



Pekka Kokko

Ralf Lindberg

**EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN
EDELITYKSET UUDISRAKENTAMISESSA
BETONIELEMENTTIRAKENTEISEN SISÄKUOREN
YHTEYDESSÄ**



TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennustekniikan osasto
Talonrakennustekniikan laboratorio

Tutkimusselostus 1006/2001 4.6.2001

Pekka Kokko, Ralf Lindberg

Tilaajat: NCC Finland Oy
Parma Betonila Oy
Thermisol Finland Oy

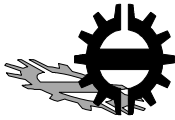
Yhteys: Kari Kiviluoma NCC Finland Oy
Jönsaksentie 4
01600 VANTAA

Tilaus: Kirjallinen 8.9.2000

Tehtävä: Selvittää EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytyksiä uudisrakentamisessa betonielementtirakenteisen sisäkuoren yhteydessä teoreettisesti, laboratoriokokein sekä kenttätutkimuksin.

Tutkimusryhmä:

Pekka Kokko
Huone RL213
PL 600
33101 TAMPERE
puh: 03 3652881
fax: 03 3652811
GSM: 050 5477194



Sisällysluettelo

SISÄLLYSLUETTELO	3
1. YLEISTÄ	4
2. TTKK:N TUTKIMUKSET	5
2.1 EPS-ERISTEEN TARTUNTA BETONIELEMENTTIIN	5
2.2 ALSECCO-OHUTRAPPauksen VESIHÖYRYN LÄPÄISEVYYS	6
2.3 ALSECCO-OHUTRAPPauksen TARTUNTA EPS-ERISTEESEEN	6
3. EPS-OHUTRAPPausJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN EDELLYTYKSET.....	7
3.1 EPS-ERISTEEN TARTUNTA BETONIIN.....	7
3.2 EPS-ERISTEEN OMINAISUUDET	7
3.3. ALSECCO-OHUTRAPPausLAASTIN TARTUNTA EPS:IIN	8
3.4. ALSECCO-RAPPausVERKKO.....	8
3.5 SAUMARAKENNE.....	8
3.6 MUUT EDELLYTYKSET	8

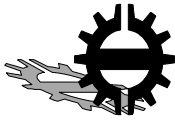
LIITTEET

Liite 1: EPS-eristeen tartunta betonivaluun

**Liite 2: Alsecco-ohutrappauksen vesihöyrynvastuskokeet
ja laastin kapillaarinen vedenimu**

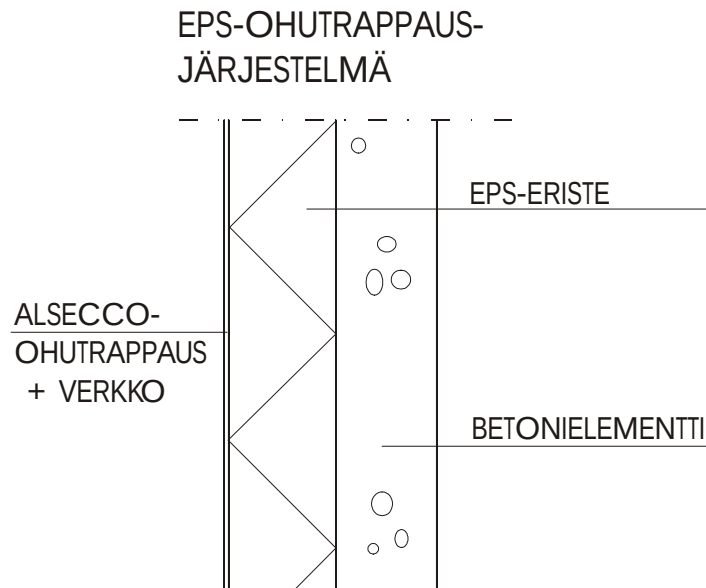
Liite 3: EPS-ohutrappausjärjestelmän lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Liite 4: Alsecco-ohutrappauksen tartunnasta EPS-eristeeseen



1. Yleistä

NCC Finland Oy, Parma Betonila Oy ja Thermisol Finland Oy ovat kehittäneet uudisrakentamiseen EPS-ohutrappausjärjestelmällä pinnoitettua betonielementtijulkisivurakennetta. Tavoitteena on teräsbetonisen sisäkuoren ja siinä betonin tartunnalla kiinni olevan EPS-eristeen (Expanded Poly Styrene, "styrox") sisältävän seinäelementin pinnoittaminen ohutrappaustekniikalla ulkopinnaltaan saumattomaksi julkisivuksi.



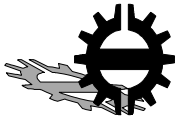
Kuva 1. EPS-ohutrappausjärjestelmä.

Kuvassa 1 on esitetty EPS-ohutrappausjärjestelmän osat. Betonielementti valetaan EPS-eristettä vasten, jolloin eriste liimautuu kiinni elementtiin. Rakennuksessa on yleensä pienehköjä alueita, joissa eriste kiinnitetään työmaalla elementtiin. Tällaisessa tapauksessa pistekiinnitys on mahdollinen.

Yksi tuotantotapa on että rappausverkko ja rappaus tehdään kokonaisuudessaan työmaalla. Oleellista tällöin on huolehtia että EPS-pinta käsitellään siten että se soveltuu tartunta-alustaksi.

Toinen tuotantotapa on että jo elementtitehtaalla kiinnitetään verkko ja osa rappauksesta tehdään jo elementtitehtaalla. Työmaalla tehdään saumat ja pintarappaus. Oleellisia tällöin ovat saumojen kohdilla verkotukset ja laastin hyvä tartunta alustaan.

EPS-ohutrappausjärjestelmää on käytetty paljon Saksassa (Alsecco) uudisrakentamisessa. Järjestelmä ja sen yksityiskohdat on dokumentoitu hyvin.



Yksi järjestelmän oleellinen piirre on se, että ulkopinnassa olevaan noin 6 mm paksuiseen Alsecco-rappauskerrokseen ei tehdä liikuntasauvoja.

Suomessa valmistuneista kohteista tehdyssä kenttäkartoituksessa (TRT tutkimusselostus 1005/2000) todettiin tutkittujen EPS-ohutrappausjärjestelmien säilyneen hyvin, eikä liikuntasauvojen puutteesta havaittu olleen ongelmia.

2. TTKK:n tutkimukset

TTKK:ssa tehtiin monipuolinen ja laaja selvitys Alsecco-lämpörappausjärjestelmän käytöstä EPS-eristeen yhteydessä. Tutkimuksen tavoitteina oli selvittää betonielementin ja EPS-eristeen välistä tartuntaa, ohutrappauksen (Alsecco) rakennusfysikaalisia ominaisuuksia ja ohutrappauksen tartuntaa EPS-eristeeseen sekä saumojen toimintaa. Yhtenä keskeisenä tavoitteena oli selvittää liikuntasauvojen tarvetta suomalaisissa ilmasto-olosuhteissa.

Tämän lisäksi tehtiin teoreettisia tarkasteluja koko seinärakenteen rakennusfysikaalisesta toiminnasta eri vuodenaikoina. Tarkastelussa otettiin huomioon sekä lopputilanne että rakennusaikaisen kosteuden poistuminen.

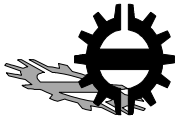
Tuloksena ovat EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytykset Suomen olosuhteissa. Ne on esitetty tämän tutkimusselostuksen luvussa 3. Seuraavassa on esitetty tutkimuksen yhteydessä tehdyt kokeet ja keskeiset havainnot.

2.1 EPS-eristeen tartunta betonielementtiin

Kun betoni valetaan EPS-eristettä vasten, sementtiliiman aiheuttama tartunta on riittävä. Tartunta varmennetaan vielä EPS-eristeen lohenpyrstö-urituksella. Tartuntakokeet on esitetty liitteessä 1.

Kokeita tehtiin kahdessa vaiheessa yhteensä kahdeksalla 600*600 koekappaleella. Niissä betoni oli valettu EPS-eristeen molemmiin puolin ja koekuormituksessa vedettiin betonikuoria erilleen toisistaan siten että murtuminen saattoi tapahtua joko EPS-eristeestä tai rajapinnoista. Kaikki kuormitustulokset ylittivät arvon 0,080 MPa. Tämä raja on asetettu eurooppalaisessa ohjeluonnoksessa "EOTA Draft ETAG No 004 June 1999 Guideline for European Technical Approval of EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS WITH RENDERING".

Jos EPS-eristeitä joudutaan kiinnittämään työmaalla betonielementtiin, on huomattava, että yksi järjestelmän käytön keskeisistä edellytyksistä on, että lämmöneriste on tasaisesti kiinni alustassa ja kiinnitys tehdään järjestelmään kuuluvalla laastilla. Pienehköllä alueella osittaisen kiinnityksen minimimäärä on noin 60 %.



2.2 Alsecco-ohutrappauksen vesihöyrynvastus

Kokeiden tavoitteena oli selvittää Alsecco-ohutrappauksen vesihöyrynvastusta nk. kuppikokeella. Siinä tutkittavan kerroksen eri puolille järjestetään vesihöyrynpitoisuusero ja mitataan kerroksen läpi kulkenutta vesihöyrymäärää kuppia punnitsemalla. Kokeita tehtiin yhteensä 12 kappaletta.

Kuppikokeissa havaittiin, että Alsecco-ohutrappauksen vesihöyrynvastus (Z_v) on erittäin pieni, taulukko 1.

Taulukko 1. Alsecco-ohutrappauksen vesihöyrynvastus (Z_v) verrattuna sisäkuoren betonin ja EPS-eristeen tyypillisiin mm. liitteen 3 laskelmissa käytettyihin vesihöyrynvastusarvoihin.

Materiaali	paksuus	Z_v
-	mm	$[s/m] * 10^3$
betoni	120	180
EPS	150	150
Alsecco	10	10

Tämä merkitsee, että koko seinän rakennusfysikaalinen toiminta on hyvä suomalaisissa olosuhteissa kaikkina vuodenaikoina. Lisäksi EPS-eriste on umpinaisen solurakenteensa ansiosta lähes vettä läpäisemätöntä (mutta kylläkin vesihöyryä läpäisevää), joten rakenteeseen ei tunkeudu helposti vettä. Myös rakennusaikainen kosteus kuivuu seinärakenteesta ilman haittoja.

Vesihöyryn kulun kannalta rakenne kokonaisuutena toimii hyvin suomalaisissa olosuhteissa.

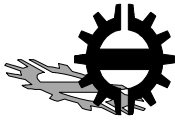
Kuppikokeen mittaukset on esitetty liitteessä 2. Koko seinärakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä kuvaava tarkastelu sekä normaalitilanteessa että rakentamisen jälkeen on esitetty liitteessä 3.

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin myös ohutrappauskerroksen kapillaarinen vedenimukoe kolmella koekappaleella. Tulos osoitti, että rappauslaastikerros ei ime kapillaarisesti vettä. Tämä koe on kuvattu myös liitteessä 2.

2.3 Alsecco-ohutrappauksen tartunta EPS-eristeeseen

Liikuntasaumatarpeen määrittämiseksi tehtiin laaja koesarja, jolla tutkittiin ohutrappauksen leikkaustartuntaa EPS-eristeeseen. Kokeissa selvitettiin rakenteen toimivuutta kun rappauslaasti oli sekä puristettu että vedetty. Lisäksi tutkittiin esirapattuihin elementteihin työmaalla tehtävän saumarakenteen käyttäytymistä.

Koekappaleita oli yhteensä 36. Jokaista tyyppiä koestettiin 6 kappaleen sarja. Kokeet ja koetulokset on selostettu liitteessä 4.



Ohutrappauksen ollessa puristettuna toiminta perustuu siihen, että rappauslaastin lujuus on varsin alhainen. Valmistaja ilmoittaa laastin lujuudeksi noin viisinkertaisen arvon. Tämä on kuitenkin todettu erilaisesta koekappaleesta kuin laasti lopullisessa rakenteessa on.

Kokeet osoittivat, että ohutrappauslaasti ankkuroituu hyvin pienellä matkalla (alle 400 mm) EPS-eristeeseen. Tämä puolestaan merkitsee sitä, että seinän nurkasta puolen metrin päässä lämpöliikkeet eivät aiheuta muodonmuutoksia, vaan koko liike on muuttunut lämpöjännityksiksi. Nämä puolestaan ovat pienet materiaalin kimmokertoimen pienuuden vuoksi.

Alsecco-ohutrappauksen toimiessa vedettynä sen lujuus on noin 1/10 ilmoitetusta. Tämä puolestaan merkitsee sitä, että ohutrappaus halkeilee hyvin pienen vetorasituksen alaisena ja vetovoima välittyy ainoastaan rappausverkon kautta. Verkko on luja ja ohutrappauksen tartunta verkkoon on hyvä. Sen vuoksi halkeamia syntyy paljon ja ne ovat lähellä toisiaan. Monessa tapauksessa käyttötilanteessa halkeamia ei synny lainkaan. Mahdolliset halkeamat ovat silmin havaitsemattomia eikä niistä ole rakenteen toiminnalle haittaa.

Kaikkiaan kokeiden tuloksena voidaan todeta että ohutrappaukseen ei tarvita liikuntasauvoja. Sen sijaan rappauksen läpi menevät rakenteet on erotettava rappauserroksesta valmistajan ohjeiden mukaan.

3. EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytykset

Järjestelmän käytön kannalta keskeiset näkökohdat on esitetty seuraavassa.

3.1 EPS-eristeen tartunta betoniin

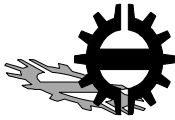
Lämmöneristeen tartunta kauttaaltaan elementin betoniin on välttämätön. Muussa tapauksessa lämpöliikkeet saavat aikaan erilaisia taipumia ohutrappauksen ja eristeen muodostamaan rakenteeseen. Sementtiliiman aiheuttama tartunta on riittävä.

Työmaalla voidaan myös kiinnittää pienehköllä alueella eriste suoraan betonielementtiin. Tällöin riittää osittainen kiinnitys (noin 60 %) tasaisesti koko alueella.

3.2 EPS-eristeen ominaisuudet

Järjestelmän toiminnan kannalta on sitä parempi mitä pienempi on EPS:n tiheys ja lujuus. Muut tekijät vaativat tiettyä minimitasoa. Suositeltavana tiheytenä voidaan pitää 18-20 kg/m³.

EPS-eriste ei saa merkittävästi kutistua rakenteessa. Kuuden viikon vanhenus >+15 °C varastossa tai lämpöuunikäsittely (tehtaan normaalikäytäntö) vähentää oleellisesti EPS:n jälkikutistumaa.



3.3. Alsecco-ohutrappauslaastin tartunta EPS:iin

Tämä on yksi järjestelmän toiminnan keskeisiä edellytyksiä. Tartunnasta on varmistuttava myös mahdollisen työmaalla tehtävän sauman yhteydessä.

Tartunnan varmistamiseksi tehdään tarvittaessa esikäsitteily kuten hionta tai karhennus. Ennen rappausta tartuntapinnan on oltava puhdas irtonaisesta aineksesta, tarvittaessa tehdään erillinen pinnan puhdistus.

3.4. Alsecco-rappausverkko

Rappausverkko on yksi tärkeimmistä järjestelmän osista. Verkon tulee olla järjestelmään kuuluva rappausverkko ja sitä on ehdottomasti käytettävä valmistajan ohjeiden mukaisesti. On huomattava, että verkon merkitys on erittäin tärkeä myös monissa yksityiskohdissa kuten aukkojen nurkissa yms.

3.5 Saumarakenne

Kokeet osoittivat, että elementtitehtaalla verkotetussa ja pohjarapatussa rakenteessa ohutrappauslaastiin riittää noin 150 mm leveä sauma elementtien välillä. Sauma on lujitettava työmaalla yksinkertaisella verkolla, joka limittyy kumpaankin saumaan liittyvään verkkoon vähintään 65 mm. Leveämmästä saumalimityksestä ei ole haittaa. Työmaalla tehtävän saumaverkon verkotusrappauksen tartunta sauma-alueella on tärkeä.

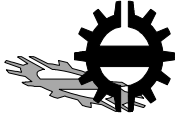
3.6 Muut edellytykset

Muissa yksityiskohdissa on noudatettava valmistajan antamia ohjeita hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi.

Tampereella 4.6.2001

Pekka Kokko
diplomi-insinööri, tutkija

Ralf Lindberg
Tekniikan tohtori, professori



LIITELUETTELO:

- Liite 1: EPS-eristeen tartunta betonivaluun**
- Liite 2: Alsecco-ohutrappauksen vesihöyrynvastuskokeet ja laastin kapillaarinen vedenimu**
- Liite 3: EPS-ohutrappausjärjestelmän lämpö- ja kosteustekninen toiminta**
- Liite 4: Alsecco-ohutrappauksen tartunnasta EPS-eristeeseen**

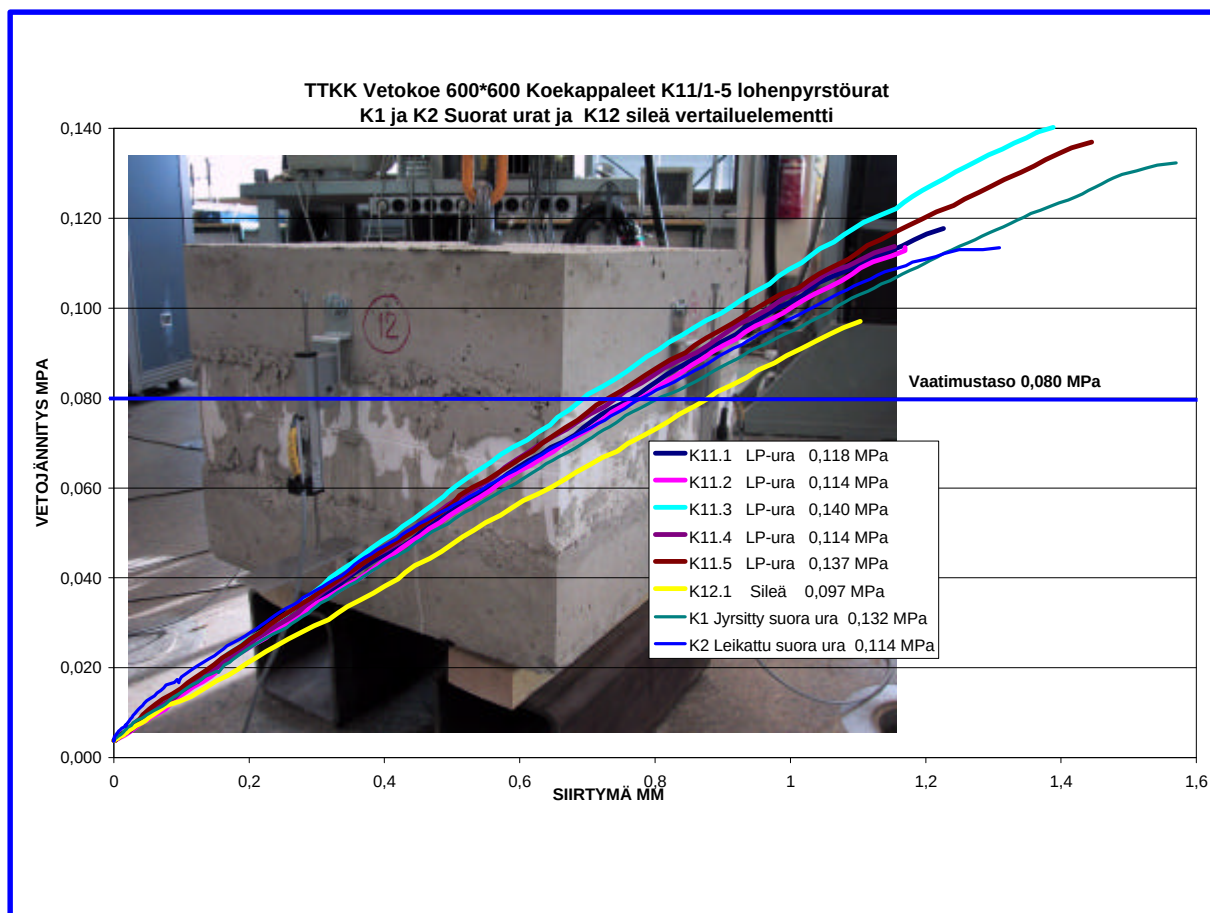


Pekka Kokko

Ralf Lindberg

EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN EDELITYKSET UUDISRAKENTAMISESSA BETONIELEMENTTIRAKENTEISEN SISÄKUOREN YHTEYDESSÄ

Liite 1: EPS-eristeen tartunta betonivaluun



TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennustekniikan osasto
Talonrakennustekniikan laboratorio

Tutkimusselostus 1006/2001 4.6.2001

Pekka Kokko, Ralf Lindberg

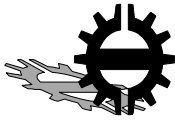
Tilaaajat: NCC Finland Oy
Parma Betonila Oy
Thermisol Finland Oy

Yhteys: Kari Kiviluoma NCC Finland Oy
Jönsaksentie 4
01600 VANTAA

Tehtävä: Selvittää EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytyksiä uudisrakentamisessa betonielementtirakenteisen sisäkuoren yhteydessä kokeellisella tutkimuksella selviitämällä EPS-eristeen tartuntaa betonivaluun rakennekoekappaleita (8 kpl) kuormittamalla

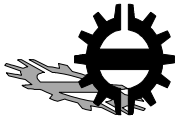
Tutkimusryhmä:

**Pekka Kokko
Huone RL213
PL 600
33101 TAMPERE
puh: 03 3652881**



Sisällysluettelo

SISÄLLYSLUETTELO	3
1. KOEKAPPALEET.....	4
2. KUORMITUS.....	4
3. MITTAUKSET	5
4. KOETULOKSET	5
4.1 JYRSITYN JA LEIKATUN URAN VERTAILU	5
4.2 LOHENPYRSTÖURAN JA URITTAMATTOMAN ELEMENTIN VERTAILU	7
4.3 TARTUNTAPINNAN LAATU YLEISESTI.....	13
5. BETONIN PURISTUSLUJUUS.....	13
6. YHTEENVETO KOETULOKSISTA	14
7. MUUTA HUOMIOON OTETTAVAA	14

