



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

RAKENNUSTEKNIIKAN LAITOS
TUTKIMUSSELOSTUS TRT/2049/2012

FESCOPANEL LEVYRAPPAUSJÄRJESTELMÄN SÄÄN- KESTÄVYYDEN TUTKIMINEN



6.2.2013



Tutkimusselostus nro 2049

(12 sivua)

Tilaaaja Fescon Oy
Raimo Niemelä
Myllykatu 3
05830 Hyvinkää

Tehtävä Fescopanel – Fescoterm verkotuslaasti -levyrappausjärjestelmän säänkestävyyden tutkiminen

Tutkimusryhmä Professori, tekn. toht. Matti Pentti
Tutkija, dipl.ins. Jommi Suonketo
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 Fescon Oy / Raimo Niemelä
Tutkimusryhmä
TTY / Rakennustekniikan laitoksen arkisto

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



SISÄLLYSLUETTELO

1	YLEISTÄ	3
2	KOERAKENTEET	3
2.1	Säärasituskokeen koeseinä	3
2.2	Rasittamaton vertailurakenne.....	5
2.3	Rakenteiden valmistusaikataulu.....	5
3	SÄÄRASITUS	5
3.1	Rasitus sykli.....	5
3.2	Kosteus- ja halkeilukäyttäytyminen	7
4	LUJUUSKOKEET JA NIIDEN TULOKSET	7
4.1	Iskujuuskokeet	7
4.2	Tartuntavetolujuuskokeet.....	9
5	YHTEENVETO	12

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



1 YLEISTÄ

Raimo Niemelä Fescon Oy:stä pyysi tutkimussuunnitelmaa kahden tuulettuvan levyrappausjärjestelmän säänkestävyyden testaamisesta yhdessä koeseinässä TTY:n säärasituslaitteistossa käyttäen Suomen ilmastoa kuvaavaa ankaraa säärasitusta. Säärasituksessa käytettiin Suomen betoniyhdistyksen Eriste- ja levyrappaus 2011 (by57) -kirjassa määritettyä säärasitusta. Fescon Oy tilasi laaditun *Tutkimussuunnitelman 3.4.2012* mukaisen tutkimuksen.

Koeseinällä tutkittiin Fescopanel-rakenteen toimintaa kahdella eri laastikonaisuudella. Tutkitut rakenteet on eritelty tarkemmin kohdassa 2.1. Tutkimukseen sisältyneet kaksi erilaista rakennejärjestelmää raportoidaan erillisissä raporteissaan.

2 KOERAKENTEET

2.1 Säärasituskokeen koeseinä

Tilaaaja valmisti TTY:n laboratoriotiloissa tutkimussuunnitelman mukaisen tuulettuvan levyrappausseinän. Tutkittava rakenne valmistettiin taustana käytetyn raudoitetun betoniseinän (leveys 2980 mm ja korkeus 1990 mm) päälle.

Tutkittu Fescopanel-rakenne oli seuraava:

- 100 mm raudoitettu betoniseinä
- 100 mm vaakarangat ja lämmöneristeet
- 6 mm Cembrit windstopper -tuulensuojalevy
- > 20 mm pystykoolaus ja tuuletusväli
- 12,5 mm Cembrit PermaBase rappauslevy
- **Fescoterm Verkotuslaasti** ja lasikuituverkko
- Fescon Silikonihartsipohjuste
- Fescon Silikonihartsipinnoite

Kuvissa 2.1 ja 2.2 on esitetty koeseinän rakentamisvaiheita.



Kuva 2.1 Koeseinän rakentamisivaiheita.

Molempiin koeseinän puoliskoihin tehtiin ikkunaa kuvaava $400 \times 600 \text{ mm}^2$ aukko, jossa varsinaisen ikkunan alumiinikarmeja simuloi ohut alumiinilevy, jota vasten rappaus tiivistettiin. Ikkunan ympäristössä verkotus tehtiin normaalien suositusten mukaisesti käyttäen kulmissa vahvikeverkkoja. Ikkunasyvennyksessä oli syvyydeltään 90 mm ja sen alaosaan tehtiin normaalin rakenteessa käytettävä rappauskulmin ja tippanokin varustettu vesipelti.



