolevyjä (sivumitta 95 tai 100 mm). Liiman kuivumisen jälkeen koekappaleet rajattiin koeseinästä kulmahiomakoneella.

Kuormitus suoritettiin käsikäyttöisellä kuormitussylinterillä. Kuormituksen päätyttyä kuormituslaitteesta voitiin lukea murtovoima. Periaate koejärjestelyistä on esitetty kuvassa 4.2. Kuvassa oikealla on kuva käytetystä kuormituslaitteesta.



Kuva 4.5 Vetokokeiden koejärjestely.

Lämmöneristeen ja laastikerroksen välisten tartuntavetokokeiden tulokset on esitetty taulukossa 4.3. By57 määrittää vetolujuudesta seuraavasti:

Rappauksen tartuntavetolujuuden tulee olla vähintään 80 kPa myös kokeen jälkeen. Mikäli murtuminen tapahtuu lämmöneristeestä, tulee vetolujuuden olla vähintään lämmöneristeen vetolujuus, ks. kohta 3.2 Lämmöneristeiden ominaisuudet. Tartuntavetolujuus ei saa heikentyä merkittävästi kokeen aikana vertailukoekappaleeseen verrattuna, kuusi rinnakkaista tartuntavetokoetta.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Säärasitetun seinän keskiarvolujuus oli 0,14 MPa (140 kPa), mikä täyttää by57 esittämän 0,08 MPa kriteerin. Lujuuskokeiden tuloksissa oli havaittavissa 20 % lasku, mitä ei vielä pidetä merkittävänä.

Taulukko 4.3. Tartuntavetokokeiden tulokset.

Vertailukoekappale	yksittäiset koetulokset						keskiarvo	keskihajonta
Murtovoima (N)	1610	1597	1416	1478	1673	1527	1550	94
Murtotapa: 1 = tartunta, 2 = lämmöneriste/levy	2	2	2	2	2	2		
Vetolevy (mm)	95	95	95	95	95	95		
Murtolujuus (MPa)	0,18	0,18	0,16	0,16	0,19	0,17	0,17	0,01
Säärasitettu koeseinä	yksittäiset koetulokset						keskiarvo	keskihajonta
Murtovoima (N)	1465	1527	1357	1099	1247	1323	1336	154
Murtotapa: 1 = tartunta, 2 = lämmöneriste/levy	2	2	2	2	2	2		
Vetolevy (mm)	100	100	100	95	95	100		
Murtolujuus (MPa)	0,15	0,15	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,01
Murtolujuus (MPa tai N/mm ²)	0,14	>		0,08 MPa ^(*)		OK		
Muutos vertailukappaleeseen	-20 %	>		-25% ^(**)		OK		

(*) by57: Tartunnan tulee olla vähintään 0,08 MPa

(**) TTY: Merkittäväksi heikentymiseksi tulkitaan yli 25 % lujuuden lasku

Kaikissa vetokokeissa murtuminen tapahtui lämmöneristeestä. Kuvassa 4.6 on esitetty vetokokeiden murtokappaleita. Vasemmalla on säärasitetusta seinästä otettu murtokappale ja oikealla vertailurakenteesta oleva murtokappale. Murtokappaleissa silmiin pistävänä erona on käytetyn lämmöneristeen EPS-rakeiden koko, joissa on silmin havaittava ero. Lämmöneristeen epähomogeenisuudella on voinut olla vaikutusta lujuuskokeiden tuloksiin.



Kuva 4.6. Vetokokeiden murtopintoja.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

5 LISÄISKUKOKEET

Säärasituskokeen tulosten raportoinnin (TRT/2143/2013) jälkeen Lakan Betoni tilasi lisätutkimuksen rakenteen iskunkestävyydestä ohjeitaan vastaavalla verkotuslaastikerroksen paksuudella.