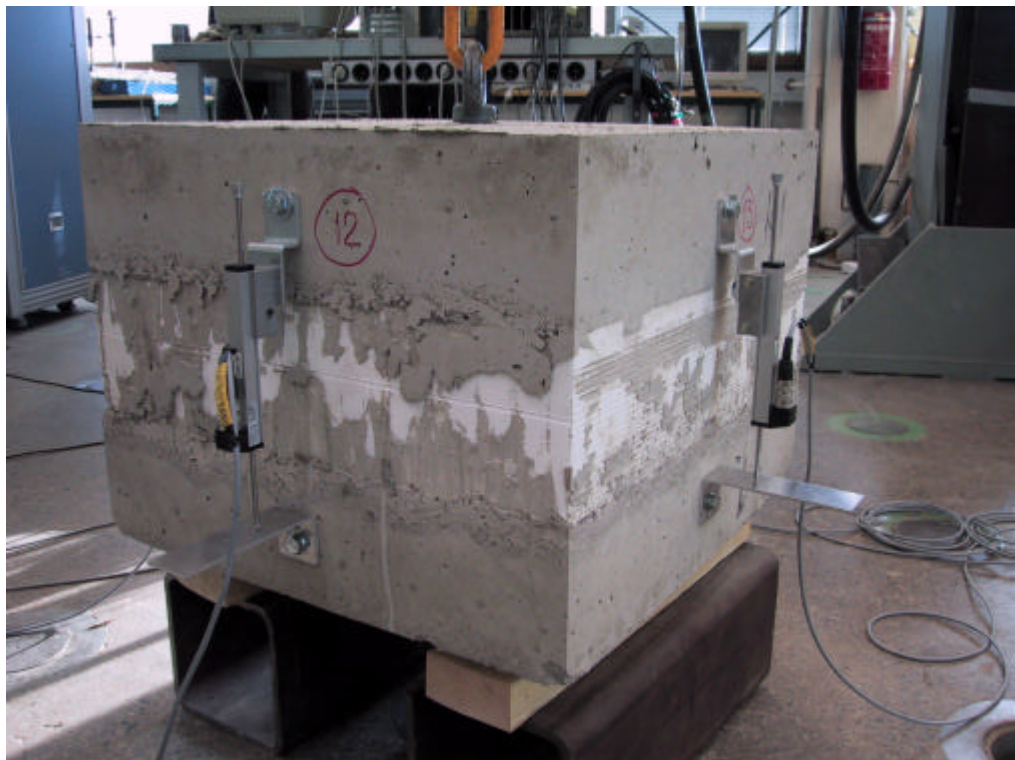


1. Koekappaleet

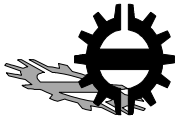
Koekappaleet valmistettiin Parma Betonilan Forssan tehtaalla ja toimitettiin Talonrakennustekniikan laboratorioon. Koekuormitukset tehtiin kahdesta eri toimituserästä. Ensimmäisillä koekappaleilla K1 ja K2 verrattiin lankaleikatun ja toisaalta jyrsityn uran toimintaa. K1 ja K2 kuormitukset tehtiin 23.10.2000. K1-koekappaleen eristeen uritus oli tehty jyrsimellä ja K2-koekappaleen uritus kuumalankaleikkurilla. Koekappaleiden paino oli 271 kg ja kuormitus-pinta-ala $600 \times 600 \text{ mm}^2$. Toisilla koekappaleilla K11.1-K11.5 tutkittiin jyrsimellä tehdyn lohenpyrstöuran toimintaa ja vertailukoekappaleella K12.1 urittamattoman rakenteen toimintaa. Koekuormitukset tehtiin 22.-23.1.2001.

2. Kuormitus

Koekappaleet kuormitettiin betonilaattojen keskikohdille asennettujen sisäkierrehylsyjen välityksellä. Koekuormituksessa kuormituslaitteistoa ajettiin siirtymäohjattuna nopeudella 1,3 mm /min (sis. kuormituskehän muodonmuutoksen). Koekappaleen reunalta mitattu siirtymä oli tällöin noin 0,23 mm/min. Koejärjestely on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Lähikuva koekappaleen K1 kuormituksesta. Siirtymämittaus tehtiin koekappaleen sivujen keskipisteistä.



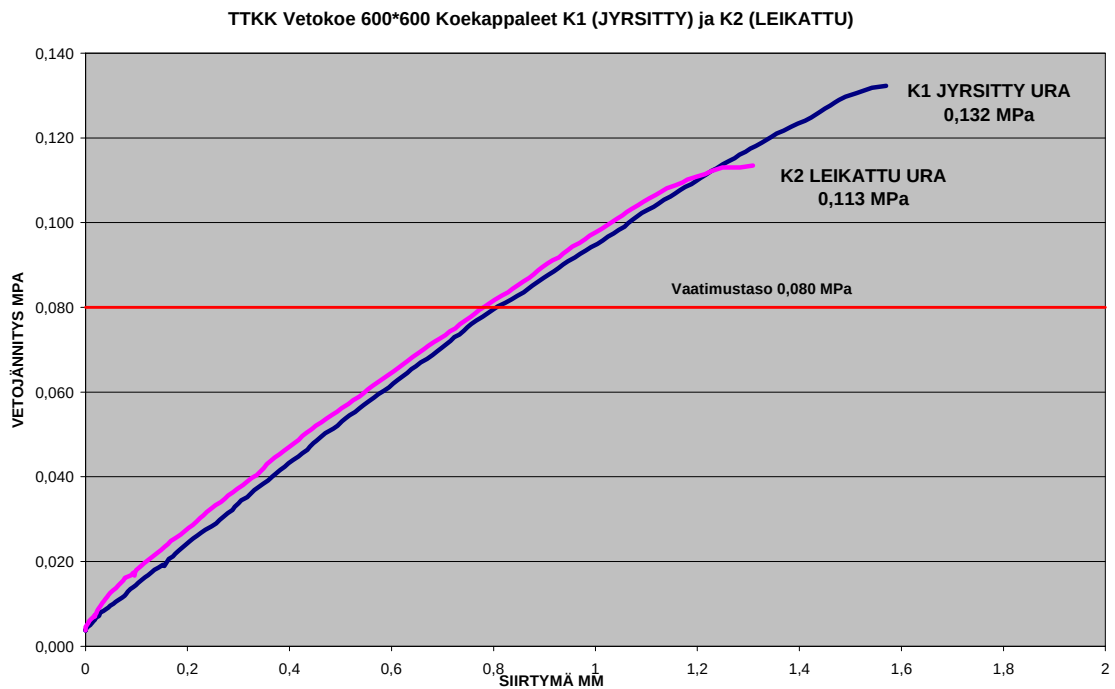
3. Mittaukset

Kuormituskokeessa mitattiin koekappaleen sivujen keskipisteistä betoni-kuorien etäisyyden muutosta, vetolaitteiston tunkin tunkin voima ja siirtymä (sisältää myös kuormituskehän muodonmuutoksen). Ensimmäisessä koesarjassa anturit mitattiin 2 s välein (vastaa reunasiirtymänä 0,007 mm) ja jälkimmäisessä koesarjassa 4 s välein (vastaa reunasiirtymänä 0,015 mm).

4. Koetulokset

4.1 Jyrsityn ja leikatun uran vertailu

Koekappaleiden reunasiirtymän keskiarvo ja vastaava koko pinta-alalle laskettu vetojännitys on esitetty kuvassa 2.



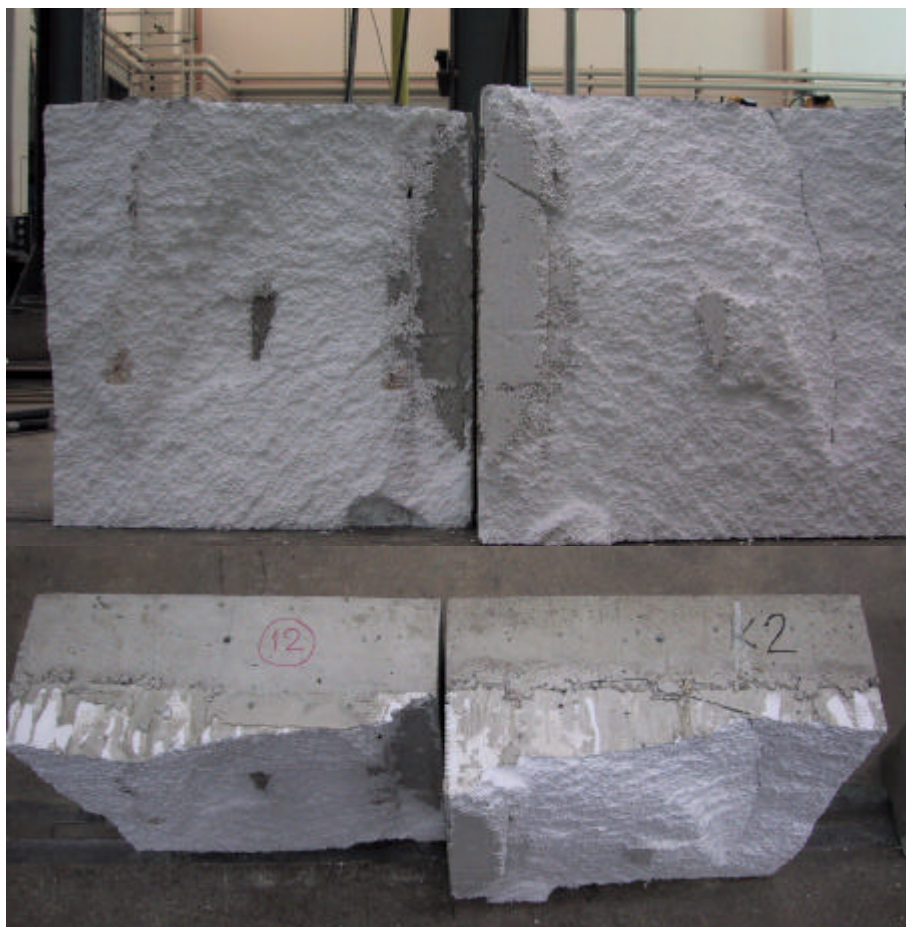
Kuva 2. Koekappaleiden K1 ja K2 siirtymän ja vetojännityksen mitaustulokset.

Koekappaleissa murtopinta oli valtaosaltaan EPS eristeessä ja sen sijainti vaihteli lähes koko eristekerroksen paksuudella. Molempien koekappaleiden reunalla urien välisellä lankaleikatulta sileältä alueelta oli hieman betonipintaa näkyvissä. Urien pohjaa oli vain vähän näkyvissä murtopinnalla. Paljastuneissa betonipinnoissa ei ollut havaittavissa raudoituskorokkeita.

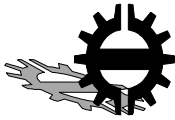
Mielenkiintoinen seikka oli sementtiliiman tunkeutuminen EPS-helmien lomaan jopa 10 mm syvyyteen. Koekappaleiden K1 ja K2 murtopinnan rakennetta on esitelty seuraavissa kuvissa.



Kuva 3. Koekappaleen K1 murtopinna yleiskuva. Betonipintaa ja uria on väin vähän näkyvissä.

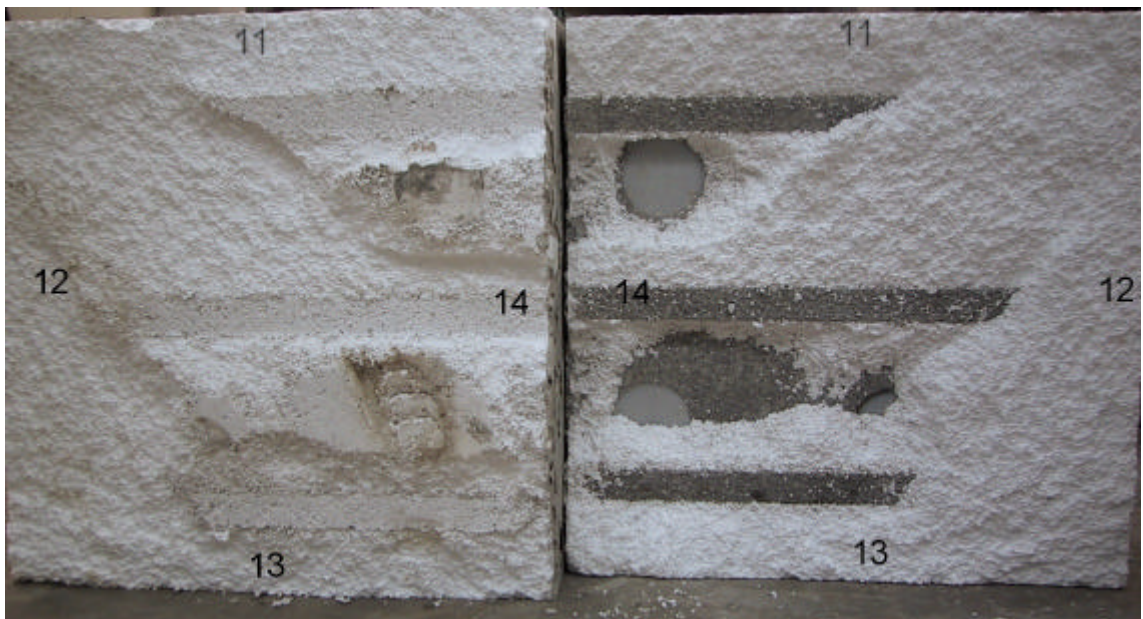
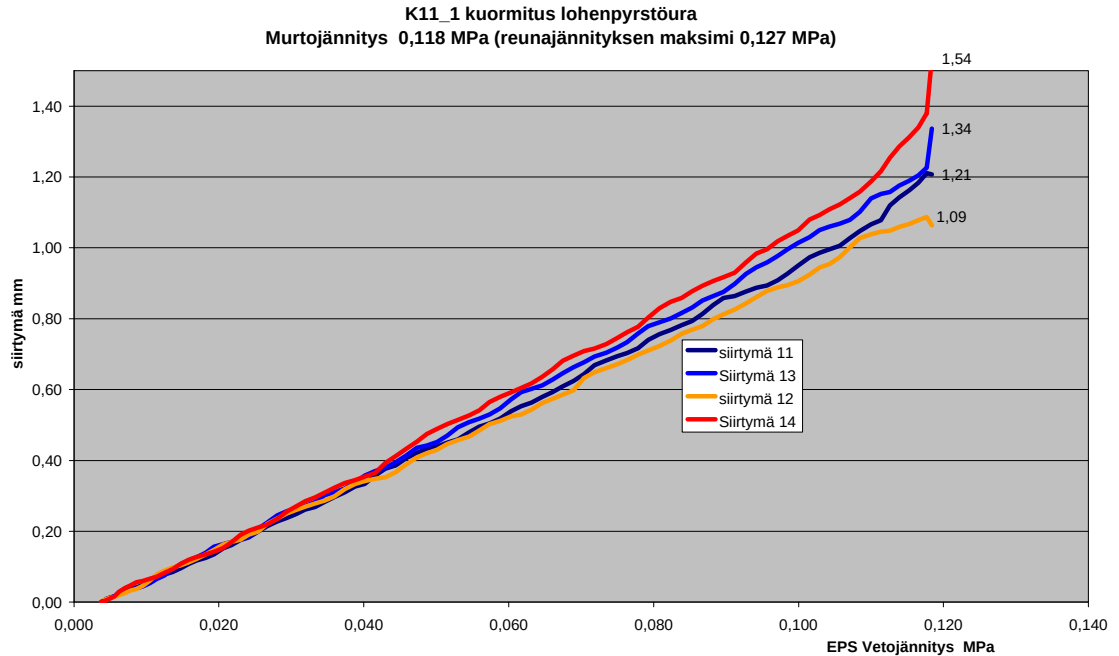


Kuva 4. K2 murtopinnan muoto. Oikealla olevan kappaleen murtopinta haarautuu toiseen betonipintaan. Varsinaisten urien kohtaa ei tässäkään näytteessä ole kovin paljoa nähtävissä.

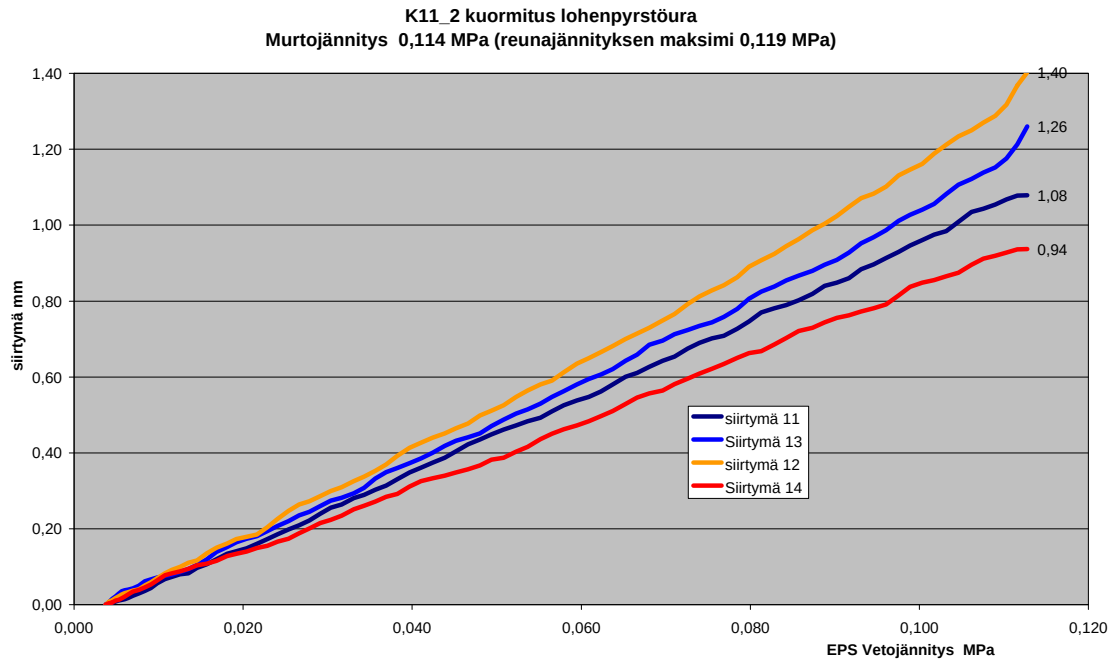
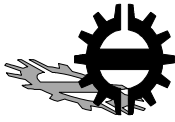


4.2 Lohenpyrstöuran ja urittamattoman elementin vertailu

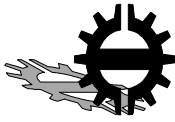
Mittaustulokset on esitetty vetojännitys-siirtymäkuvaajina ja murtopintakuva-pareina.



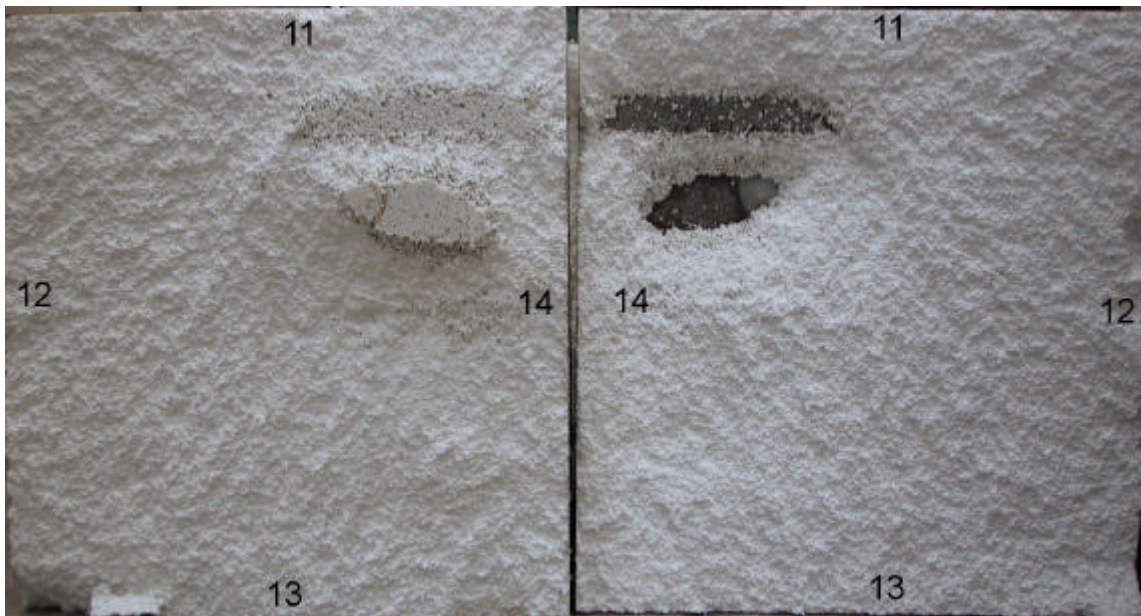
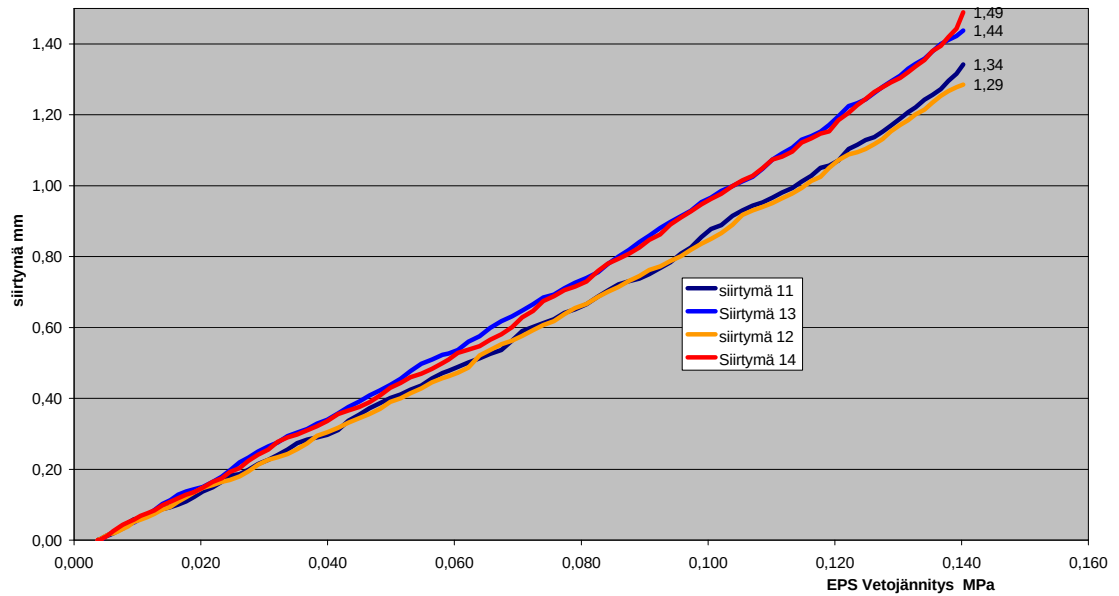
Kuva 5. Elementin K11.1 jännitys-muodonmuutos-kuvaaja sekä murtopinnan yleiskuva. Kuvaan on merkitty siirtymäanturien sijainti. Halkaisijaltaan 90 mm raudituskorokkeen pohjat muodostivat tartunnattoman kohdan, joka pienensi murtokuormaa ja lisäsi koekappaleen epäkeskisyyttä. Vetopulttien epäkeskisyyden aiheuttama reunajännityksen maksimi 11-12 kulmassa oli 7,5 % suurempi kuin koko pinta-alalle (600*600) laskettu vetojännitys.