Kuva 2.2 Ikkunasyvennyksen valmistusvaiheita.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

2.2 Rasittamaton vertailurakenne

Varsinaisen koeseinän rakentamisen yhteydessä rakennettiin vertailukoekappale. Vertailukoekappaleessa kuormalavaan kiinnitettiin koeseinää vastaavat pystyranгат. Tuulensuojalevyjä, niiden rankoja ja lämmöneristeitä ei käytetty vertailukappaleessa. Rappauslevy kiinnitys rankoihin ja rappaus levyn pinnalle toteutettiin vastaavasti koeseinän kanssa. Vertailurakenne on esitetty kuvassa 2.3.



Kuva 2.3 Vertailurakenne

2.3 Rakenteiden valmistusaikataulu

Koerakenteet valmistettiin seuraavan aikataulun mukaisesti:

- 25.6.2012 Rankojen, lämmöneristeiden, tuulensuojalevyjen ja rappauslevyjen asennus
- 26.6.2012 Verkotuslaastin rappaus
- 12.7.2012 Silikonihartsipohjusteen levitys
- 13.7.2012 Silikonihartsipinnoitteen levitys

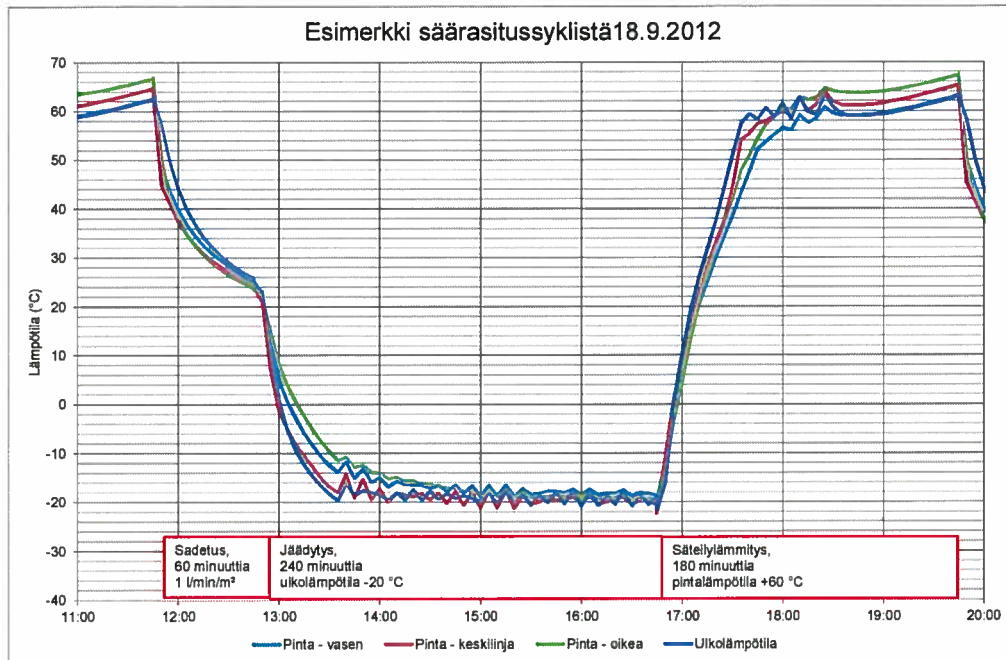
3 SÄÄRASITUS

3.1 Rasisussykli

TTY käytti koeseinän säärasituksessa Suomen betoniyhdistyksen *by57 Eriste- ja levyrappaus 2011* -kirjassa suositeltua säärasitusyhtä, joka on kolmivaiheinen:

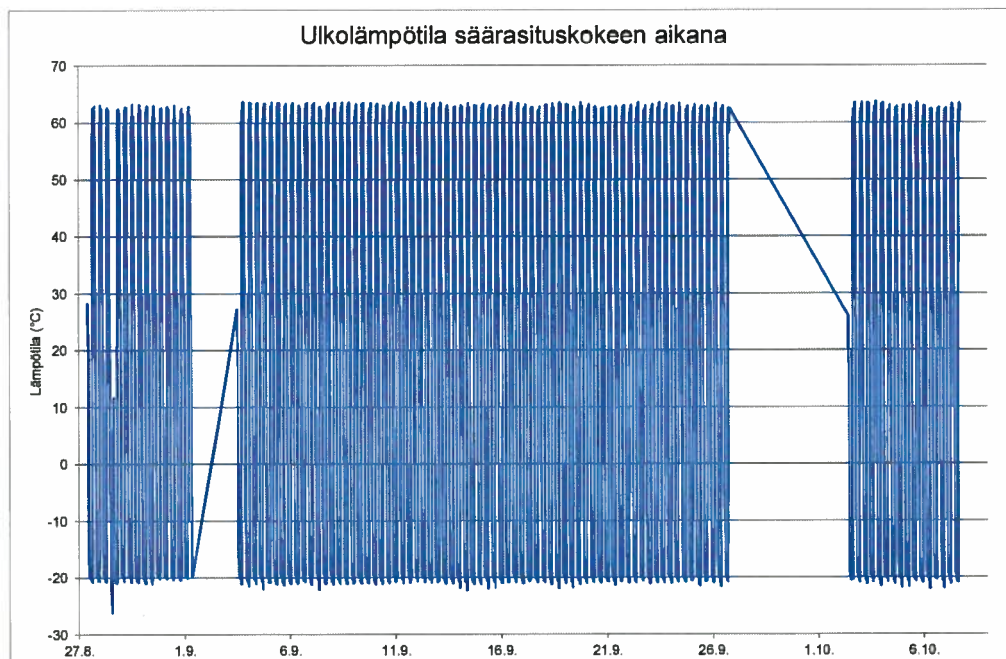
- 1) Sadetus 60 minuuttia: sadetusmäärä 1 l/min/m².
- 2) Jäädytys 240 minuuttia: lämpötilan lasku nopeasti -20 °C.
- 3) Säteilylämmitys 180 minuuttia: lämpötilan nostaminen nopeasti +60 °C.

Kuvassa 3.1 on esitetty esimerkki säärasituskokeesta 18.9.2012 toteutuneesta syklistä.



Kuva 3.1 Esimerkki säärasitusykkelistä 18.9.2012.

Kyseistä sykliä toistettiin kokeen aikana 100 kertaa. Säärasituskokeen aikana pidettiin muutama huoltotauko, joilla ei ollut vaikutusta koeseinän saamaan rasitukseen. Kaikki säärasituskokeessa suoritettut syklit huoltotaukoineen on esitetty kuvassa 3.2.



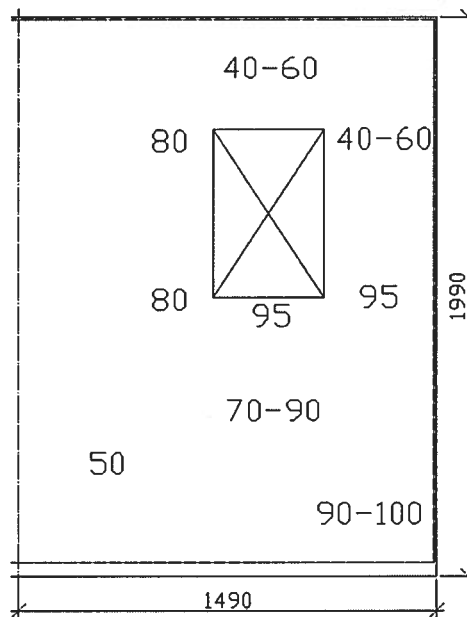
Kuva 3.2 Ukolämpötilat säärasituskokeen aikana.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.

3.2 Kosteus- ja halkeilukäyttäytyminen

Säärasitusyökkien aikana tai sen jälkeen tutkitussa koerakenteessa (Fescoterm verkotuslaasti) ei havaittu vaurioita.

Säärasitusyökin jälkeen seinä kartoitettiin pintakosteudenosoittimella (GANN Hydromette UNI 2). Kartoituksen tulokset on esitetty kuvassa 3.3. Käytetyn mittarin asteikko on 0-200. Mittarin lukemat ovat suhteellisia, eikä niistä voida päätellä suoraan materiaalin kosteussisältöä. Oheisten mittaustulosten perusteella koeseinään ei voida todeta kertyneen kosteutta.