5.1 Koekappaleiden vanhennus

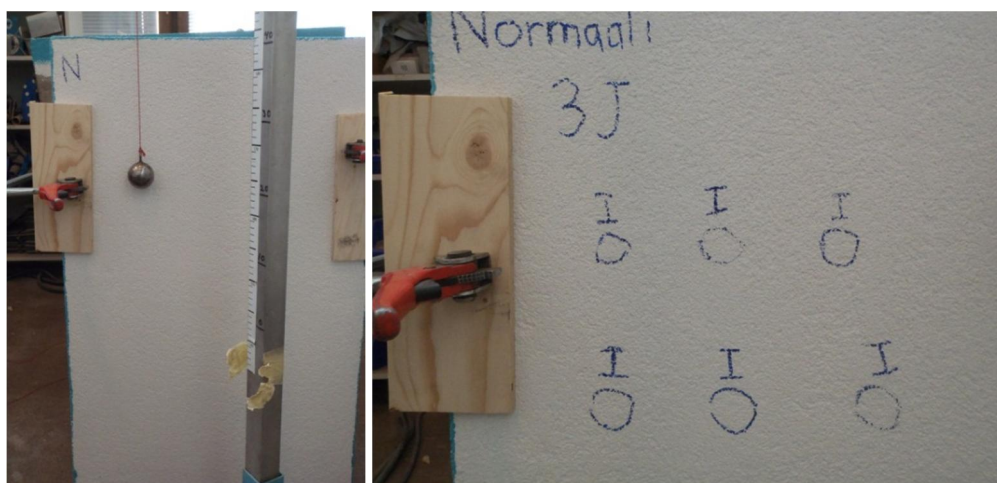
Koekappaleet vanhennettiin ETAG004-ohjeen mukaan ennen iskulujuuskokeiden suorittamista. Vanhennusmenettely oli seuraava:

Vesiupotus: Koekappaleet laitettiin vesiupotukseen 7 vuorokauden ajaksi (6.-13.5.2013). Rappauspinta oli kauttaaltaan upoksissa n. 10 mm syvyydessä. ETAG004-ohjeen vaatimus vesiupotuksesta on 6-8 päivää.

Kuivaus: Koekappaleita kuivattiin vesiupotuksen jälkeen 9 vuorokautta (13.-22.5.2013) seuraavissa olosuhteissa: keskimääräinen lämpötila +21,3 °C ja ilman suhteellinen kosteus 50,4 % RH. ETAG004-ohjeen vaatimus kuivumisesta on vähintään 7 vuorokautta olosuhteissa 23±2 °C ja 50±5 % RH.

5.2 Iskukokeiden suoritus

Iskulujuuskokeet suoritettiin vanhennuksen jälkeen 22.5.2013. Iskukokeissa koekappaleet tuettiin jäykkää rakennetta vasten, jotta ne eivät joustaneet iskuja suoritettaessa. Iskukokeiden suorittamista on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 5.1. Kokeissa käytetty iskukoejärjestely.

Iskulujuuskokeet tehtiin ETAG004-ohjeistuksen ja aiempien iskukokeiden mukaisesti. Iskukokeiden suorittamisen tarkempi kuvaus löytyy luvusta 4.1.

Iskulujuuskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 5.1. 3 joulen iskukokeissa ei syntynyt vaurioita normaalisti verkotettuun rakenteeseen tai panssariverkolla vahvistettuun rakenteeseen. 10 joulen iskukokeissa syntyneet vauriot vaihtelivat iskukokeiden välillä. Verkotuslaastikerroksen paksuus oli aiempaan kokeeseen verrattuna huomattavasti homogeenisempi, mitatut paksuudet on esitetty myös taulukossa 5.1. Verkotuslaastikerroksen poikkileikkauksia panssariverkolla vahvistetusta rakenteesta on esitetty kuvassa 5.2.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

Taulukko 5.1. Iskujuuskokeiden tulokset

	Iskujen vauriot ETAG004-ohjeen mukaan						heikoin koetulos	verkotuslaastiker- roksen paksuus
3 joulea, normaali verkotus	I	I	I	I	I	I	I	6...9 mm
3 joulea, panssariverkko	I	I	I	I	I	I	I	7...9 mm
10 joulea, normaali verkotus	I	I	II	III	III	III	III	6...9 mm
10 joulea, panssariverkko	I	II	II	II	II	II	II	8...10 mm
ETAG004 mukainen käyttöluokka	III							
Vahvistetun rakenteen käyttöluokka	II							


Kuva 5.2. Verkotuslaastikerroksen poikkileikkauksia panssariverkolla vahvistetulta alueelta.

Kuvaparissa 5.3 on esitetty 10 joulun iskukokeessa normaalisti verkotettuun rakenteeseen syntynyt rengashalkeama, joka näkyi taustapuolella tähtimäisenä halkeilu ja rappauskerroksen pullistumana.


Kuva 5.3. 10 joulun iskukokeessa syntynyt rappauksen läpäisevä halkeama.

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



ETAG004-ohjeen mukaisen eristerappausjärjestelmän vanhennusmenettelyn jälkeen suoritettujen iskukoetulosten perusteella rakenne soveltuu käyttöluokkaan III normaalisti verkotettuna sekä käyttöluokkaan II panssariverkolla vahvistettuna.