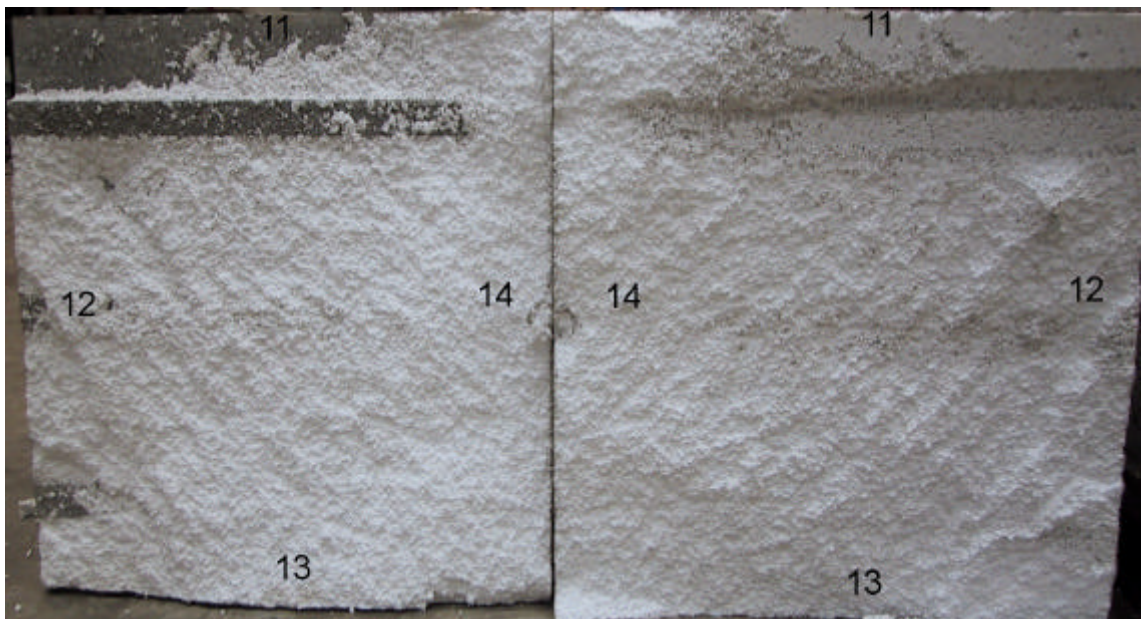
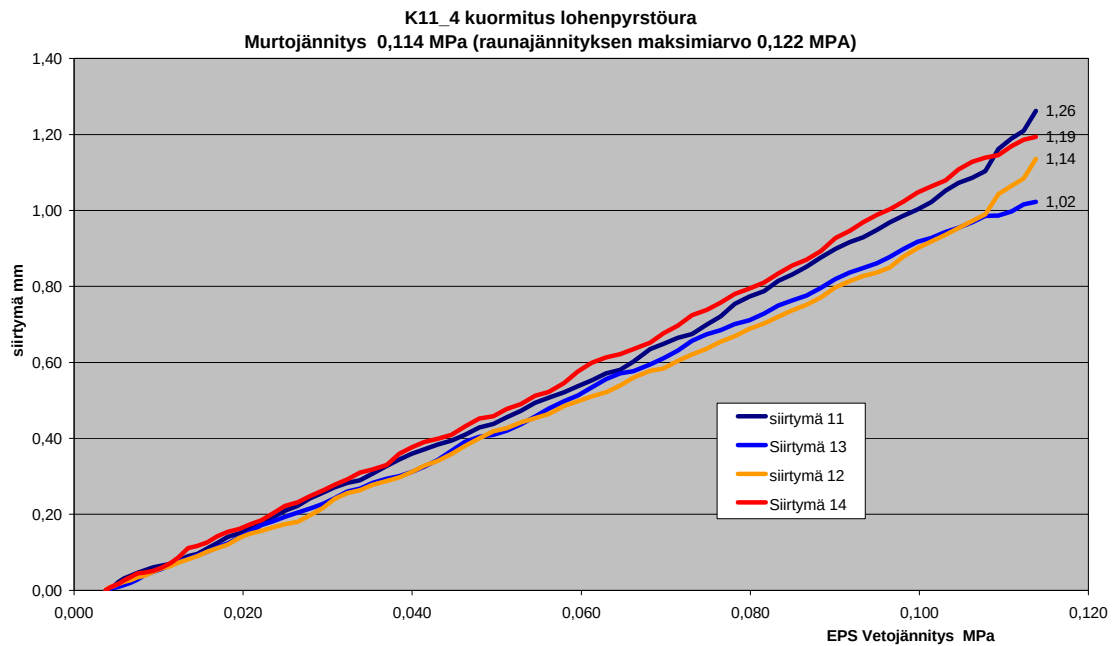
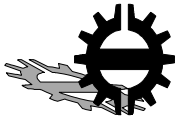
Kuva 6. Elementin K11.2 jännitys-muodonmuutos-kuvaaja sekä murtopinnan yleiskuva. Kuvaan on merkitty siirtymäanturien sijainti. Halkaisijaltaan 90 mm raudituskorokkeen pohjat muodostivat tartunnattoman kohdan, joka pienensi murtokuormaa ja lisäsi koekappaleen epäkeskisyyttä. Vetopulttien epäkeskisyyden aiheuttama reunajännityksen maksimi 13-14 kulmassa oli 4,5 % suurempi kuin koko pinta-alalle (600*600) laskettu vetojännitys.



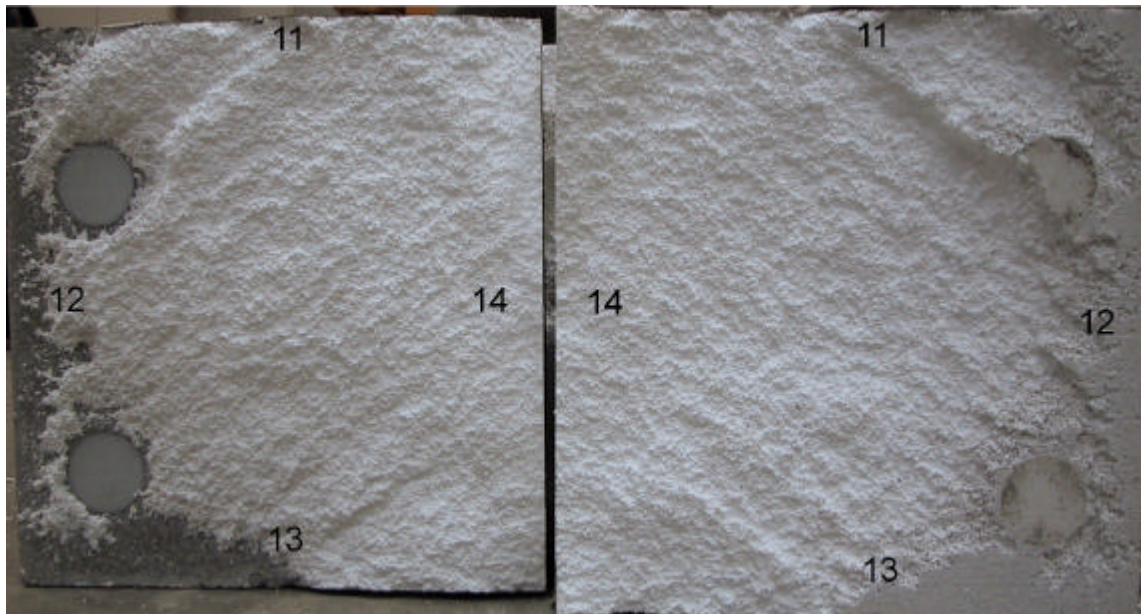
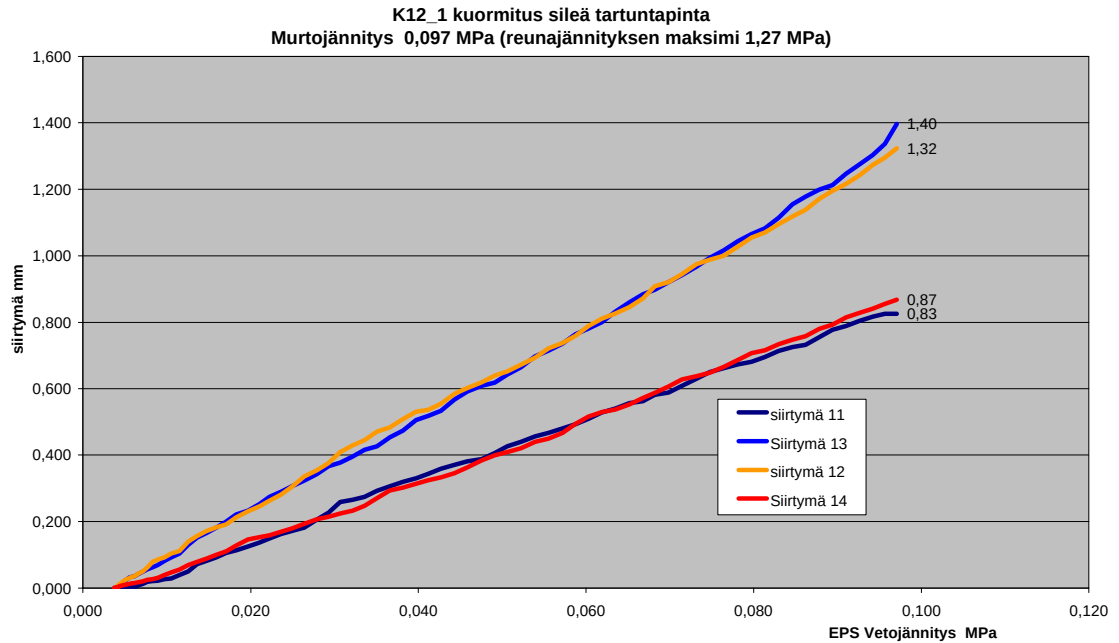
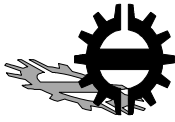
K11_3 kuormitus lohenpyrstöura
Murtojännitys 0,140 MPa (Reunajännityksen maksimi 0,144 MPa)



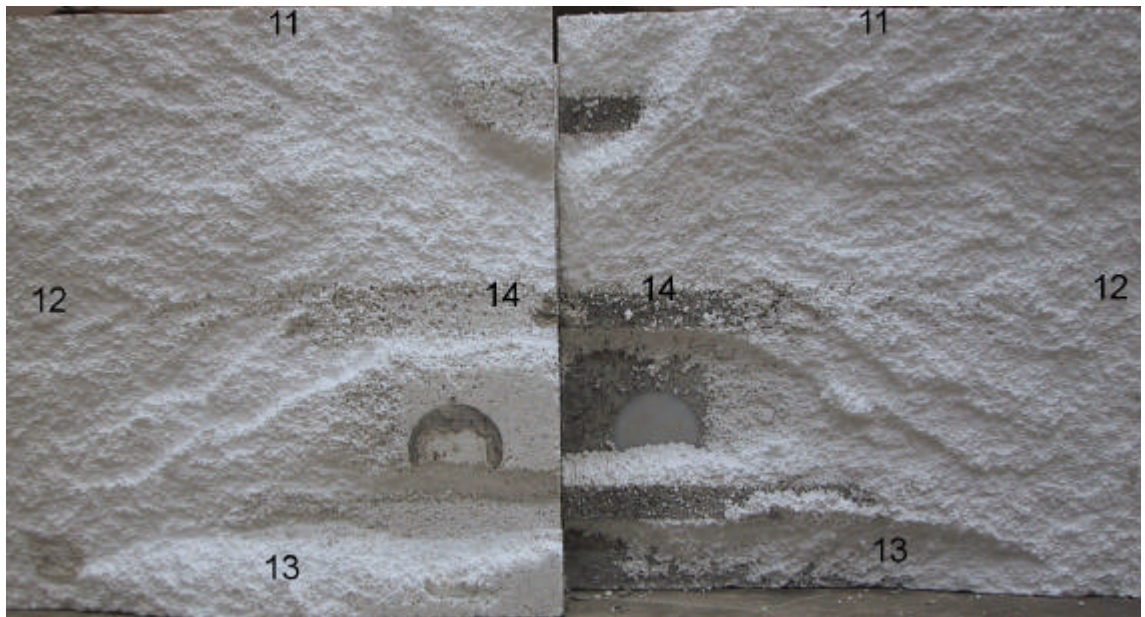
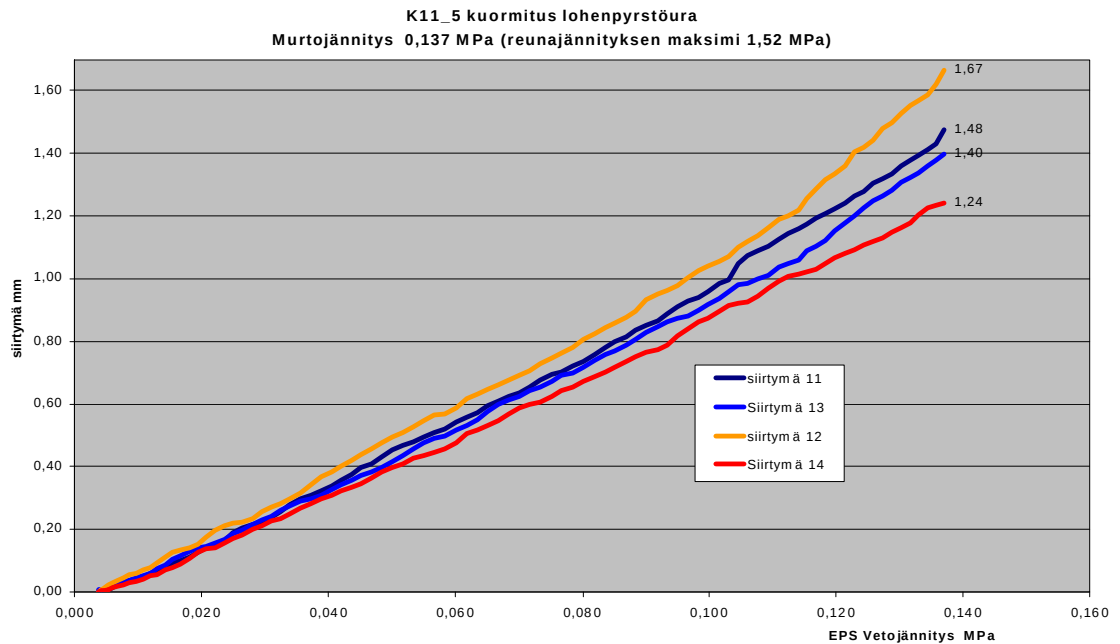
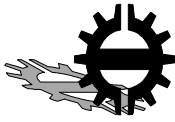
Kuva 7. Elementin K11.3 jännitys-muodonmuutos-kuvaaja sekä murtopinnan yleiskuva. Kuvaan on merkitty siirtymäanturien sijainti. Murtopinnalla näkyi vähän raudituskorokkeen pohjaa havaittavissa ja vetopultit olivat erittäin keskeisesti, joten reunajännityksen maksimiarvo oli sivulla 11 vain 3 % suurempi kuin koko pinta-alalle laskettu vetojännitys.



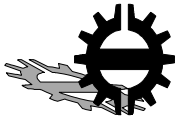
Kuva 8. Elementin K11.4 jännitys-muodonmuutoskuvaaja sekä murtopinnan yleiskuva. Kuvaan on merkitty siirtymäanturien sijainti. Murtopinnalla ei ollut raudoituskorokkeiden pohjia havaittavissa ja vetopultit olivat melko keskeisesti, joten reunajännityksen maksimiarvo 12-13 kulmassa oli % suurempi kuin koko pinta-alalle laskettu vetojännitys.



Kuva 10. Urittamattoman vertailuelementin K12.1 jännitys-muodonmuutoskuvaaja sekä murtopinnan yleiskuva. Kuvaan on merkitty siirtymäanturien sijainti. Murtopinnalla oli havaittavissa kaksi raudituskorokkeen pohjaa. Vetopulttien epäkeskisyydestä aiheutuva reunajännityksen maksimiarvo 11-14 kulmassa oli 25 % suurempi kuin koko pinta-alalle laskettu vetojännitys. Tämä johtui siitä että toisen betonikuoren pinnalla vetopultin poikkeama keskipisteestä oli peräti 30 mm!



Kuva 9. Elementin K11.5 jännitys-muodonmuutoskuvaaja sekä murtopinnan yleiskuva. Kuvaan on merkitty siirtymäanturien sijainti. Murtopinnalla oli havaittavissa yksi raudituskorokkeen pohja. Vetopulttien epäkeskisyydestä aiheutuva reunajännityksen maksimiarvo sivulla 14 oli 11 % suurempi kuin koko pinta-alalle laskettu vetojännitys.



4.3 Tartuntapinnan laatu yleisesti

Kummankin koesarjan elementeissä voitiin havaita EPS-helmien väliin tunkeutunutta sementtiliimaa jopa 10 mm syvyydellä eristeessä.

Halkaisijaltaan 90 mm raudituskorokkeiden pohjalevyt alensivat joidenkin koekappaleiden tartuntalujuuksia. Alenema olisi vähintään pinta-alojen suhteessa eli n. 2 % raudituskoroketta kohden käytetyllä 600*600 veto-koekappaleella. Tartunnattomien kohtien aiheuttama kuorman epäkeskisyys lisää vielä tartunnattoman kohdan vaikutusta.

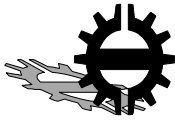
Jos murtopinta oli kauttaaltaan eristeessä olivat murtojännityksetkin suurempia.



Kuva 11. Lähikuva elementin K2 uran ja sileän kohdan kautta kulkevasta murtopinnasta. Sementtiliimaa on tunkeutunut jopa 10 mm syvyyteen EPS-helmien joukkoon.

5. Betonin puristuslujuus

Ensimmäisen mittaussarjan eli elementtien K1 ja K2 mukana toimitetusta 100*100*100 betonikuutiosta 24.10.2000 mitattu puristuslujuus oli K 26,5 MN/m². Toisen koesarjan eli elementtien K11.1-K11.5 ja K12.1 betonin lujuutta ei mitattu.



6. Yhteenveto koetuloksista

Kaikki kuormitustulokset ylittivät arvon 0,080 MPa selvästi. Tämä raja on asetettu eurooppalaisessa ohjeluonnoksessa "EOTA Draft ETAG No 004 June 1999 Guideline for European Technical Approval of EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS WITH RENDERING".

Murtopinta oli pääasiassa eristekerroksessa, eikä urituksen tekotapa (lankaleikkaus / jysintä) tai uran muoto (suora / lohenpyrstö) suurella 600*600 mm² koekappalekoolla vaikuttanut oleellisesti vetolujuuteen.

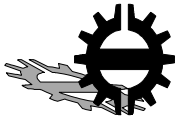
Vetolujuuteen vaikutti selvästi kuormituspuoltien havaittu epäkeskisyys, joka kasvatti reunajännitystä 3-25 % koko pinta-alalle lasketusta keskimääräisestä vetojännityksestä.

7. Muuta huomioon otettavaa

Tämä väliraportti sisältää yhteenvedon suurten 600*600 vetokoekappaleiden tartuntakokeista, joilla tutkittiin EPS-eristeen päälle valetun betonin ja EPS-eristeen tartuntaa.