Kuva 3.3 Säärasituskokeen jälkeen pintakosteudenosoittimella mitatut arvot.

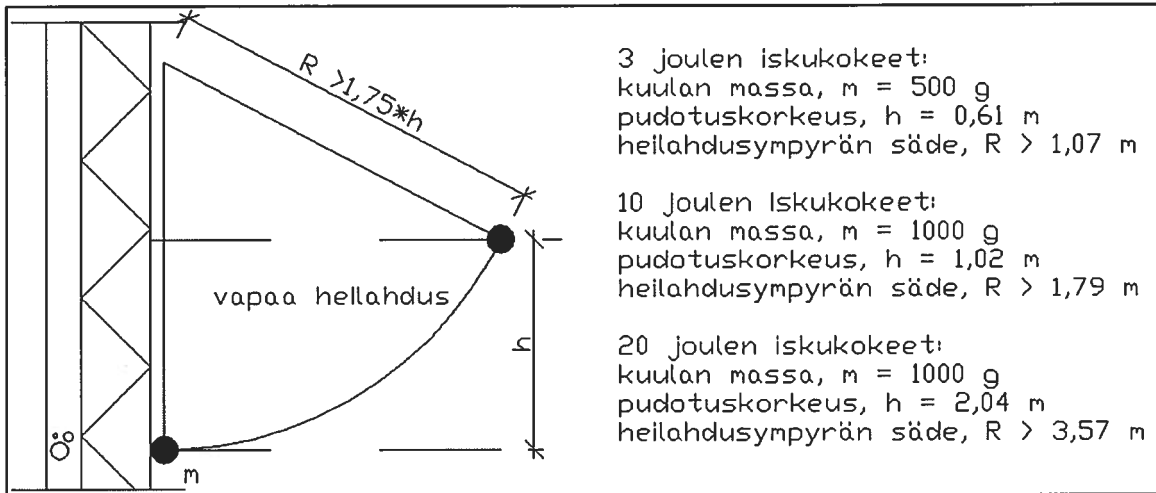
4 LUJUUSKOKEET JA NIIDEN TULOKSET

4.1 Iskulujuuskokeet

Iskulujuuskokeet tehtiin ETAG004-ohjeistusta (*Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*) mukailleen. Ohjeessa neuvotaan eristerappausten iskukokeiden suoritus.

Ohjetta mukailleen TTY:n käytäntönsä mukaisesti suoritti 10 joulun iskukokeet rankavälin puoleenväliin että välittömästi rangan läheisyyteen näiden kohtien rakenteellisista eroista johtuen. 3 joulun iskukokeita ei suoritettu, koska rakenne kesti vaurioitumatta 10 joulun iskukokeet. Tuplaverkotetulle alueelle suoritettiin 20 joulun iskukokeet.

Kuvassa 4.1 on esitetty ETAG004-ohjeen mukaisten iskulujuuskokeiden periaatteet. 10 joulun iskulujuuskokeissa 1000 g kuula päästetään vapaaksi 1,02 metriä iskukohtaan yläpuolelta ja se heilahtaa vapaana narun päässä säteeltään vähintään 1,79 metrin ympyränkaarta päin koeseinää. Kuulan liike-energia törmäyshetkellä on 10 joulun suuruinen.



Kuva 4.1. Iskukokeiden periaate.

Levyrappausten iskulujuuskokeissa syntyneiden vaurioiden luokitteluun ei ole olemassa ETAG004:n kaltaista ohjetta tai standardia, eikä myöskään by57 ota kantaa luokitteluun. Tämän johdosta TTY on ottanut käyttöön oman luokittelun levyrappausten vaurioille iskulujuuskokeissa. Rappauspinnan vauriot luokitellaan ETAG004:n mukaisesti ja tämän lisäksi huomioidaan rappauslevyn vauriot, jotta voidaan arvioida koko rakenteen toimintaa. Iskulujuuskokeiden luokittelu on esitetty taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1 Levyrappausten iskukoeluokitus TTY:n käytännön mukaan.