6 YHTEENVETO

6.1 Säänkestävyystudkimus

Koeseinän ikkunapuitteisiin syntyi pieniä halkeamia (ks. kuva 3.4), joiden ei todettu kuitenkaan päästäneen vettä eristekerrokseen (ks. liite 2).

Iskulujuuskokeiden yhteydessä verkotuslaastikerroksen paksuudessa havaittiin merkittävää vaihtelua (vertailurakenteessa 3...8 mm ja säärasitetussa 1...6 mm). Ohut verkotuslaastikerros on todennäköinen osatekijä rakenteen heikkoon iskunkestävyyteen. 3 joulen iskukokeiden perusteella rakenne ei täytä käyttöluokan III vaatimuksia. **Iskunkestävyys tulee varmistaa määrittämällä rakenteelle soveltuva käyttöluokka valmistajan määrittämällä verkotuslaastikerroksen vahvuudella.**

Säärasitetussa koeseinässä lämmöneristeen ja laastikerroksen välinen tartuntavetolujuus oli 0,14 MPa ja se oli heikentynyt 20 % säärasituksen aikana. Oheinen täyttää *by57 Eriste- ja levyrappaus 2011* -kirjan vaatimukset tartuntalujuuden osalta, minkä johdosta **koeseinä katsotaan säärasitusta kestäväksi.**

6.2 Lisäiskukokeet

Lisäiskukokeet suoritettiin erillisillä koekappaleilla ETAG004-ohjeen mukaisella vesiupotusvanhennuksella. Uusituissa iskukokeissa verkotuslaastikerroksen paksuus vaihteli 6...10 mm välillä. **Lisäiskukokeiden perusteella normaalisti verkotettu rakenne täyttää käyttöluokan III vaatimukset ja panssariverkolla vahvistettu rakenne käyttöluokan II vaatimukset.** Iskunkestävyysvaatimusten täyttymiseksi tulee verkotuslaastikerroksen paksuuteen kiinnittää erityistä huomiota normaalissa laadunvalvonnassa.