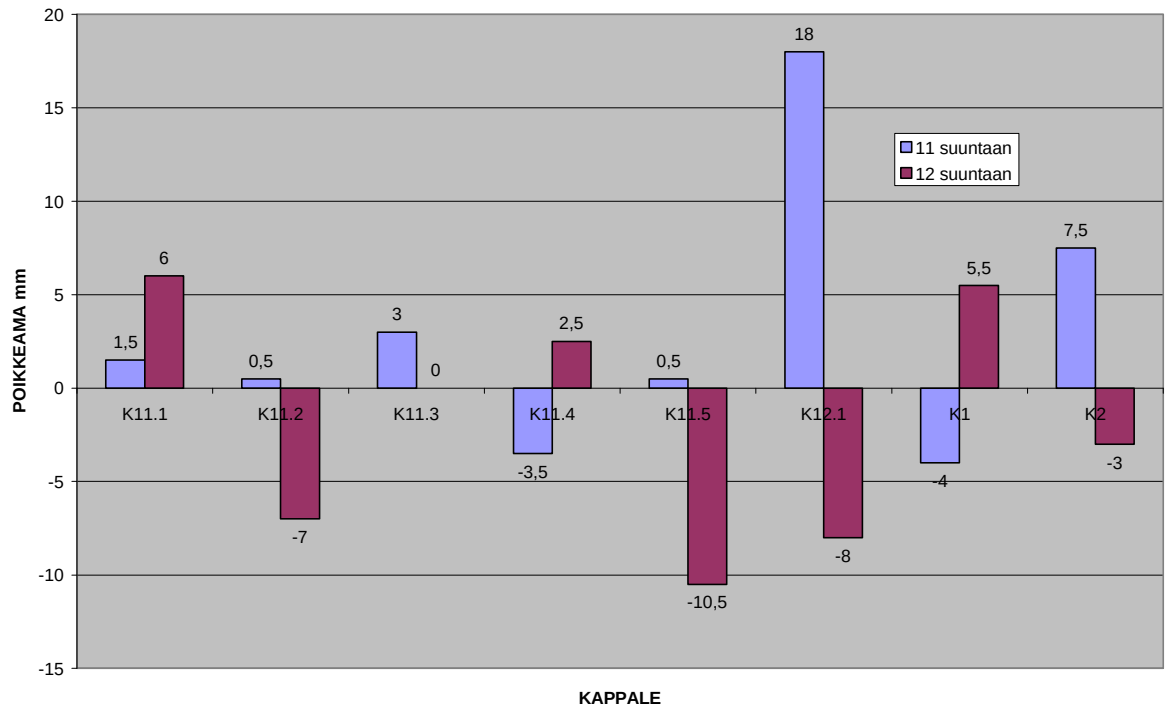
Tampereella 29.1.2001

Pekka Kokko
Tutkija, diplomi-insinööri

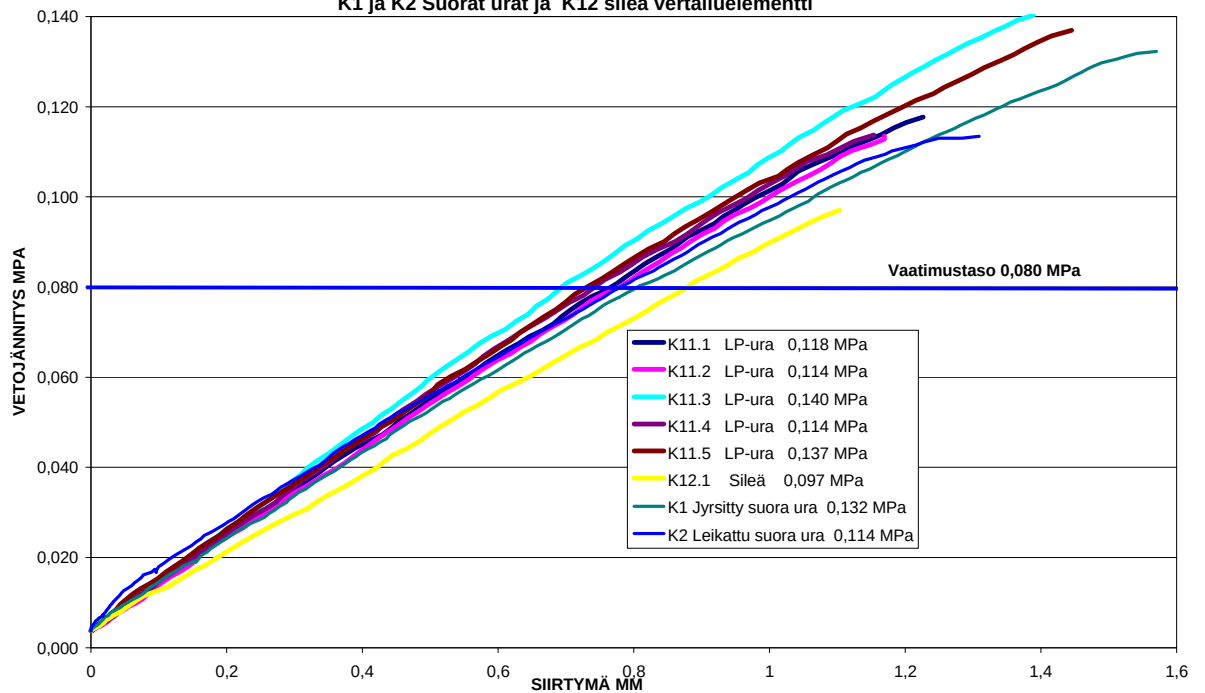


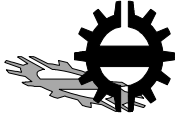
Liite: Kaikkien koekappaleiden jännitys-muodonmuutoskuvaaja ja kuormituksen epäkeskisyys EPS-eristeen keskitasossa

Mittapoikkeama keskipisteestä EPS keskitasolla

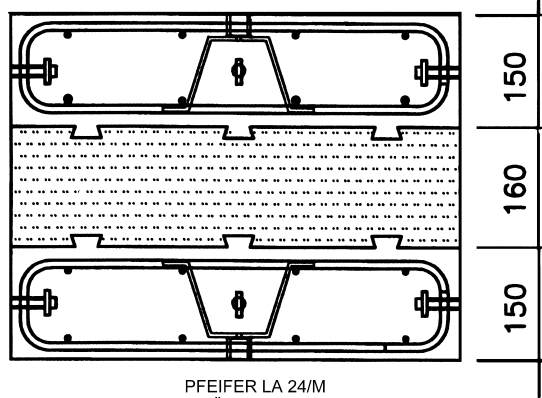


TTKK Vetokoe 600*600 Koekappaleet K11/1-5 lohennysohjeet
K1 ja K2 Suorat urat ja K12 sileä vertailuelementti





BETONITARTUNTA- KOEKAPPALE 600*600



PFEIFER LA 24/M
SISÄKEIRREANKKURIT

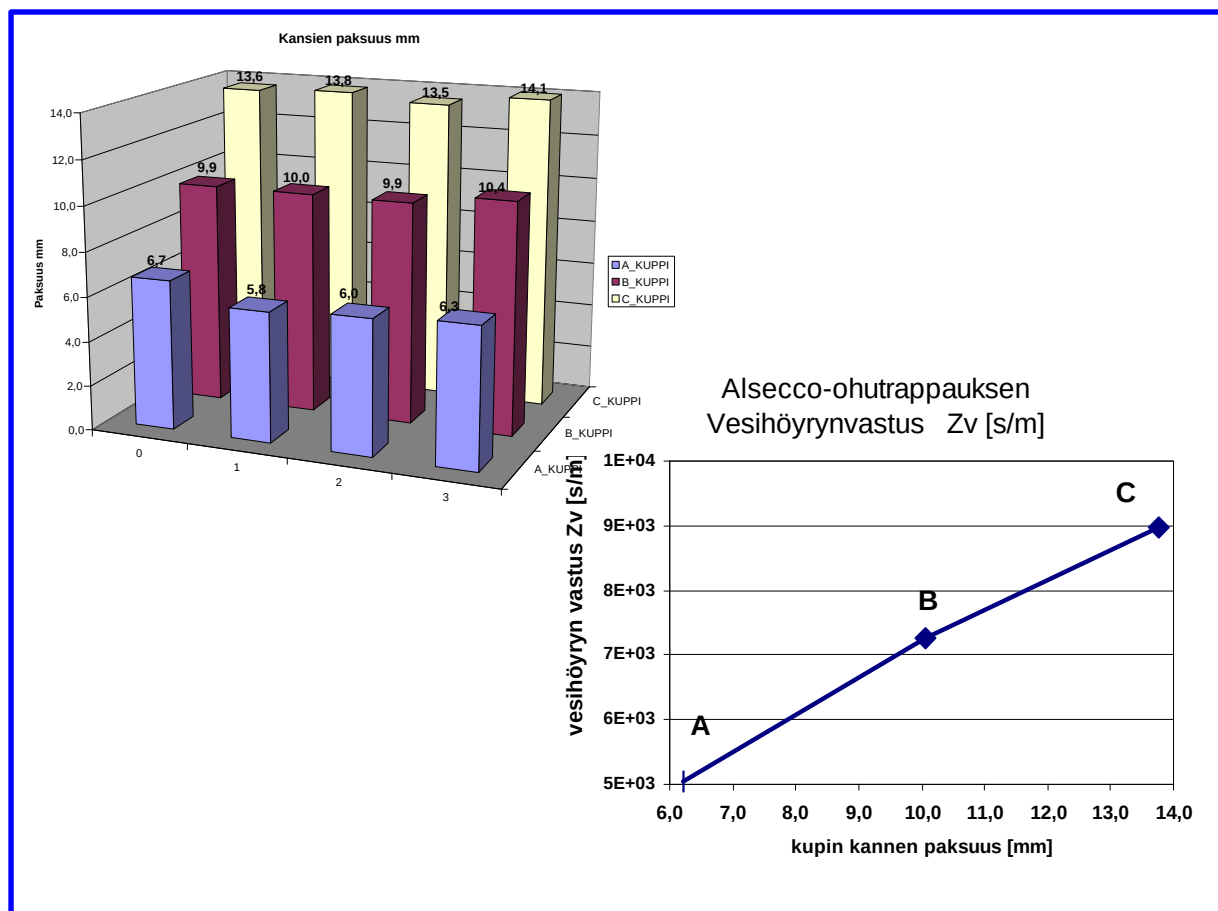


Pekka Kokko

Ralf Lindberg

EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN EDELITYKSET UUDISRAKENTAMISESSA BETONIELEMENTTIRAKENTEISEN SISÄKUOREN YHTEYDESSÄ

Liite 2: Alsecco-ohutrappauksen vesihöyryn- vastuskokeet ja laastin kapillaarinen vedenimu



TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennustekniikan osasto
Talonrakennustekniikan laboratorio

Tutkimusselostus 1006/2001 4.6.2001

Pekka Kokko, Ralf Lindberg

Tilaaajat: NCC Finland Oy
Parma Betonila Oy
Thermisol Finland Oy

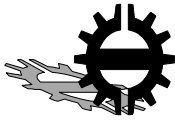
Yhteys: Kari Kiviluoma NCC Finland Oy
Jönsaksentie 4
01600 VANTAA

Tilaus: Kirjallinen 8.9.2000

Tehtävä: Selvittää EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytyksiä uudisrakentamisessa betonielementtirakenteisen sisäkuoren yhteydessä. Ohutrappauksen vesihöyrynvastuksen mittaaminen kuppikokeilla ja ohutrappauksen kapillaarinen vedenimun mittaamien vesiupotuskokeilla.

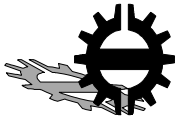
Tutkimusryhmä:

**Pekka Kokko
Huone RL213
PL 600
33101 TAMPERE
puh: 03 3652881**



Sisällysluettelo

SISÄLLYSLUETTELO	3
1. RAPPauksen VESIHÖYRYNVASTUSKOKEET	4
1.1 KUPPIKokeen MUUTTujAT	4
1.2 KUPPIKokeen TULOKEt	6
1.3 TULOStEN KÄYTTÖ	9
2. KAPILLAARISEN VEDENIMUN KOE	9

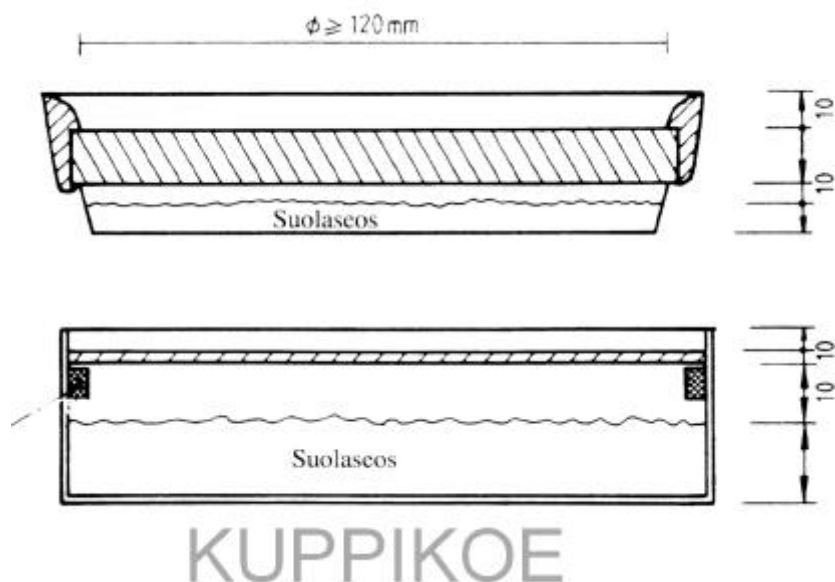


EPS-ohutrappausjärjestelmän lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen. Alsecco-ohutrappauksen vesihöyrynvastuskokeet ja laastin kapillaarinen vedenimu.

KUPPIKOEET

1. Rappauksen vesihöyrynvastuskokeet

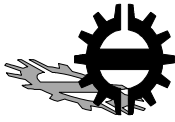
Pintalaastikerroksen vesihöyrynvastus vaikuttaa rakenteen kosteustilaan. Rakenteen läpi poistuvan rakennekosteuden määrä on suuri joten pinnan vesihöyrynvastuksen todellisen arvon tunteminen on tärkeää. Laastipinnoituksen kerrospaksuus ei todennäköisesti ole vakio koko julkisivulla, joten vesihöyrynvastuksia tutkitaan myös ylittävillä kerrospaksuuksilla. Kokeet tehtiin vakiokosteushuoneessa ns. kuppi-kokeilla kolmella rinnakkaisella koekappaleella, kuva1.



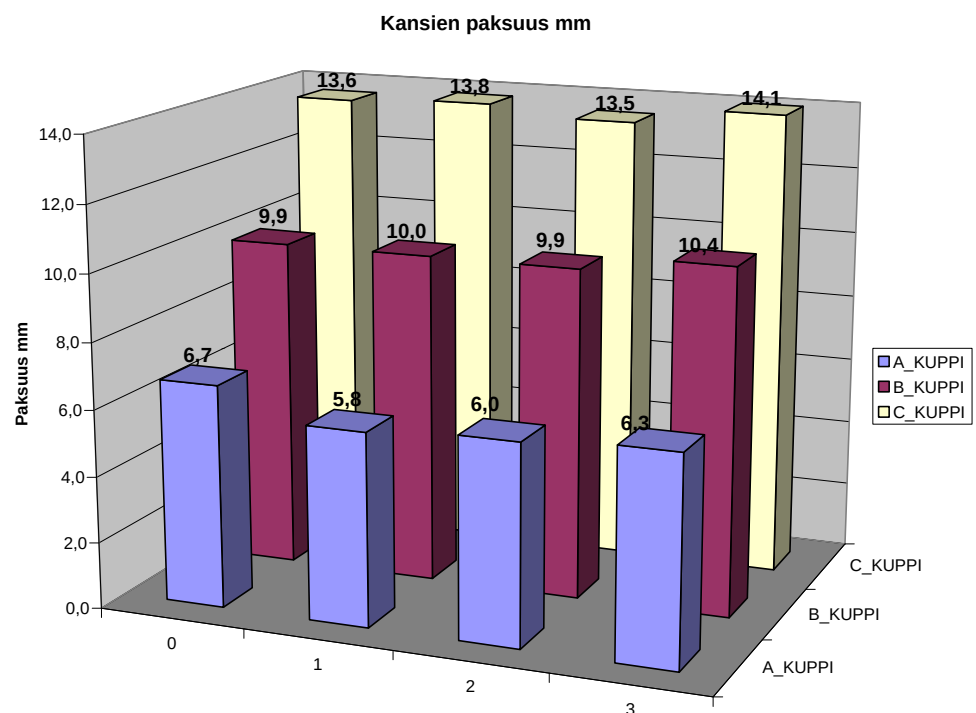
Kuva1. Kuppikokeen periaatekuva. Tutkittava materiaalikerroks on kylläisen suolaliuoksen stabiloimissa RH-olosuhteissa. Koekappaleen pinta-ala voi enintään olla noin 500*500 mm. Kokeessa käytettiin halkaisijaltaan 200 mm koekuppeja.

1.1 Kuppikokeen muuttujat

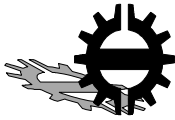
Kuppikokeilla tutkittiin ohutrappauksen **kerrospaksuuden** vaikutusta pintalaastikerroksen vesihöyryndiffuusiovastukseen. Kokonaiskerroksen (verkotuslaasti+pintalaasti) paksuus oli joko 6, 10 tai 13 mm, josta verkotuslaastin osuus 3 mm.



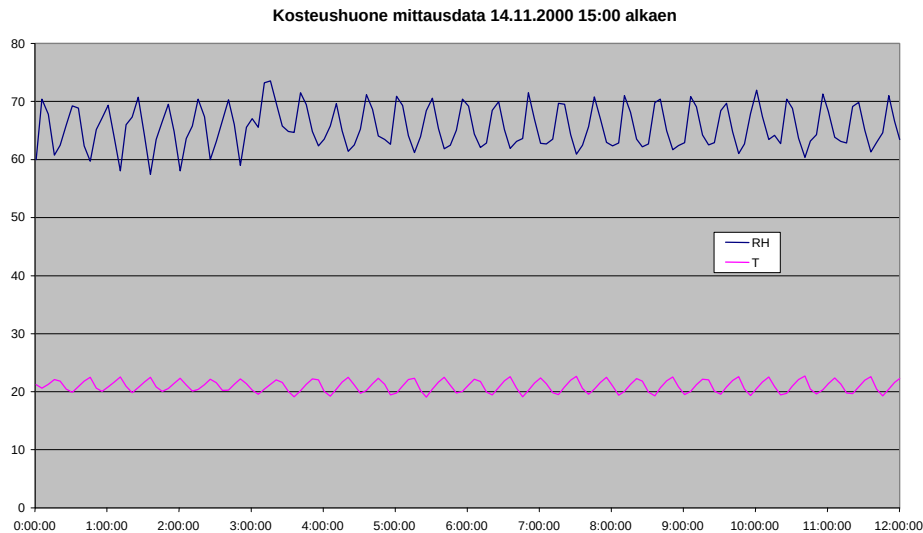
Kuva 2. Koekuppien kansien valmistusta. Muotissa on verkotuslaastia n. 3 mm kerros. Pintalaastin levitystä varten kovettunutta verkotuslaastikerrosta on laskettu 3, 6 ja 9 mm syvyyteen muotin reunasta.



Kuva 3. Koekuppien kansien keskimääräinen paksuus mm.



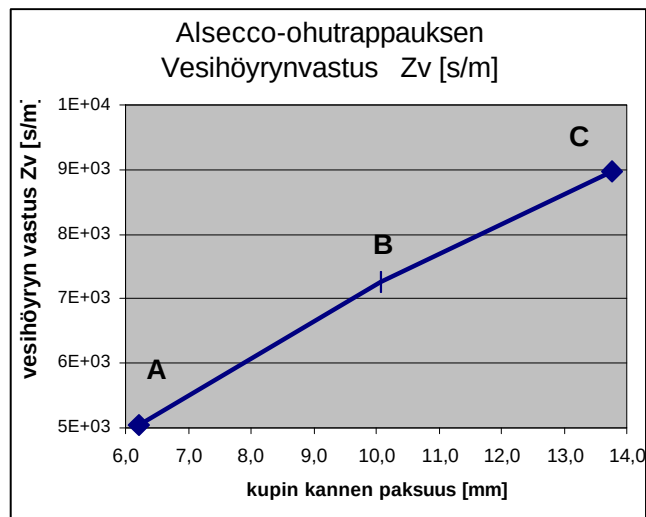
Kosteusolosuhde kupin sisällä oli noin RH 100 % (tislattu vesi) ja **kosteusolosuhde ulkopuolella** noin RH 65-70 % ja myöhemmin RH 47 % (kosteushuoneen säädön puitteissa) lämpötila kokeen aikana oli noin 21 °C (kosteushuoneen säädön puitteissa), kuva 4.



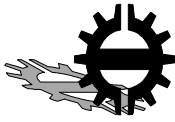
Kuva 4. Kosteushuoneen säilytysolosuhteet 12 h ajalta 15-15.11.2000.

1.2 Kuppikokeen tulokset

Laastikerroksen vesihöyryn diffuusiovastus oli hyvin alhainen verrattuna betonisen sisäkuoren tai EPS-eristeen diffuusiovastukseen, mikä on erittäin hyvä asia rakenteen kosteufysikaalisen toiminnan kannalta, kuva 5.



Kuva 5. Kuppikokeella A-,B- ja C-kupeille (kannen paksuudet 6, 10 ja 13 mm) mitattuja vesihöyrynvastuksia Z_v [s/m].



Kuivemmissa ilmasto-olosuhteissa laastikerrosten diffuusiovastukset ovat hieman suurempia, mutta kuitenkin edelleen hyvin alhaisia muiden EPS-eristeisen betonielementtiseinän rakennekerrosten diffuusiovastuksiin verrattuna. Koekuppien keskiarvoina lasketut ohutrappauskansien vesihöyrynvastukset (Z_v) ja -läpäisy sekä kannen kerrospaksuudelle laskettu läpäisevyysarvo (d_v) on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Kuppikokeen vesihöyrynvastusarvot kun kupin ulkopuoliset olosuhteet ovat 21 °C ja RH 65 %. Kupin sisäpuolella on tislattu vesi.