	Rappauskerros (ETAG004 kriteerit)		Rappauslevy (TTY:n kriteerit)
3 joulea	I Rappaukseen ei saa syntyä näkyvää vaurioitumista	ja	Rappauslevyyn ei saa syntyä näkyvää vaurioitumista
	II Rappaukseen ei saa syntyä halkeilua	ja	Rappauslevyyn saa syntyä halkeamia tai vaurioita, jotka eivät ulotu levyn läpi
	III Rappaukseen saa syntyä halkeamia, mutta ei rappauspinnan läpäisevää rengashalkeamaa	ja	Rappauslevyyn saa syntyä halkeamia tai vaurioita, jotka eivät ulotu levyn läpi
	X Rappaukseen syntyy rengashalkeama	ja/tai	Rappauslevyyn syntyy levyn läpi ulottuva halkeama tai levyn runkoaines murskautuu
10 joulea	I Rappaukseen ei saa syntyä näkyvää vaurioitumista	ja	Rappauslevyyn saa syntyä halkeamia tai vaurioita, jotka eivät ulotu levyn läpi
	II Rappaukseen saa syntyä halkeamia, mutta ei rappauspinnan läpäisevää rengashalkeamaa	ja	Rappauslevyyn saa syntyä halkeamia tai vaurioita, jotka eivät ulotu levyn läpi
	III Rappaukseen syntyy rengashalkeama	ja/tai	Rappauslevyyn syntyy levyn läpi ulottuva halkeama tai levyn runkoaines

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Tutkitun rakennejärjestelmän iskunkestävyys oli levyrappauksille tyypillisesti hyvä. Rappauspintaan tai levyn taustaan ei todettu syntyneen vaurioita iskukokeissa. Iskukokeiden tulokset kokonaisuudessaan on esitetty taulukossa 4.2.

Taulukko 4.2 3 ja 10 joulen iskukokeiden tulokset.

ISKULUJUUSKOKEIDEN TULOKSET

	Iskujen vauriot TTY:n arvostelun mukaan						heikoin koetulos
10 joulea, rangan lähelle, normaali verkotus							
10 joulea, rankavälin keskelle, normaali verkotus							
Soveltuva käyttöluokka	I						
20 joulea, rangan lähelle, vahvikeverkko							
20 joulea, rankavälin keskelle, vahvikeverkko							
Vahvikeverkolla saavutettu käyttöluokka	I						

Iskulujuuskokeiden vaurioiden perusteella rakennejärjestelmät luokitellaan ETAG004-ohjeen mukaan kolmeen eri käyttöluokkaan, jotka ovat:

- 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).

Suoritettujen iskulujuuskokeiden perusteella rakenteen iskunkestävyys on hyvä ja se soveltuu käytettäväksi käyttöluokassa I myös ilman vahvikeverkkoa.

4.2 Tartuntavetolujuuskokeet

Rappauspinnan ja -levyn väliset tartuntavetokokeet tehtiin ETAG004-ohjeistuksen mukaisesti tasaisella kuormitusnopeudella. Koeseinän pintaan liimattiin 6 kappaletta metallisia vetolevyjä. Liiman kuivumisen jälkeen koekappaleet irrotettiin koeseinästä kulmahiomakoneella ja toiset vastaavan kokoiset metallilevyt liimattiin rappauslevyn taustapinnalle.

Kuormitukseen käytettiin käsikäyttöistä vetolaitetta, joka oli kytkettynä tietokoneeseen. Tietokoneelta voitiin kuormituksen päätyttyä lukea murtovoima. Periaate koejärjestelyistä on esitetty kuvassa 4.2.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Kuva 4.2 Vetokokeiden koejärjestely.

Vetokokeiden tulokset on esitetty taulukossa 4.3. Taulukossa on murtovoiman lisäksi annettu murtotapa sekä murtolujuus. Vertailukappaleiden tartuntavetolujuus oli 0,82 MPa ja säärasitetun koeseinän 0,85 MPa. Säärasitetun koeseinän suurempi keskiarvolujuus selittyy koetulosten normaalilla vaihtelulla. Koetulosten perusteella rakennejärjestelmän ei voida todeta heikentyneen säärasituksessa.