Tampereella 27.5.2013

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

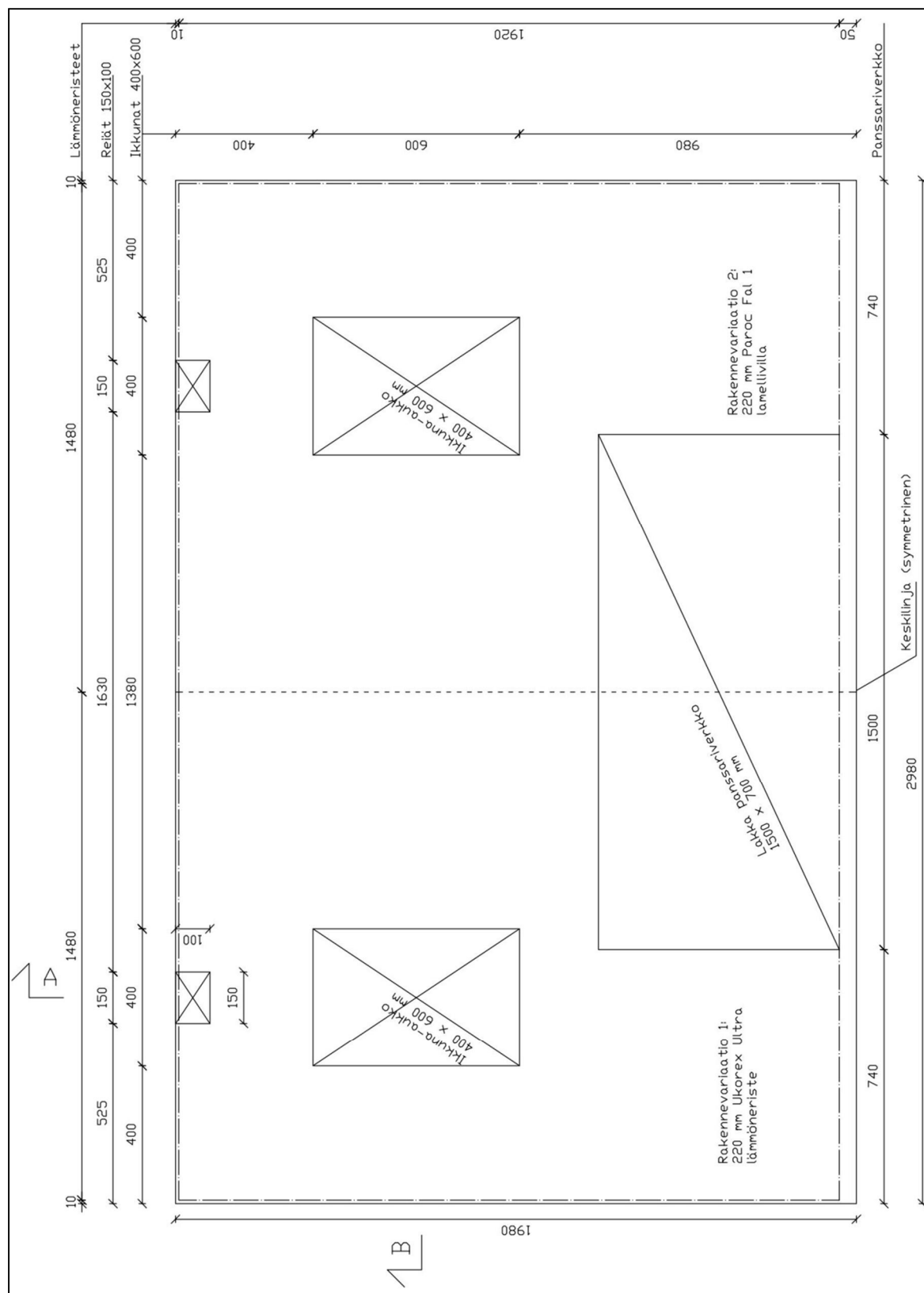
Rakennustekniikan laitos

Matti Pentti,
professori, tekniikan tohtori

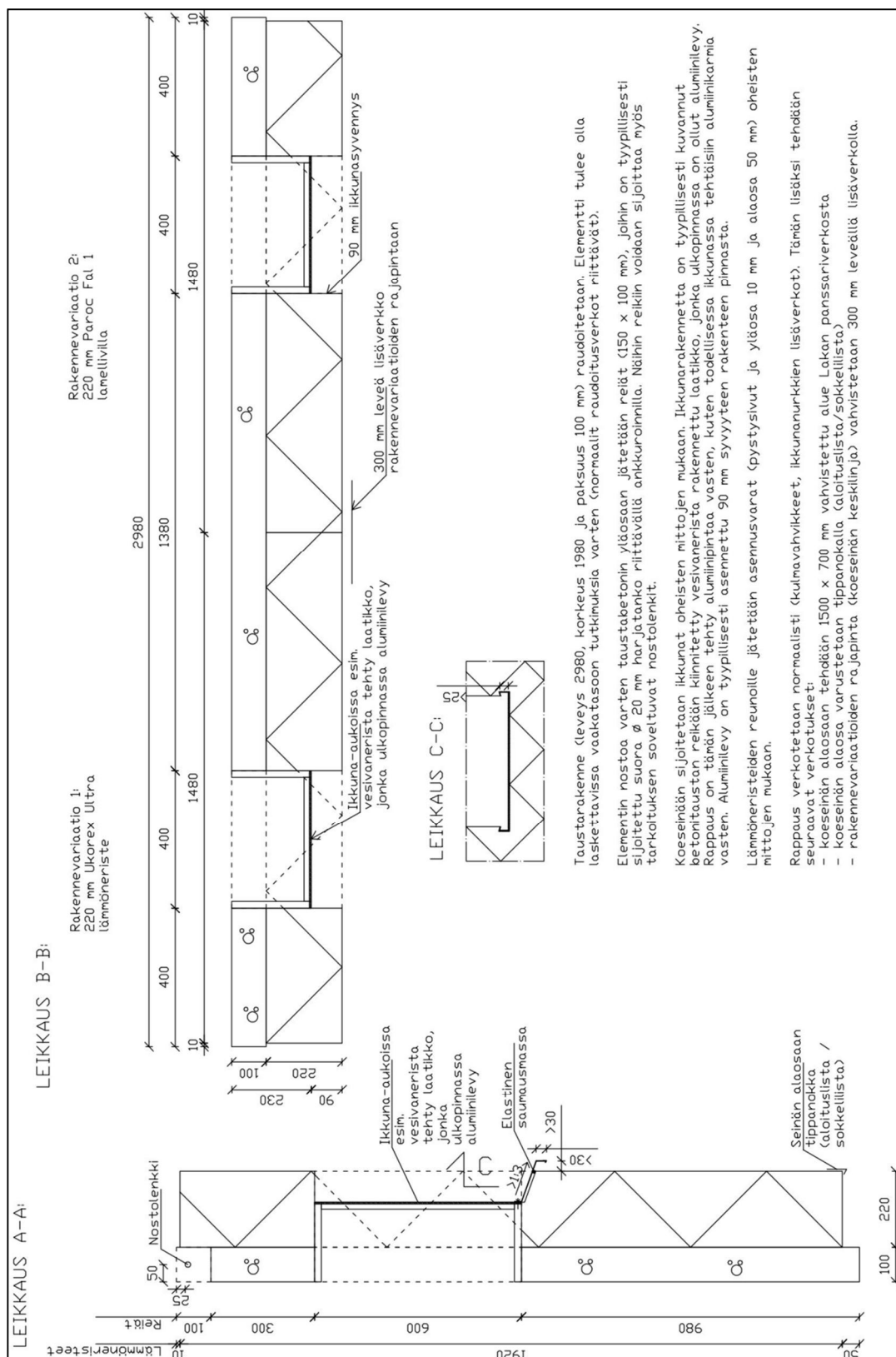
Petri Annila,
tutkia, diplomi-insinööri

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