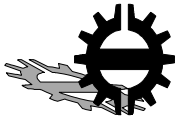
Olosuhde	arvo
Lämpötila kupin ulkopuolella	21
RH kupin ulkopuolella	65
Vesihöyrypitoisuus kupissa (u_s)	18,14
Vesihöyrypitoisuus ulkopuolella (u_u)	12,02
Vesihöyrypitoisuusero ($u_s - u_u$)	6,12

Ominaisuus	Yksikkö	A	B	C
kannen keskimääräinen paksuus L	[m]	0,0062	0,0101	0,0138
kannen pinta-ala A	[m ²]	0,0314	0,0314	0,0314
koeaika t	[s]	3708000	3708000	3708000
kupin painon muutos Dm	[kg]	0,14645	0,0978175	0,082765
kosteusvirrantiheys $g = Dm / (t \cdot A)$	[kg/m ² s]	1,26E-06	8,40E-07	7,10E-07
höyrynläpäisy $g / (u_s - u_u) = (1 / Z_{kok})$	[kg/m ² s(kg/m ³)] = [m/s]	2,05E-04	1,37E-04	1,16E-04
Kannen höyrynvastus Z_{kok}	[m ² s(kg/m ³)/kg] = [s/m]	4,9E+03	7,3E+03	8,6E+03
Kannen läpäisevyys $d_v = L / Z_{kok}$	[m kg/m ² s(kg/m ³)] = [m ² /s]	1,27E-06	1,38E-06	1,60E-06

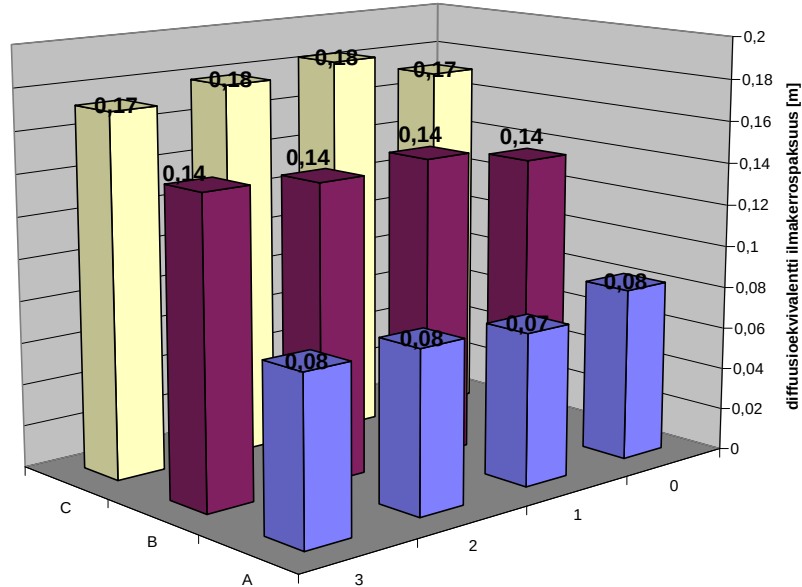
Taulukko 2. Kuppikokeen vesihöyrynvastusarvot kun kupin ulkopuoliset olosuhteet ovat 21 °C ja RH 47 %. Kupin sisäpuolella on tislattu vesi.

Olosuhde	arvo
Lämpötila kupin ulkopuolella	21
RH kupin ulkopuolella	47
Vesihöyrypitoisuus kupissa (u_s)	17,93
Vesihöyrypitoisuus ulkopuolella (u_u)	8,51
Vesihöyrypitoisuusero ($u_s - u_u$)	9,42

Ominaisuus	Yksikkö	A	B	C
kannen keskimääräinen paksuus L	[m]	0,0063	0,0101	0,0137
kannen pinta-ala A	[m ²]	0,0314	0,0314	0,0314
koeaika t	[s]	6483600	6483600	6483600
kupin painon muutos Dm	[kg]	0,3659	0,2653	0,2051
kosteusvirrantiheys $g = Dm / (t \cdot A)$	[kg/m ² s]	1,80E-06	1,30E-06	1,01E-06
höyrynläpäisy $g / (u_s - u_u) = (1 / Z_{kok})$	[kg/m ² s(kg/m ³)] = [m/s]	1,91E-04	1,38E-04	1,07E-04
Kannen höyrynvastus Z_{kok}	[m ² s(kg/m ³)/kg] = [s/m]	5,2E+03	7,2E+03	9,4E+03
Kannen läpäisevyys $d_v = L / Z_{kok}$	[m kg/m ² s(kg/m ³)] = [m ² /s]	1,21E-06	1,40E-06	1,47E-06

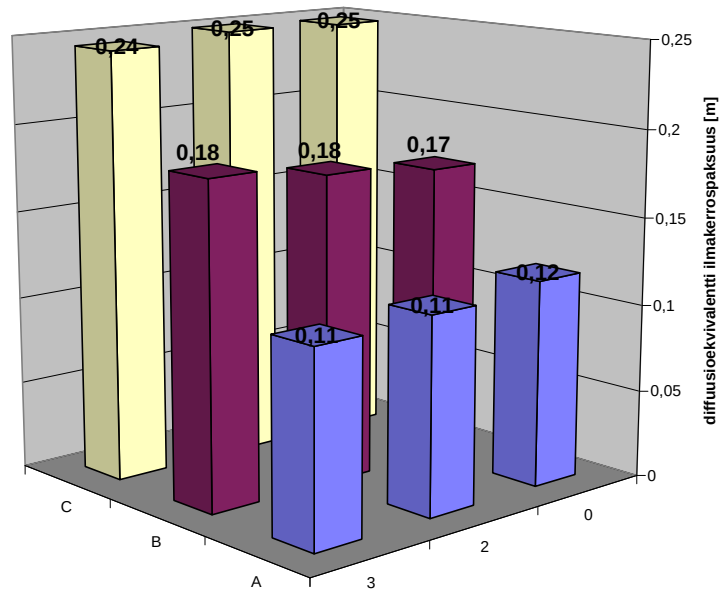


Diffuusioekvivalentti ilmakerrospaksuus [m] (Rhu=65%)

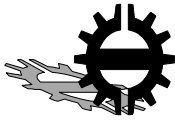


Kuva 6. Koekuppien vesihöyryn diffuusiovastus saksalaisen esitystavan s_d mukaisesti. Tässä mittauksessa koekupin ulkopuolinen ilman suhteellinen kosteus oli 65 %-RH.

Diffuusioekvivalentti ilmakerrospaksuus [m] Rhu=47 %



Kuva 7. Koekuppien vesihöyryn diffuusiovastus saksalaisen esitystavan s_d mukaisesti. Tässä mittauksessa koekupin ulkopuolinen ilman suhteellinen kosteus oli 47 %-RH.



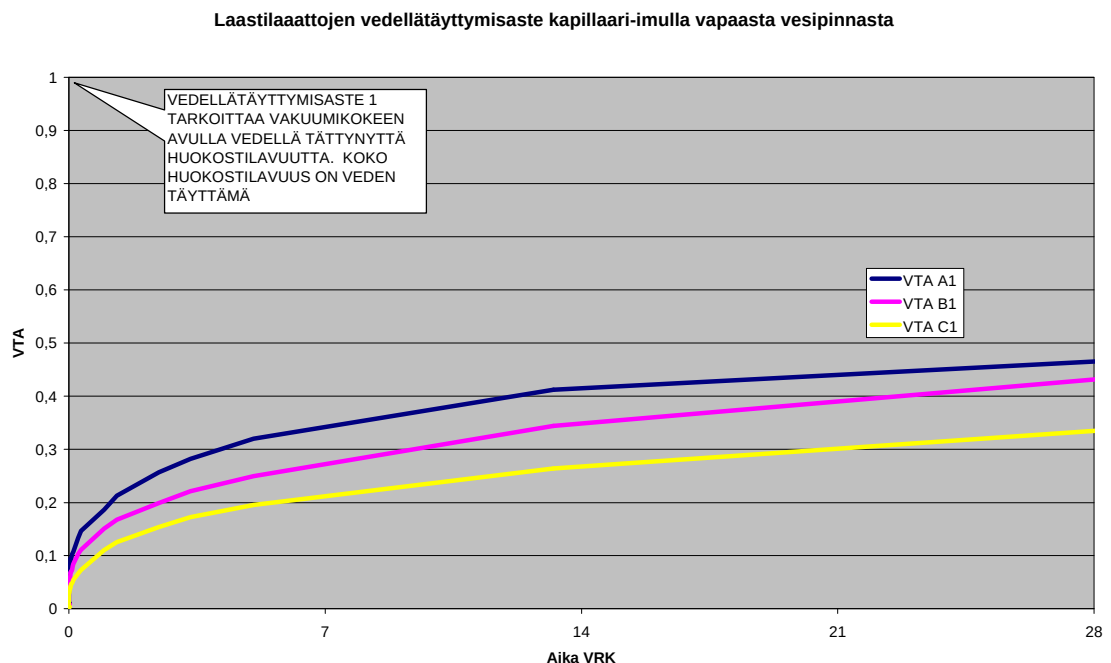
1.3 Tulosten käyttö

Teoreettisessa kosteusteknisessä tarkastelussa (Liite 3) käytettiin Alsecco-ohutrappaukselle kuppikokeella **mitattuja arvoja** varioiden taustan betonin diffuusiovastusta ja alkukosteutta.

2. Kapillaarisen vedenimun koe

Kapillaarinen kosteuden siirtyminen huokoisessa materiaalissa on usein kertaluokkaa nopeampaa kuin vesihöyryn siirtymisnopeus. Kovettuneen laastin vedellä täyttymisaste indikoi puolestaan epäsuorasti laastin pakkasenkestävyyttä.

Laastikerroksen kapillaarisen vedenimun koe tehtiin koekupeista irrotetuilla kansilla A1, B1 ja C1. Aluksi kannet kuivattiin ja niiden reunoihin tiivistettiin verkotuslaastin peittävä muovikerros. Muovikerroksen avulla estettiin koekappaleeseen kapillaarisesti imeytyvän veden haihtuminen huoneilmaan. Laastikansien pinnoitelaasti upotettiin noin 2 mm syvyiseen veteen, ja koekappaleiden painon muutosta seurattiin n. 30 vrk ajan. Tämän jälkeen kannet kuivattiin uudelleen ja niille tehtiin nk. vakuumikyllästys, jossa kannen huokostilavuus täytettiin vedellä alipainetta käyttäen.



Kuva 6. Koelaattojen huokosrakenteen täytyminen kapillaarisesti vapaasta vesipinnasta oli hidasta. Esimerkiksi betonin suoja-huokossuhdetta pidetään pakkasenkestävyyden suhteen riittävänä kun vedellä täyttymisaste on 0,75-0,8.

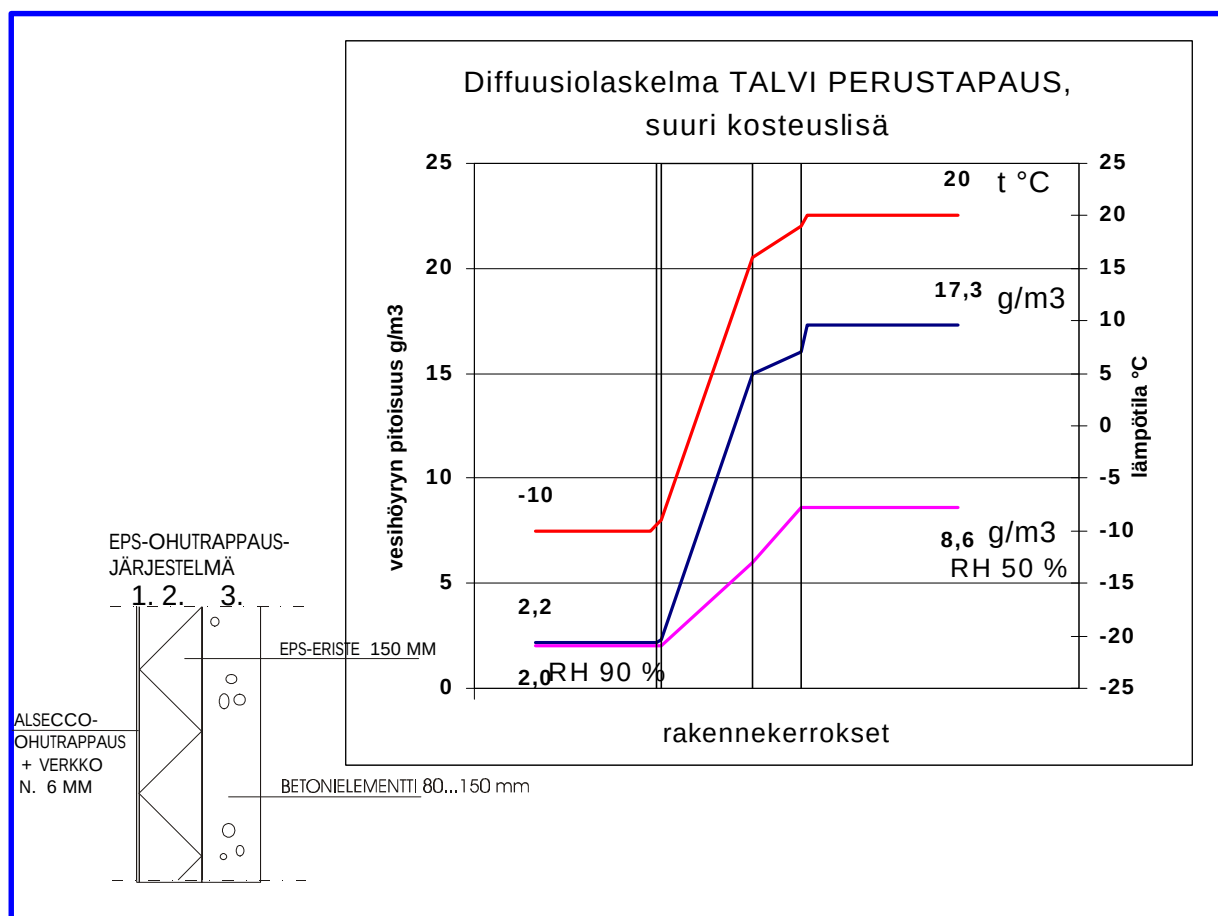


Pekka Kokko

Ralf Lindberg

EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN EDELLYTYKSET UUDISRAKENTAMISESSA BETONIELEMENTTIRAKENTEISEN SISÄKUOREN YHTEYDESSÄ

Liite 3: EPS-ohutrappausjärjestelmän lämpö- ja kosteustekninen toiminta



TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennustekniikan osasto
Talonrakennustekniikan laboratorio

Tutkimusselostus 1006/2001 4.6.2001

Pekka Kokko, Ralf Lindberg

Tilaajat: NCC Finland Oy
Parma Betonila Oy
Thermisol Finland Oy

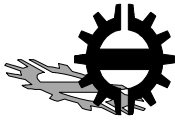
Yhteys: Kari Kiviluoma NCC Finland Oy
Jönsaksentie 4
01600 VANTAA

Tilaus: Kirjallinen 8.9.2000

Tehtävä: Selvittää EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytyksiä uudisrakentamisessa betonielementtirakenteisen sisäkuoren yhteydessä. Teoreettinen kosteustarkastelu.

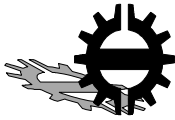
Tutkimusryhmä:

**Pekka Kokko
Huone RL213
PL 600
33101 TAMPERE
puh: 03 3652881**



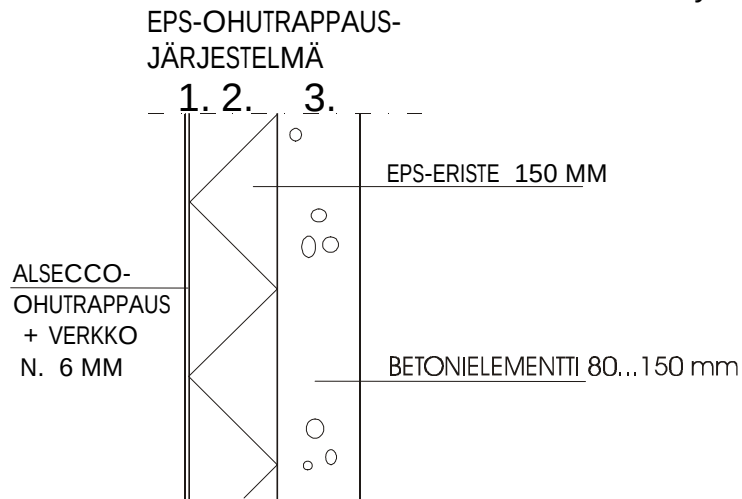
Sisällysluettelo

SISÄLLYSLUETTELO	3
EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN LÄMPÖ- JA KOSTEUSTEKNINEN KÄYTTÄYTYMINEN	4
1. YHTEENVETO TULOKSISTA	4
2.A PERUSTAPPAUS TALVI	6
2.B PERUSTAPPAUS KESÄ	7
2.C BETONIELEMENTIN RAKENNUSAIKAISEN KAPILLAARISEN VEDEN KUIVUMINEN	7
2.D BETONIELEMENTIN RAKENNUSAIKAISEN VEDEN KUIVUMINEN DIFFUUSIOILLA TALVELLA.....	8
2.E BETONIELEMENTIN RAKENNUSAIKAISEN VEDEN KUIVUMINEN DIFFUUSIOILLA KESÄLLÄ	9



EPS-ohutrappausjärjestelmän lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Seuraavassa on tehty EPS-Ohutrappausjärjestelmän teoreettinen lämpö- ja kosteustekninen tarkastelu sekä rakennusaikaisen kosteuden kuivuminen uudisrakennuksessa. Tarkastettava rakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Laskelmissa tarkastettava rakenne ulkoa päin on seuraava :

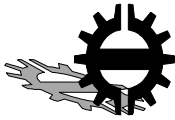
1. Alsecco-ohutrappauslaasti, laskelmat on tehty paksuudella 10 mm (yläarvo)
2. Lämmöneriste 150 mm EPS
3. Betonielementti 80 mm (rakennusaikaisen kosteuden tarkastelussa 150 mm)

1. Yhteenveto tuloksista

Karkeiden laskelmien perusteella voidaan päätellä seuraavaa:

1. Normaalitilanteen kosteusteknisessä toiminnassa ei ole ongelmaa ei kesällä eikä talvella. Rakenteeseen ei synny kondenssitilannetta talvella tai kesällä eikä muinakaan vuodenaikoina.
2. Rakennusaikainen kosteus kuivuu sekä sisään että ulos kaikkina vuodenaikoina aiheuttamatta rakenteen sisään kondenssia. Kondenssitila on vain muutaman viikon aikana valmistuksesta, kun nk. kapillaarisesti vapautuva vesi poistuu rakenteesta pääsääntöisesti sisäänpäin.
3. On syytä kuitenkin muistaa että rappauksen taakse ei muutoin saa joutua vettä esimerkiksi toimimattomista rakenneyksityiskohdista. Tämä aiheuttaa Suomen talviolosuhteissa aina ongelmia.

Edellä olevien päätelmien laskenta-arvot on otettu TTKK:n kokeista ja kirjallisuudesta. Todellisuudessa laskenta-arvoissa on paljon vaihtelua. Siten tulokset eivät ole tarkkoja, mutta suuntaa antavina niitä voi hyvin käyttää. Käytännön rakenteessa ei rakennusfysikaalisen toiminnan takia tule ongelmia.

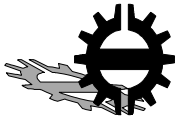


Materiaalien vesihöyrynvastusominaisuudet ovat laskelmissa seuraavat:

Materiaali	mm	Vesihöyrynvastus Z s/m
betoni	80	$120 \cdot 10^3$
EPS	150	$150 \cdot 10^3$
Alsecco	10	$10 \cdot 10^3$
YHTEENSÄ		$280 \cdot 10^3$

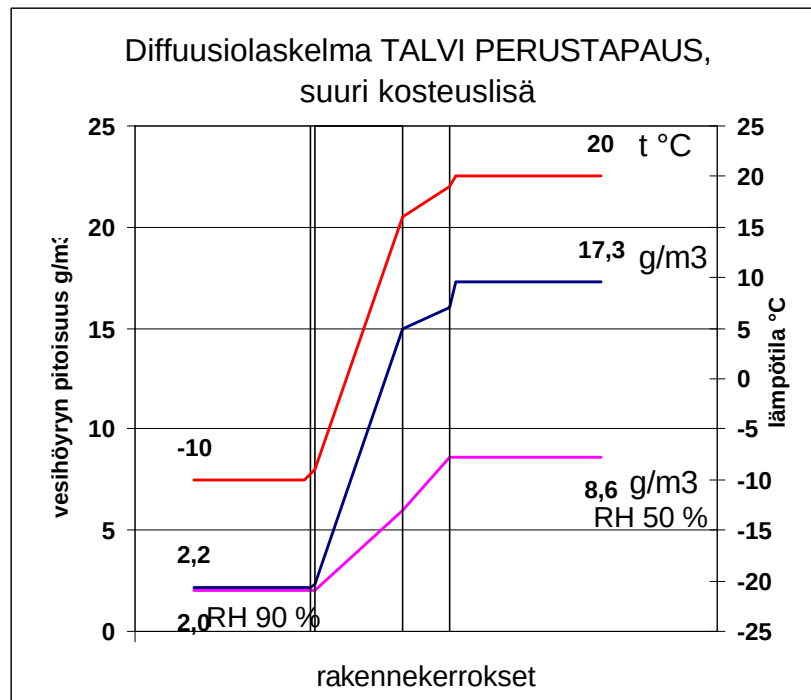
Edellä olevissa materiaaliominaisuuksissa on suuri vaihtelu. Laskelmissa on kuitenkin käytetty keskimääräisiä arvoja.

Seuraavassa on tarkemmin esitetty päätelmien taustana olevia laskelmia.



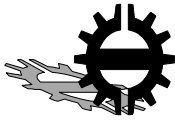
2.a Perustapaus talvi

Kuvassa 1 on esitetty lämpötilaoloiltaan normaalissa, mutta kosteusolosuhteiltaan ankarassa tilanteessa rakenteen lämpötilakäyrä (sisällä lämpötila on 20 °C). Lisäksi on piirretty lämpötilasta riippuva vesihöyryn kyllästyspitoisuuskäyrä (sisällä 17,3 g/m³). Yhteys lämpötilan ja vesihöyryn kyllästyspitoisuuden välillä ei ole lineaarinen. Erolla ei ole kuitenkaan merkitystä. Kolmantena on piirretty vesihöyryn todellinen pitoisuuskäyrä. Ulkopuolen suhteellinen kosteus 90 % on tavanomainen talviolosuhteissa. Sisäilman kosteuspitoisuus 8,6 g/m³ (RH 50 %) merkitsee, että kosteuslisä on noin 6,4 g/m³. Tämä on erittäin korkea kosteuslisä ja sen vuoksi laskelma on tehty ankarissa olosuhteissa.