Taulukko 4.3 Tartuntavetokokeiden tulokset.

TARTUNTAVETOKOKEIDEN TULOKSET

Vertailukoekappale	yksittäiset koetulokset						keskiarvo	keskihajonta
Murtovoima (N)	5856	7811	7553	6666	7873	8563	7387	969
Murtotapa: 1 = tartunta, 2 = lämmöneriste/levy	2	2	2	2	2	2		
Vetolevy (mm)	95	95	95	95	95	95		
Murtolujuus (MPa)	0,65	0,87	0,84	0,74	0,87	0,95	0,82	0,11

Säärasitettu koeseinä	yksittäiset koetulokset						keskiarvo	keskihajonta
Murtovoima (N)	7199	7889	7249	7223	8530	8122	7702	563
Murtotapa: 1 = tartunta, 2 = lämmöneriste/levy	2	2	2	1	2	2		
Vetolevy (mm)	95	95	95	95	95	95		
Murtolujuus (MPa)	0,80	0,87	0,80	0,80	0,95	0,90	0,85	0,06

Murtolujuus (MPa tai N/mm ²)	<u>0,85</u>	>	0,08 MPa ^(*)	OK
Muutos vertailukappaleeseen	<u>4%</u>	>	-50% ^(**)	OK

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

(**) TTY: Merkittäväksi heikentymiseksi tulkitaan yli 50 % lujuuden lasku

Tartuntavetokokeissa tyypillisesti esiintynyt murtotapa 2 on esitetty kuvassa 4.3. Kuvassa on vertailukoekappaleen nro 3 murtokappaleet. Murtuminen tapahtui yhtä poikkeusta lukuun ottamatta rappauslevyn keskeltä.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Kuva 4.3. Vetokokeissa esiintynyt murtotapa.

Yhden koekappaleen erilainen murtotapa on esitetty kuvassa 4.4. Erilainen murtotapa selittyy osittain levysauman aiheuttamalla epäjatkuvuuskohtalla.



Kuva 4.4. Vetokokeissa esiintynyt yksittäinen poikkeava murtotapa.

Tartuntavetolujuuskokeissa saavutettu 0,85 MPa täyttää by57 vaatimuksen vähintään 0,08 MPa lujuudesta. Koetulosten perusteella tartuntavetolujuus ei myöskään ole heikentynyt sääräsituksessa.



5 YHTEENVETO

Tutkittuun koerakenteeseen ei syntynyt säärasituksen aikana silmin havaittavia vaurioita. Pintakosteudenosoittimella suoritettujen kartoitusten perusteella kosteutta ei ollut kulkeutunut rappauslevyyn.

Rakenteen iskunkestävyys oli hyvä ja rakennetta voidaankin käyttää käyttöluokassa I, myös ilman vahvikeverkkoa.

Rappauksen ja rappauslevyn välinen tartuntalujuus (0,85 MPa) ylittää selvästi Eriste- ja levyrappaus 2011 (by57) -kirjan vaatimuksen 0,08 MPa lujuudesta. Tartunnan ei myöskään todettu heikentyneen säärasituksen aikana, mikä osaltaan tukee muita havaintoja rakenteen hyvästä säänkestävyydestä.

Tutkimuksessa ei tutkittu rankojen kiinnittymistä taustarakenteeseen (betoniin) tai rappauslevyn kiinnittymistä rankoihin. Rappauslevyn ominaisuuksien ei todettu heikentyneen säärasituksen aikana, jolloin ei myöskään ole todennäköistä, että rappauslevyn kiinnittyminen rankoihin olisi heikentynyt. Rankojen ja rappauslevyn ruuvikiinnityksessä täytyy noudattaa valmistajan mitoittamia ja ilmoittamia ruuvimääriä.

Tampereella 6.2.2013

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan laitos

Matti Pentti,
professori, tekniikan tohtori

Jommi Suonketo,
projektipäällikkö, diplomi-insinööri

Petri Annala,
tutkija, diplomi-insinööri

Antti Pöntinen,
tutkimusapulainen, tekn. kand.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille koekappaleille
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.