LIITE 1: KOESEINÄN RAKENNEKUVAT



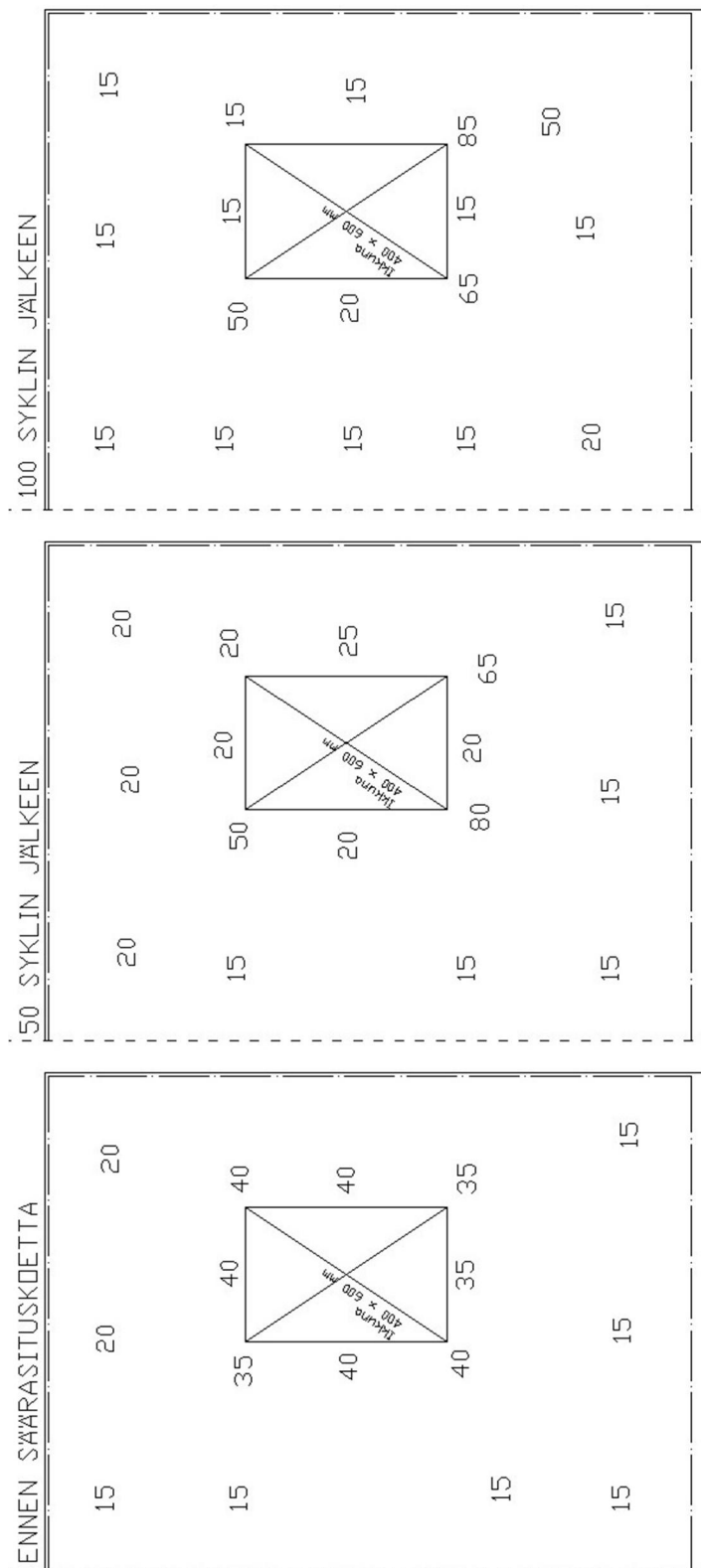
Tutkimuselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Tutkimuselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



LIITE 2: MITATUT PINTAKOSTEUDET



Tutkimuselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.