Kuva 1. Rakenteen lämpötilakäyrä, lämpötilasta riippuva vesihöyryn kyllästyspitoisuuskäyrä ja materiaalien diffuusiovastuksesta riippuva vesihöyrynpitoisuuskäyrä talviolosuhteissa.

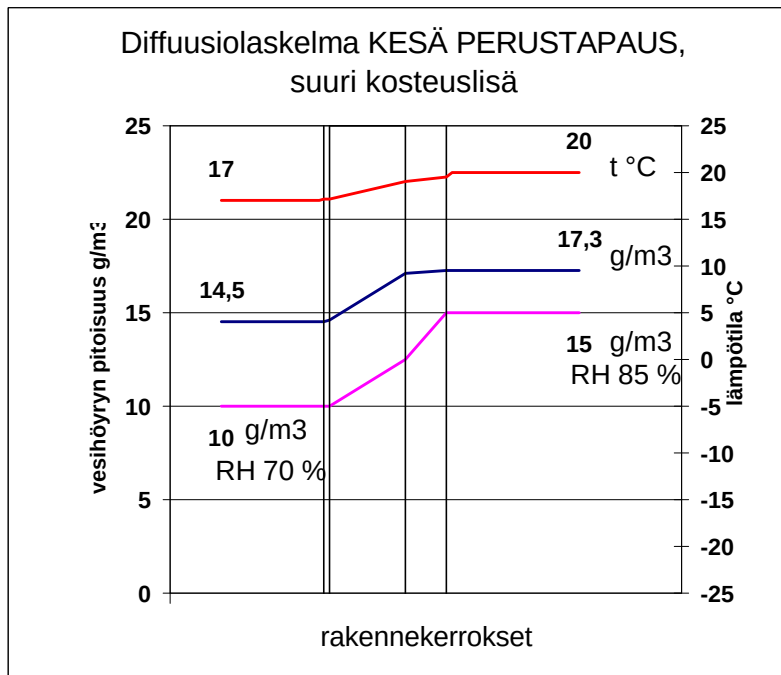
Kuvasta havaitaan että rakenteessa ei ole kondenssia ja rakenteen sisällä suhteellinen kosteus on alhainen huolimatta ankarista laskentaolosuhteista. Tarkastelujen perusteella voidaan laskea, millä vauhdilla diffuusio (vesihöyrypitoisuuksien eron tasoittuminen) tapahtuu. Tulokseksi saadaan noin 16 g/m³ viikossa. Tätä voidaan pitää tavanomaisena arvona betonirakenteille ulkoseinälle.



2.b Perustapaus kesä

Kuvassa 2 on esitetty kesätilanne verrattain suurella kosteuslisällä ja tavanomaisilla ulkoilman olosuhteilla.

Kuvasta havaitaan että rakenteessa ei ole kondenssia. Diffuusiovauhdiksi saadaan noin 11 g/m^3 viikossa.

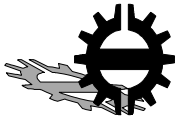


Kuva 2. Kesätilanne verrattain suurella kosteuslisällä ja tavanomaisilla ulkoilman olosuhteilla.

2.c Betonielementin rakennusaikaisen kapillaarisen veden kuivuminen

Betonin valmistuksen yhteydessä elementtiin jää ylimääräistä vettä arviolta noin 70 litraa betonikuutiossa (tämä merkitsee 10 l/m^2 150 mm paksuisessa sisäkuoressa). Vaihtelua on paljon ja tässä on laskettu keskimääräisillä arvoilla.

Osa tästä vedestä (noin 3 l/m^2) poistuu kapillaarisesti. Loppu kosteus (noin 7 l/m^2) poistuu diffuusion avulla ja haihtumalla ympäristöön. Seuraavassa on otaksuttu, että kapillaarinen vesi haihtuu pääsääntöisesti sisäilmaan. Lisäksi sisäilman ominaisuudet ($t=20 \text{ °C}$, RH 90 %) ovat huonot haihtumisen kannalta. Tässä tilanteessa sisäilmaan tapahtuvan haihtumisen vauhti on noin 20 g/m^2 tunnissa, millä perusteella kapillaarinen vesi haihtuisi noin 7 vuorokaudessa.



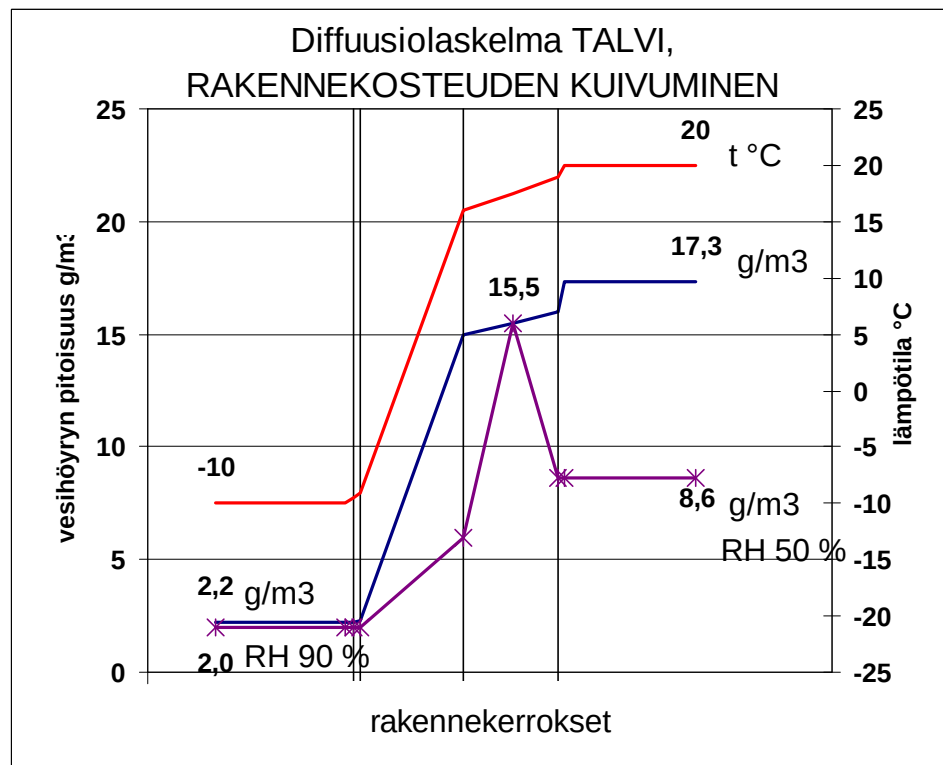
Kapillaarinen vedensiirtymisvauhti betonielementissä on luokkaa 100 g/m^2 tunnissa, mikä on merkittävästi suurempi nopeus kuin haihtuminen. Tämä merkitsee että kapillaarisen veden poistuminen vie aikaa muutaman vuorokauden eikä hidasta merkittävästi rakentamista

Seuraavassa on laskettu lopun veden kuivumista diffuusiolla sekä talvi- että kesäolosuhteissa betonielementin sisältä.

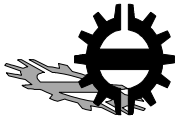
2.d Betonielementin rakennusaikaisen veden kuivuminen diffuusiolla talvella

Kuvassa 3 on otaksuttu että betonielementin keskialueella on ylimääräistä rakennusaikaista vettä. Tämä havaitaan kuvasta siten, että sisäkuoren keskialueella on RH 100 % (eli $15,5 \text{ g/m}^3$).

Kuvasta havaitaan että kuivumista tapahtuu sekä sisään että ulos (alemman kosteuspitoisuuden suuntaan). Yhdessä viikossa kuivuu sisäänpäin noin 43 g/m^2 viikossa ja ulospäin noin 32 g/m^2 viikossa. yhteensä kuivumista tapahtyy siis 75 g/m^2 viikossa. Täten koko kuivumiseen tarvittaisiin noin 100 talviviikkoa, joten muutaman vuoden aikana kuivuminen tapahtuu lopullisesti.

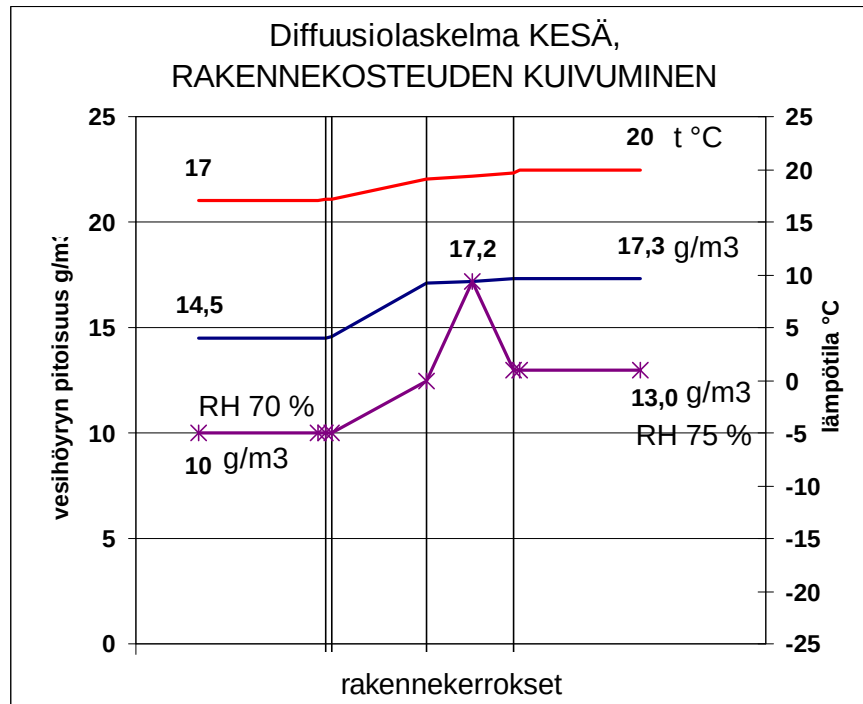


Kuva 3. Betonielementin rakennusaikaisen veden kuivuminen diffuusiolla talvella.



2.e Betonielementin rakennusaikaisen veden kuivuminen diffuusiolla kesällä

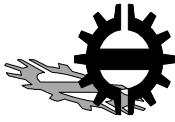
Kuvasta 4 havaitaan, että kuivumista tapahtuu sekä sisään että ulos (alemman kosteuspitoisuuden suuntaan). Yhdessä viikossa kuivuu tässä tapauksessa sisäänpäin noin 22 g/m^2 viikossa ja ulospäin noin 16 g/m^2 viikossa. Yhteensä kuivumista tapahtuu siis noin 38 g/m^2 viikossa. Täten koko kuivumiseen tarvittaisiin noin 200 kesäviikkoa.



Kuva 4. Betonielementin rakennusaikaisen veden kuivuminen diffuusiolla kesällä.

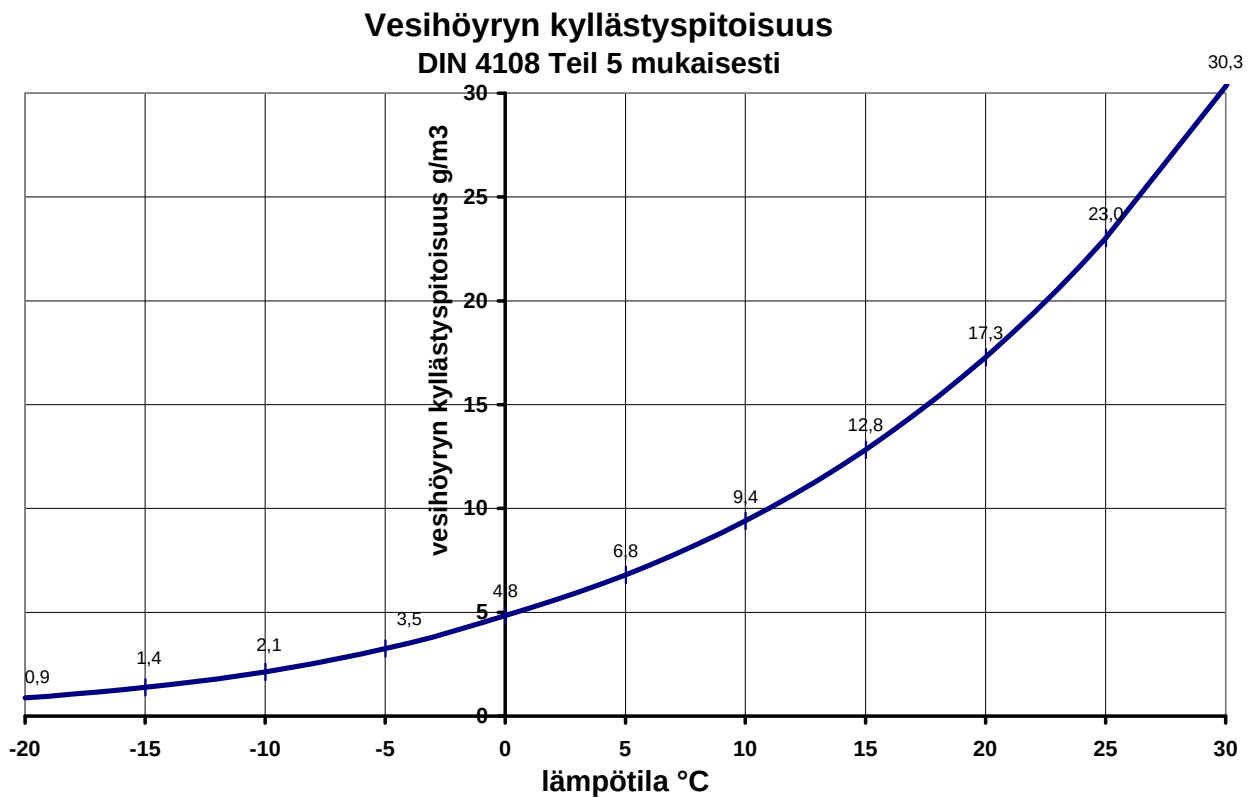
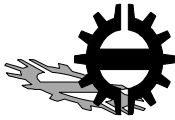
Yhteenvedona kohdista 2.d ja 2.e voidaan todeta että kuivuminen todellisuudessa tapahtuu laskelmia nopeammin. Karkeasti voidaan arvioida että tasaantuminen tapahtuu tavanomaisissa olosuhteissa noin kolmen vuoden aikana aiheuttamatta kosteusteknisiä ongelmia.

Tämä kuivumisnopeus on vähintään yhtä hyvä kuin perinteisillä betonijulkisivuilla.



Taulukko 1. Eräiden rakennusmateriaalikerrosten vesihöyrynvastuksia Z_v .

AINEKERROSTEN VESIHÖYRYNVASTUKSIA		
AINEKERROS paksuus mm	Z_v *10 ³ s/m	Tyypillinen laskenta- arvo
Polyeteenikalvo 0,2	>2000	3500
Ilma 100	4	4
Betoni 100	30...1000	150
Puu 100	30...500	400
Siporex 100	10...50	30
Mineraalivilla 100	4...12	8
EPS 100	70...110	100
Polyuretaani 100	600...7500	1300
Kipsilevy 13	1,6...4,5	4
Huokoinen kuitulevy 12	2,5...3,5	3
Kovalevy 3,2	2,5...3,5	3
Vaneri 13	15...80	50
Maalit	5...120	
Linoleum	200	
Muovimatto	500	



Kuva 5. Ilman vesihöyryn kyllästyspitoisuudet g/m^3 DIN 4108 Teil 5 mukaisesti laskettuna.

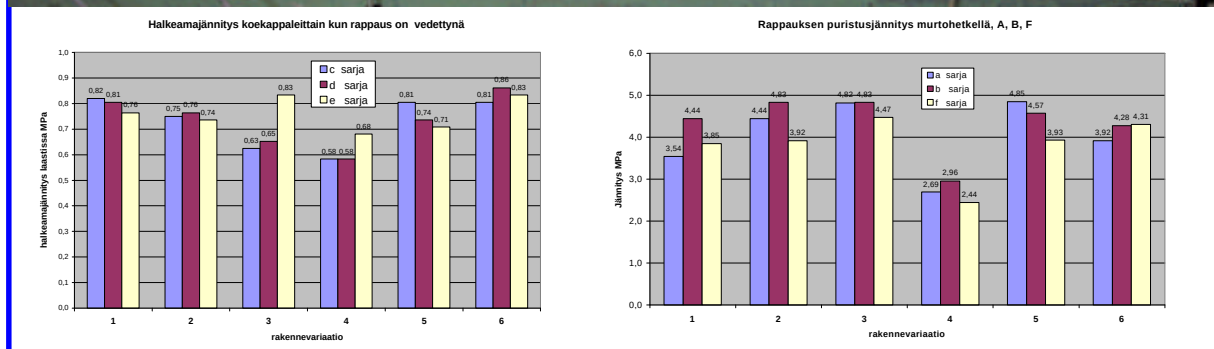
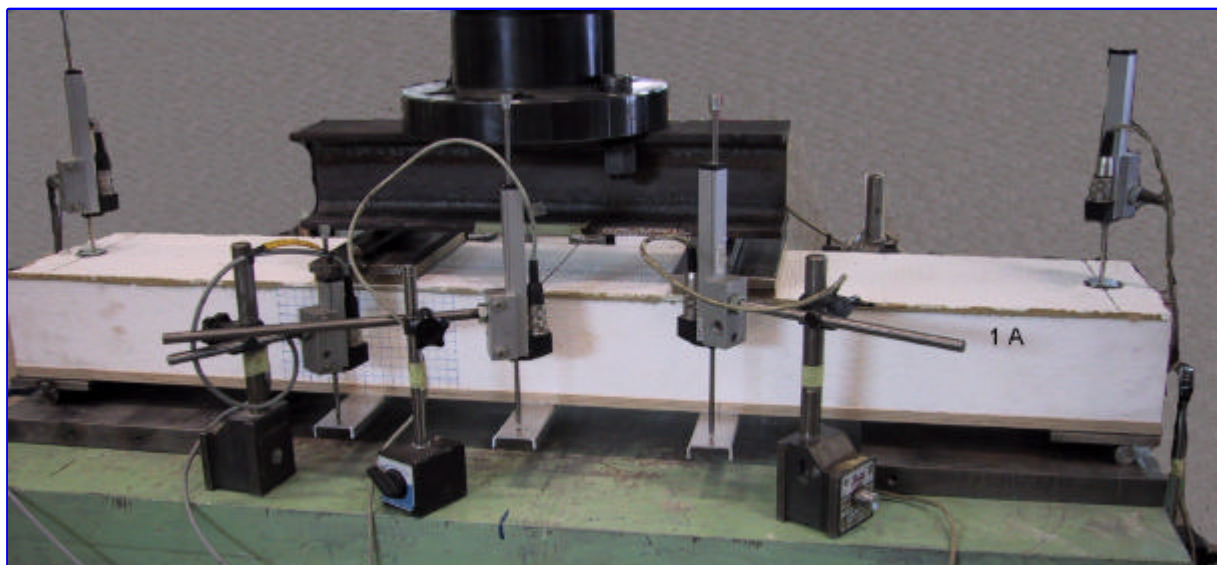


Pekka Kokko

Ralf Lindberg

EPS-OHUTRAPPAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖN EDELLYTYKSET UUDISRAKENTAMISESSA BETONIELEMENTTIRAKENTEISEN SISÄKUOREN YHTEYDESSÄ

Liite 4: Alsecco-ohutrappauksen tartunnasta EPS-eristeeseen



TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennustekniikan osasto
Talonrakennustekniikan laboratorio

Tutkimusselostus 1006/2001 4.6.2001
Pekka Kokko, Ralf Lindberg

Tilaajat: NCC Finland Oy
Parma Betonila Oy
Thermisol Finland Oy

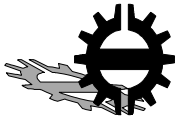
Yhteys: Kari Kiviluoma NCC Finland Oy
Jönsaksentie 4
01600 VANTAA

Tilaus: Kirjallinen 8.9.2000

Tehtävä: Selvittää EPS-ohutrappausjärjestelmän käytön edellytyksiä uudisrakentamisessa betonielementtirakenteisen sisäkuoren yhteydessä. Alsecco-ohutrappauksen leikkaustartunta EPS-eristeeseen ja työsaumavaihtoehtojen vertailu saumataivutuskoepalkeilla 36 kpl.

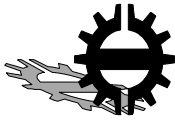
Tutkimusryhmä:

**Pekka Kokko
Huone RL213
PL 600
33101 TAMPERE
puh: 03 3652881**



Sisällysluettelo

SISÄLLYSLUETTELO	3
1. KOEKAPPALEET	4
1.1 SAUMAKOKEEN MUUTTUMAT	4
2. SAUMAKOKEEN KUORMITUSJÄRJESTELY	5
2.1 KUORMITUSAIKATAULU	6
2.2 TAIVUTUSKOKEEN MITTAUKSET	7
2. KOEHAVAINNOT	7
2.1 VEDETYN RAPPauksen HAVAINTOJA	7
2.1.1 Halkeilusta	7
2.1.2 Murtolujuudesta	9
2.3 PURISTETUN RAPPauksen HAVAINTOJA	12
2.4 KOEKAPPALEIDEN MUODONMUUTOKSET	14
3. KOETULOSTEN YHTEENVETO	16
4. SAUMAKOKEEN JOHTOPÄÄTÖKSET	16



1. Koekappaleet

Saumanjatkoksen taivutuskoetta varten valmistettiin 36 sandwich-rakennetta, joiden toisena pintana oli 12 mm paksuinen vanerilevy ja toisena pintana oli n. 6 mm paksuinen Alsecco-ohutrappaus. Ytimenä oli 100 mm paksuinen Isora-EPS 100 S seinäeriste. Palkin leveys oli 200 mm ja kokonaispituus 1200 mm. Koe-elementtien vaneripinta ja EPS-ydin esivalmistettiin Thermisol Finland Oy:ssä Vammalassa ja toimitettiin TTKK:n Talonrakennustekniikan laboratorioon rapattavaksi ja kuormitettavaksi. Alseccorappausverkko ja verkotuslaasti ja pintarappauslaasti hankittiin Narmarakenus Oy:stä. Verkotukset ja rappauspinta valmistettiin TTKK:ssa.

Koekappaleaihioiden sahattiin TTKK:ssa aluksi 60 mm syvyinen ja 20 mm levyinen saumaura, joka täytettiin polyuretaanivaahdolla (30 aihiota) tai mineraalivillasullonnalla (6 aihiota). Aihiot rapattiin verkotuslaastilla 15.2.2001. Tutkittavan sauman ympärille jätettyihin (150/300 mm) varauksiin rapattiin rappausverkkovahvikkeet 16.1.2001. Pintarappaus tehtiin 19.2.2001.

1.1 Saumakokeen muuttujat

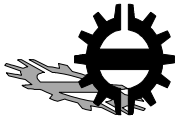
Saumakokeella haluttiin varmistaa elementtien sauman toimivuus erilaisilla saumavaihtoehdoilla. Kokeen päämuuttujiksi valittiin saumaan tulevan vahvikeverkon leveys, sen vetokapasiteetti sauman kohdalla, jatkoksellisten koekappaleiden varauksen pohjan tartunta ja saumaraon vaahdotuksen onnistuneisuus. Kokeen päämuuttujat on esitetty taulukossa 1.1. Muuttujalistan mukaan rapattiin kuusi erilaista rakennetyyppiä, jotka on esitetty taulukossa 1.2. Jokaista rakennetyyppiä valmistettiin kuusi kappaletta (A-F).

Taulukko 1.1. Saumakokeen koekappaleiden päämuuttujat.

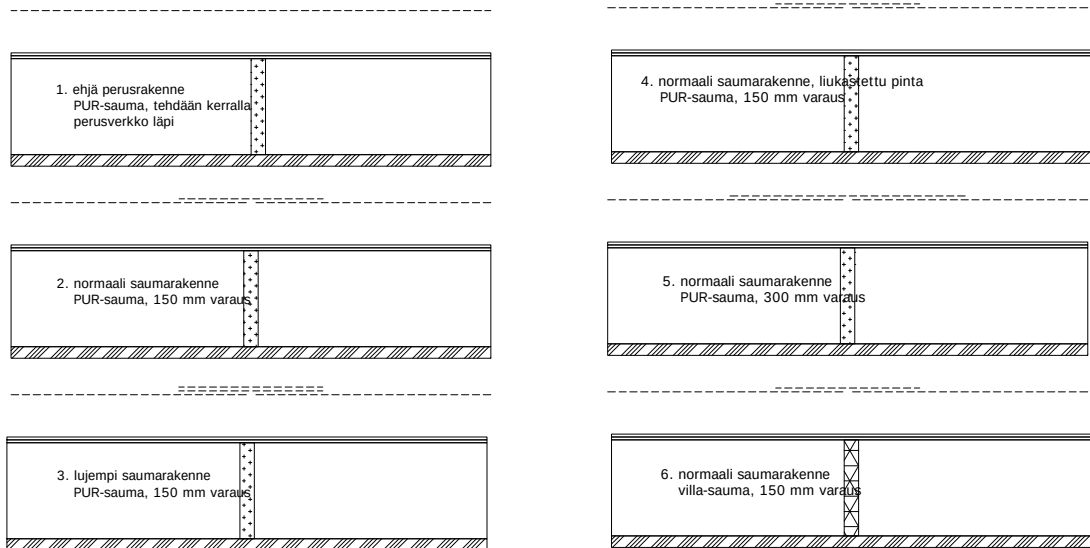
Muuttuja	Vaihtoehdot	
Varauksen leveys	150	300
Varauksen pohjan tartunta	normaali	liukkaaksi rasvattu
Verkon lujuus jatkoksen kohdalla	normaali (1 kertainen)	Lujempi (2 kertainen)
EPS-sauman laatu	PUR-vaahdotus	Villa (huonempi vaahdotus)

Taulukko 1.2. Saumakokeen kuusi koekappaletyyppiä.

Sauma- variaatio	Varauksen leveys	Varauksen pohjan tartunta	Verkon vetokapasiteetti sauman keskellä / jatkoksen limityksessä	EPS-sauman täytteen laatu
1	ehjä perusseinä ei varausta	ehjä perusseinä ei varausta	normaali / ei limitystä	PUR
2	150	normaali	normaali / 2 kertainen	PUR
3	150	normaali	2 kertainen / 3 kertainen	PUR
4	150	Liukkaaksi rasvattu	normaali / 2 kertainen	PUR
5	300	normaali	normaali / 2 kertainen	PUR
6	150	normaali	normaali / 2 kertainen	lasivilla



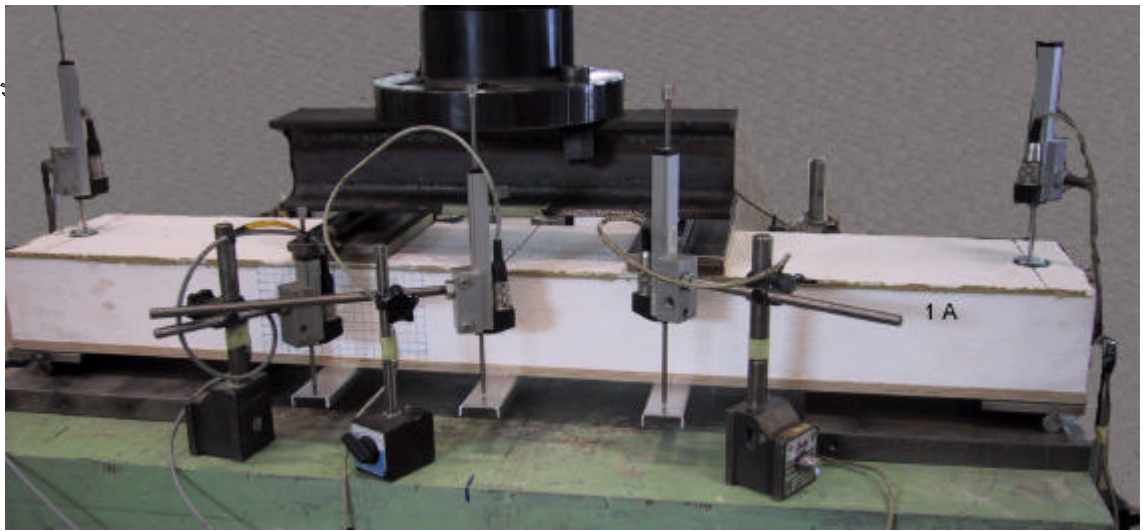
Kuvassa 1 on esitetty koekappaleiden keskeltä 500 mm pituinen osa siten että vahvikeverkko on piirretty koekappaleen yläpuolelle.



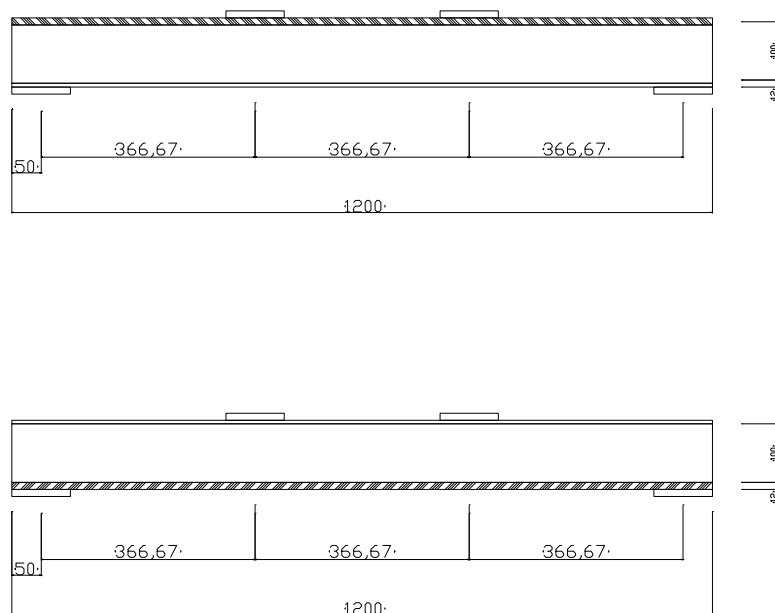
Kuva 1. Taulukossa 1.2 esitetyt koekappalevariaatiot vahvikeverkkoi-
neen. Koekappaleen reunasta saumaan ulottuva verkko kiin-
nitettiin n. 3 mm paksuisella verkotuslaastilla. Vahvikeverkon
varauksen kohdalla verkotuslaastin paksuus oli perusverkon
kiinnityksen jälkeen n. 1,5 mm ja vahvikekappaleen kiinnityk-
sen jälkeen sama kuin saumaa ympäröivällä verkotuslaastilla
eli n. 3 mm. Lopuksi koekappaleet yllirapattiin Alsecco-
pintalaastilla.

2. Saumakokeen kuormitusjärjestely

Saumarakennetta tutkittiin sekä veto- että puristusrasitettuna. Samasta variaatiosta kolme koekappaletta kuormitettiin rappauksen ollessa palkin puristettuna yläpintana ja kolme kappaletta vastaavasti rappauksen ollessa palkin vedettynä alapintana. Kuormitus oli ns. neljän pisteen kuormitus, jossa rakennetta kuormitettiin jännevälin ($L=1100$) kolmannespisteissä ($a=366,7$). Ytimen paikallinen puristuminen pyrittiin välttämään siten, että kuormitus välittyi 100 mm teräskappaleiden välityksellä koestettavalle palkille. Teräslevyn ja rappauksen väliin asetettiin vielä 100 mm levyiset huokoisen kuitulevyn kappaleet. Vaneripinta oli sekä kuormituspuolella että tuella suoraan 100 mm levyisen teräslevyn varassa, kuvat 2 ja 3.



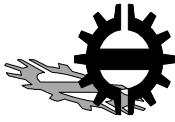
Kuva 2. Yleiskuva perusrakennevariaation 1 kuormituskokeesta A. Kokeessa rappaus oli puristettuna. Sähköisillä siirtymämittareilla seurattiin mm. rakenteen taipumaa ja tukien painumaa. Tukiväli on 1100 mm ja kuormitus kolmannespisteistä.



Kuva 3. Sauman taivutuskokeen koejärjestelyn mittapiirros. Koepalkin leveys oli 200 mm. Tuilla ja kuormituspisteissä käytettiin 100 mm levyisiä teräslevyjä.

2.1 Kuormitusaikataulu

Jokaisen rakenne vaihtoehdon koekappaleet A, B ja F on kuormitettu rappauspinta puristettuna ja kappaleet C, D ja E rappauspinta vedettynä. Kuormitukset aloitettiin 16.3.2001, jolloin kuormitettiin 1A kappale ja jatkettiin 19.3, 21-22.3 ja 26.-27.3, jolloin oli kuormitettu 24 koekappaleita (A-D) 36 mahdollisesta. Viimeiset koekappaleet kuormitettiin vasta 23.4.2001.



2.2 Taivutuskokeen mittaukset

Taivutuskokeet tehtiin vaiheittain edeten, siten että mittausjärjestelyä pystyttiin kehittämään ensimmäisten koekappaleiden mittaushavaintojen perusteella. Esimerkiksi siirtymäantureiden sijaintia muutettiin kokeiden aikana. Kahdessa viimeisessä sarjassa (E ja F) mitattiin myös koekappaleen tuen kiertymä ja leikkausmuodonmuutos tuella.

Rakennetta kuormitettiin vakiosiirtymänopeudella, jolloin kappaleen murtohetken tapahtumia voitiin havainnoida. Kuormitussynterissä vallitseva voima ja koekappaleen kappaleen siirtymät sekä tukipainuma mitattiin laboratorion ATK-laitteistolla. Vedettyjen rappausten halkeilun muodostumista seurattiin koekappaleen alle asetetun peilin avulla.

2. Koehavainnot

Rakenneariaatioiden koekappaleet C, D ja E koekuormitettiin rappaus vedettynä ja kappaleet A, B ja F rappaus puristettuna. Vedetyn rappausten halkeamalujuus, murtolujuus ja murtotapa on kirjattu muistiin. Puristettujen rappausten murto oli äkillinen rappauserroksen lommahdus, joten niistä on esitetty kappaleen murtolujuus. Molemmille tapauksille on myös muodonmuutoskuvaaja, joiden avulla voidaan arvioida rakenteen taivutusjäykkyyttä ja ytimen leikkausmuodonmuutoksen vaikutusta rakenteen taipumaan.

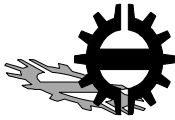
2.1 Vedetyn rappausten havaintoja.

2.1.1 Halkeilusta

Koekappaleen halkeamalujuus on ensimmäistä havaittua halkeamaa vastaavasta kuormasta laskettu rappauserroksen vetojännitys. Halkeaman muodostuminen havaittiin helpoiten rakenteen taipumakuvaajan jyrkkenehmisenä halkeaman muodostumisen jälkeen. Rappauksessa 1 halkeama muodostui maksimimomentin alueelle, mutta ei välttämättä juuri tutkittavan sauman kohdalle.

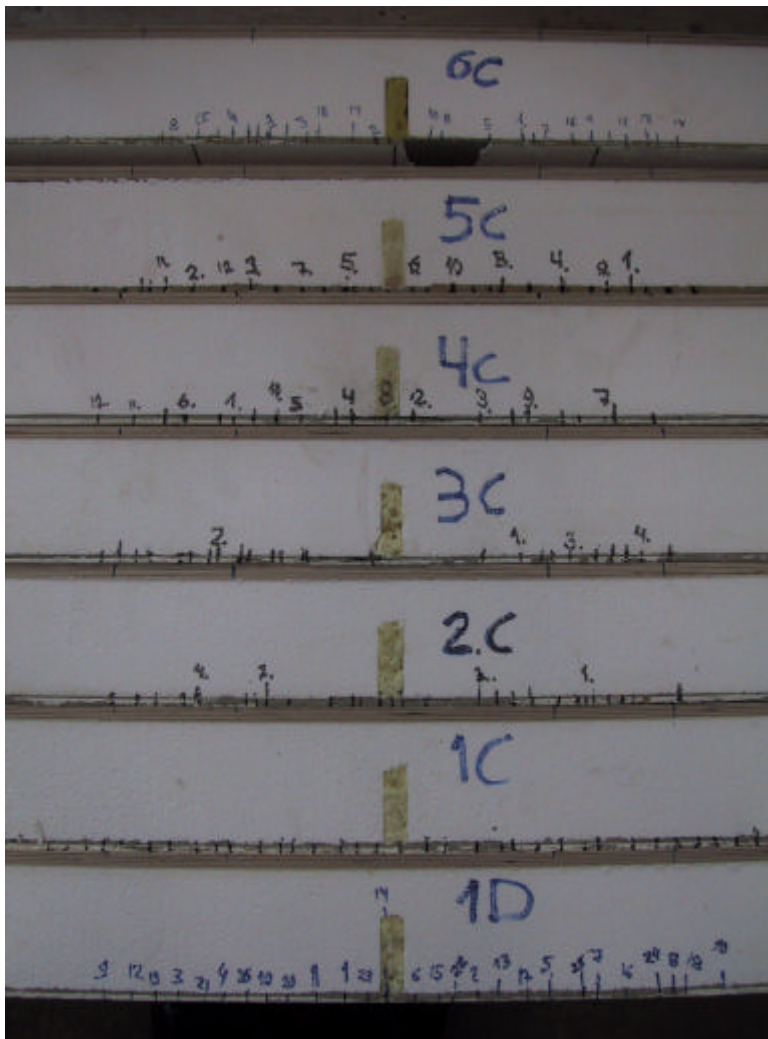
Perusrakenteessa 1 halkeilu jakautui tasaisesti rakenteen matkalle momenttijakautumaa noudattaen.

Varsinaisissa jatkosrakenteissa 2-6 halkeilu alkoi myöskin maksimimomentin alueelta, mutta nyt joko varauksessa olevan vahvikeverkon päästä tai tutkittavan keskisauman kohdalla, eli yleisesti kohdista, joissa rappausverkolla oli normaali (1-kertainen) vetokapasiteetti.

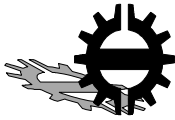


Päällekkäisten rappausverkkojen suurempi vetokapasiteetti kavensi ko. kohdelle muodostuneita halkeamia, mutta ei kuitenkaan estänyt niiden muodostumista. Täysin kehittyneessä halkeilussa halkeamaväli oli vain 2-4-kertainen vahvikeverkon silmäväliin verrattuna.

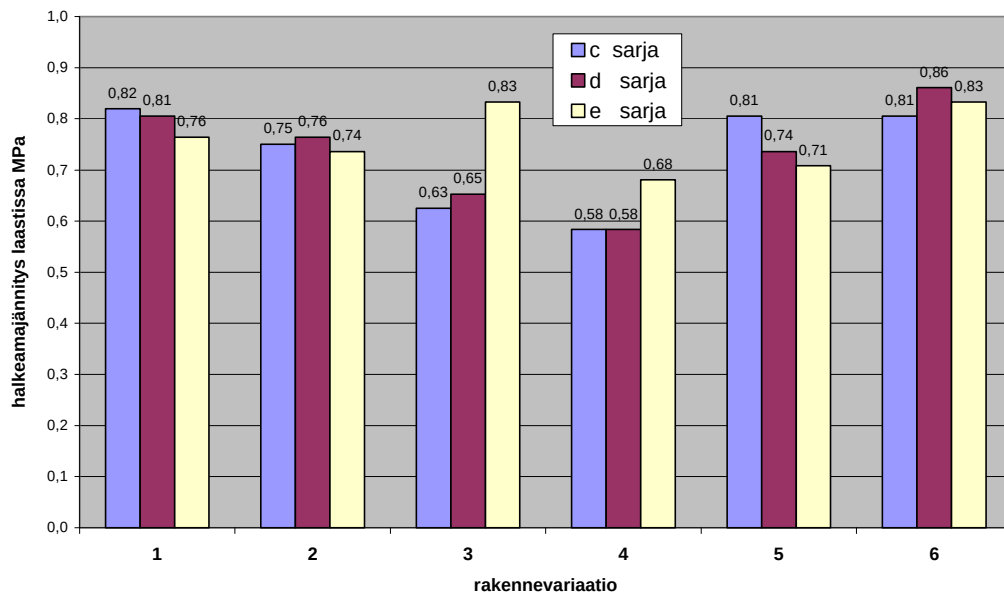
Lähestyttäessä murtokuormaa vahvikeverkon päästä tai keskisaumasta alkanut verkkojen liitospintaa pitkin kulkeva vaakahalkeama aiheutti lopulta rakenteiden murtumisen. Perusrakennetta 1 ei saatu murtumaan vaan koekappaleen keskiosa taipui kuormituslujastaan asti. Kuvassa 4 on esitetty rakenteiden kylkiin merkittyjä halkeamajakautumia.



Kuva 4. Koekappaleiden halkeamavälejä kappaleen kylkeen merkittynä.



Halkeamajännitys koekappaleittain kun rappaus on vedettynä

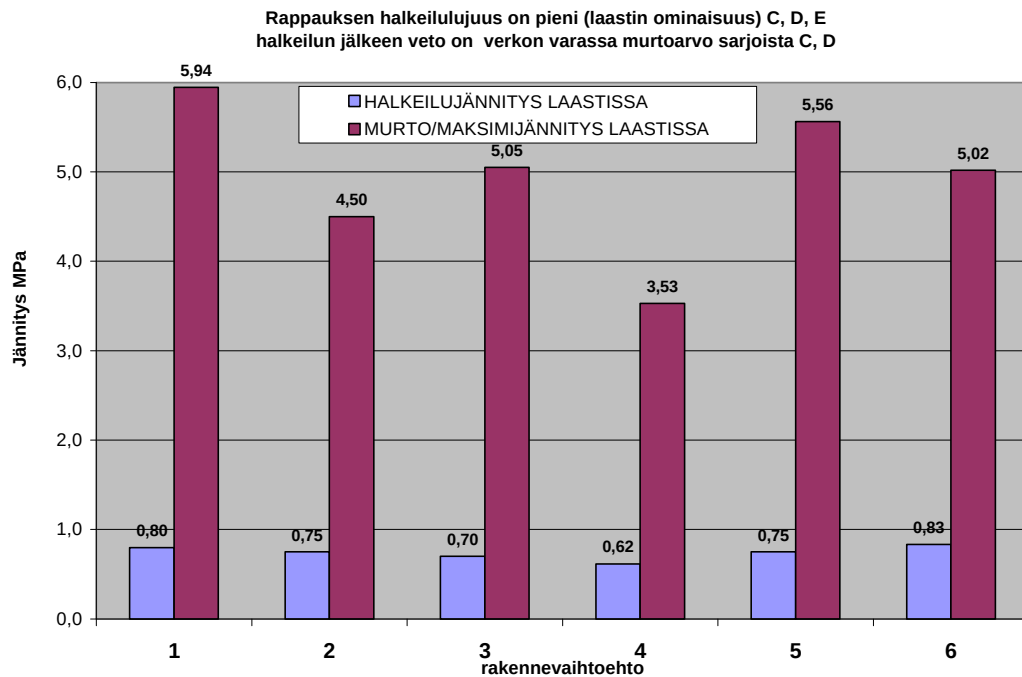
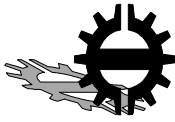


Kuva 5. Halkeamajännitykset vedetyillä rappauksilla.

Kokeessa havaituista halkeamajännityksistä voidaan todeta että ne ovat karkeasti vain kymmenesosa Alsecco-verkotuslaastille laastinormien mukaisella prismakokeella mitatusta taivutusvetolujuudesta. Halkeamien havaitavuuden kannalta tämä on kuitenkin eduksi, koska halkeamaväli jää kapeaksi ja halkeamaleveydet siten kapeiksi.

2.1.2 Murtolujuudesta

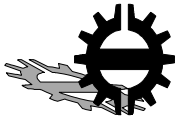
Halkeamien muodostumisen jälkeen koekappaleen lujuus on vahvikeverkon varassa. vedettyjen rappauksen sarjat C ja D kuormitettiin murtoon asti. Koesarjassa E kuormitustukea oli hieman laskettu ja vain rakenne 4E (liukkaaksi rasvattu) murtui, muiden ottaessa kuormitustukeen kiinni. Koekappaleiden murtokuormat laastin vetojännityksiksi laskettuna (halkeilun takia käytännön mahdottomuus) on esitetty kuvassa 6.



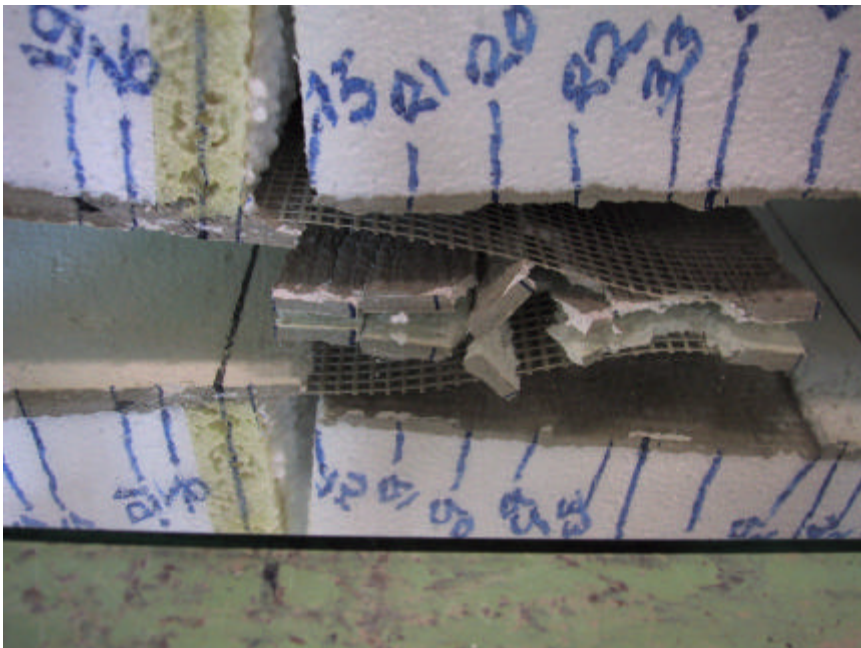
Kuva 6. Murtolujuudet kun rappaus on vedettynä C ja D sarjat. 1 rakenne ei murtunut.

”Rakenteiden murtolujuuksia” verrattaessa on huomattava että perusrakenne 1 ei ollut vielä murtunut vaan koejärjestelyn taipumavarat loppuivat kesken. Varsinaisten jatkosrakenteiden osalta varauskolon pohjalta 100 mm leveydeltä liukkaaksi rasvattu 4-rakenne oli heikoin. Koska vahvike limittyi päistään n. 2,5 cm matkalta rasvaamattoman laastin kautta kesti 4-rakenne kuitenkin merkittävän kuorman.

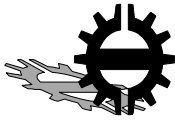
Rakenteen 5 300 mm pitkä jatkos ulottui lähes kuormituspisteestä toiseen. Kappaleella 5 C tapahtuikin ainutlaatuinen murtuma yläpinnan vanerin leikkautuessa tuelle päin, jolloin tuen ja kuormituspisteen väliin muodostui vino leikkaushalkeama. Muilla jatkoskappaleilla murtuma tapahtui varauskolon verkkojen välisen laastin leikkaantuessa vaakasuorassa suunnassa.



Kuva 7. 300 mm jatkoksella varustetun 5 C-rakenteen leikkausmurtuma. Muissa rakenteissa murtuma tapahtui varauksen alueella verkkojen liukuessa laastin leikkautumisen vuoksi.

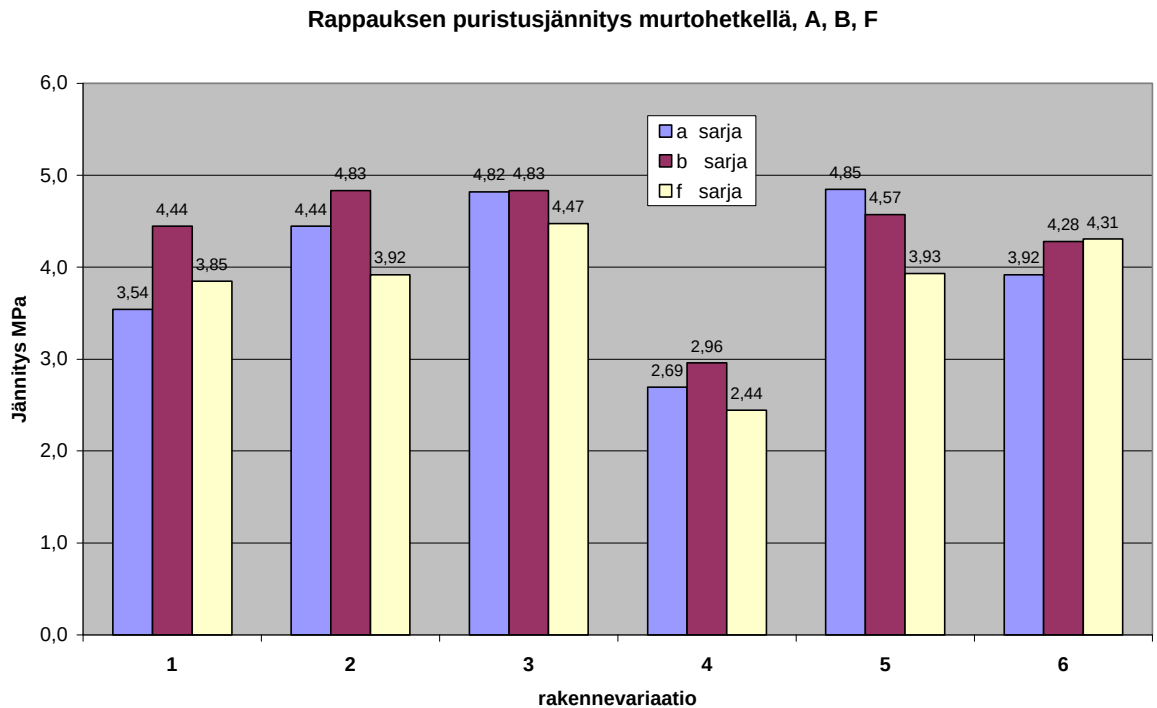


Kuva 8. Jatkosrakenteelle tyypillinen murtotapa. Kuvassa 5 D-rakenne.



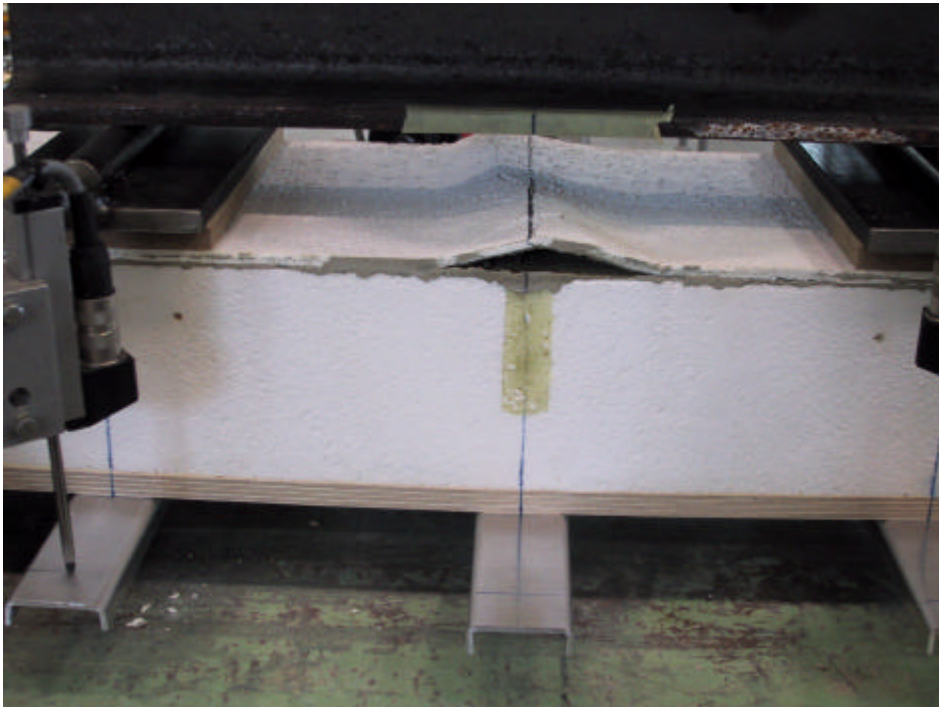
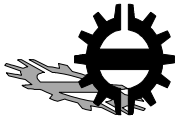
2.3 Puristetun rappauksen havaintoja

Puristetussa rappausrakenteessa pintakuoren murtuma tapahtui äkillisesti. Rappauksen puristusjäännitys oli alempi kuin kuvitteelliset vedetylle rappaukselle lasketut murtojännitykset.

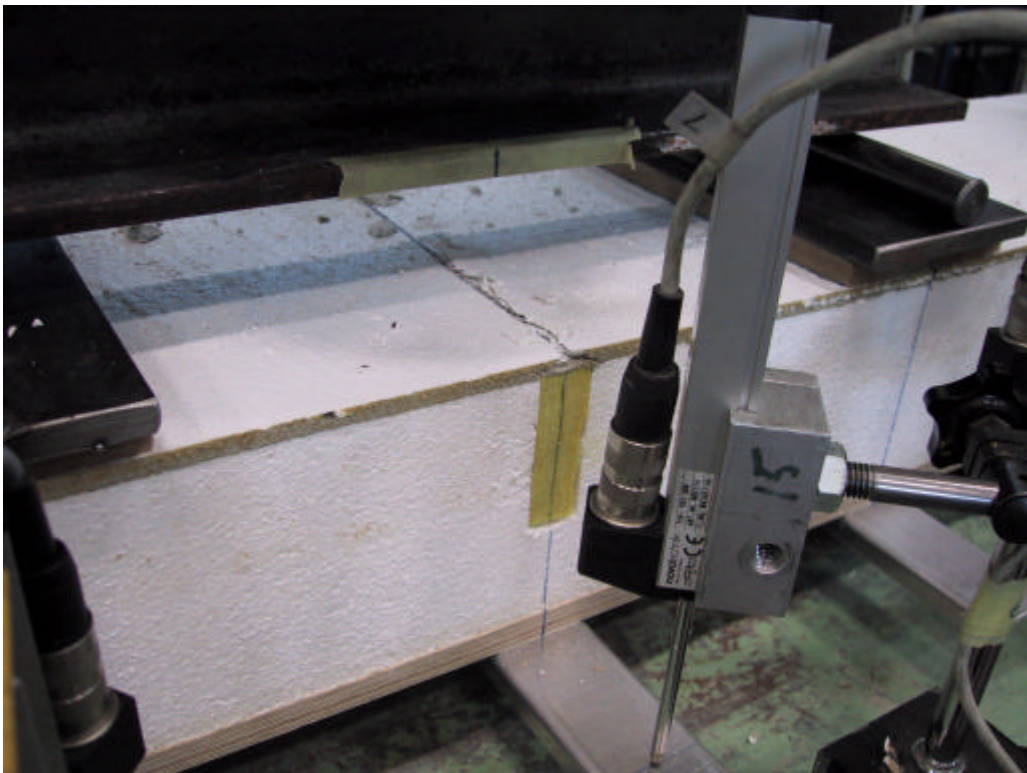


Kuva 9. Rappauksen puristusjäännitys koekappaleittain murtohetkellä.

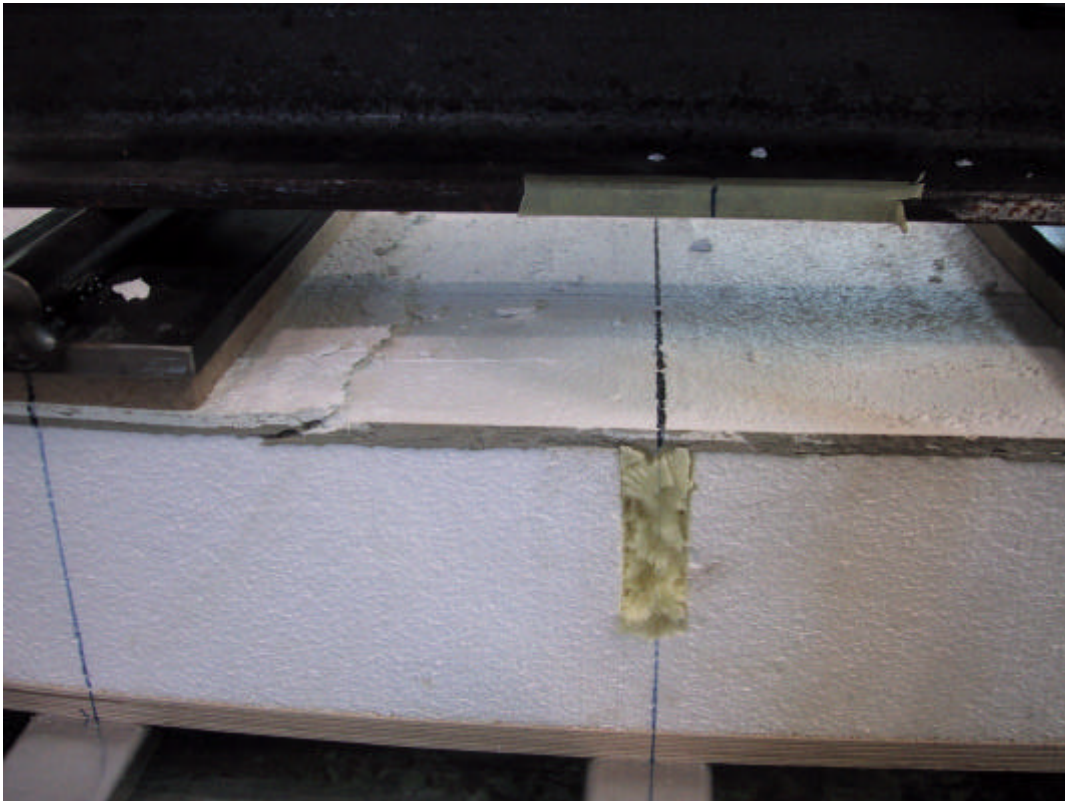
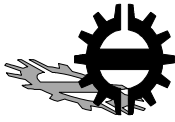
Koetuloksista erottuu selvimmin liukkaaksi rasvattu koekappale 4, jonka puristusjäännitys jää noin puoleen muiden kappaleiden murtohetken puristusjäännityksestä. Muut rakenteet ovat murtolujuudeltaan lähes samoja, joten varauksen pituudella tai verkkojen määrällä ei ollut selvää vaikutusta rappauksen puristustilanteessa.



Kuva 10. 4B-rakenne murtui liukkaaksi rasvatun pinnan kohdalta. Lom-
mahtaneessa pintaosassa on vahvikeverkkokappale ja varauk-
sen pohjan perusverkko on eristeessä kiinni.



Kuva 11. Koekappaleet 6 murtuivat villasauman kohdalta.

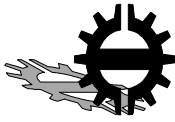


Kuva 12. Koekappale 3A. Murtokohta on vahvikkeen ja kuormituslinjan välissä. Laastikielekkeet liukuvat toistensa lomaan.

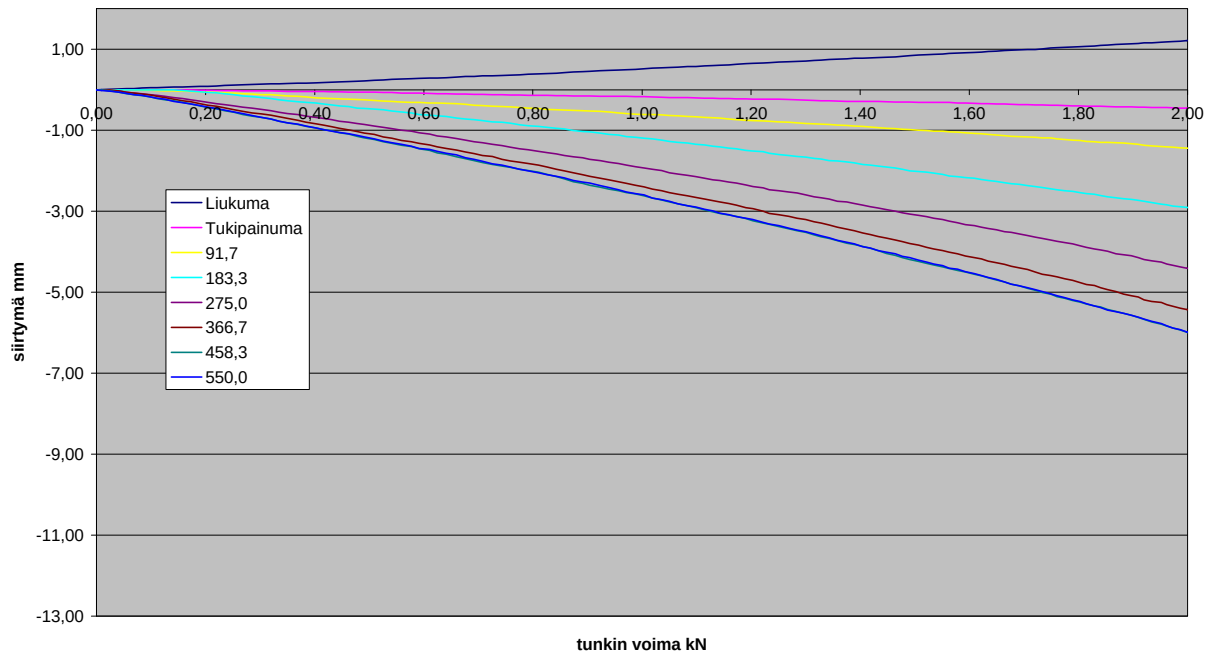
Kuormituspisteiden paikallinen puristuminen siirtää murtokohtaa lähemmäs kuormituspisteitä. 300 mm vahvikkeella varustettu 5A-koekappale murtui kuormituslevyn reunatuen puoleiselta sivulta.

2.4 Koekappaleiden muodonmuutokset

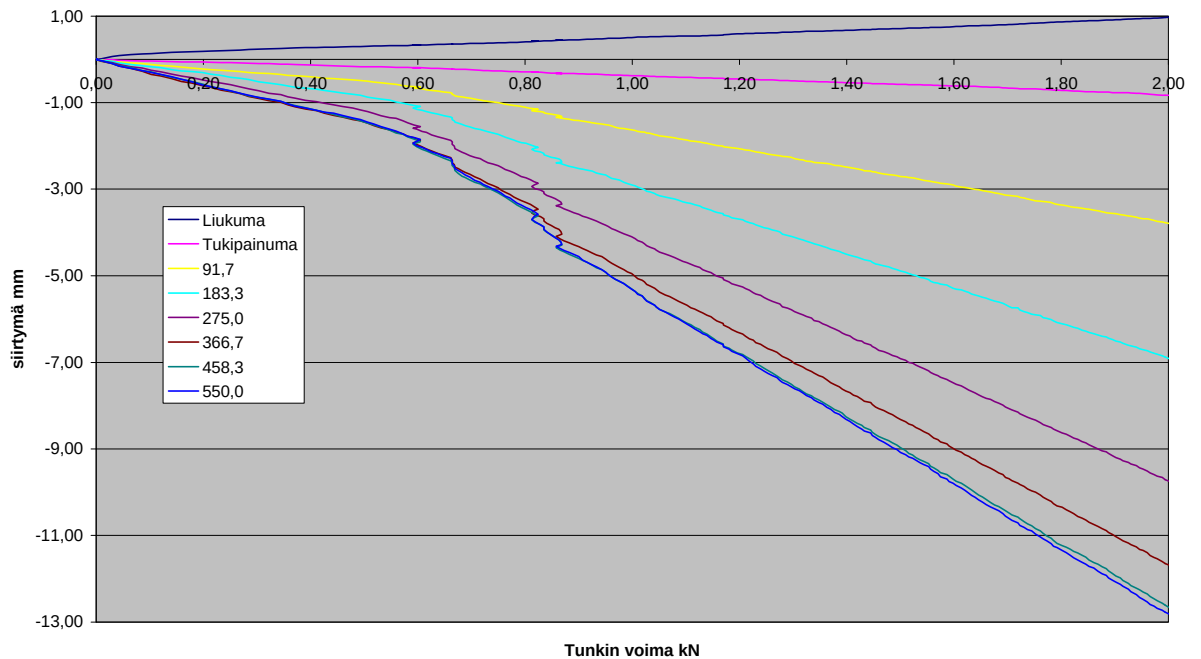
Tämän koesarjan sandwich-palkit ovat kimmo-ominaisuuksiltaan ja mittasuhteiltaan sellaisia, että leikkausvoiman aiheuttama muodonmuutos on noin 80-90 % rakenteen kokonaistaipumasta. Perinteellisessä mitoituksessa leikkausmuodonmuutostekijät aiheuttavat vain hyvin pienen osan (1% ?) palkkirakenteen taipumasta. Näin ollen totutun palkkiteorian (leikkaustermit $=0$) käyttö ei onnistu tämän kuormituksen muodonmuutosten arvioinnissa. Koska leikkausvoiman osuus kokonaistaipumasta on hyvin suuri, ja se kehittyy vielä kuormituslinjan ja reunatuen välisellä alueella näytävät kaikki kuormituskuvaajat lähes samoilta ja lähes suoraan verrannollisilta kuormitukseen. Tutkittavan saumajatkoksen jäykkyysvaihtelut vaikuttavat vain rakenteen keskialueella ja sellaiseen osuuteen, joka puristetulla rappauksella on vain 10-20 % rakenteen kokonaistaipumasta.



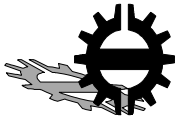
Siirtymät 3F puristettu rappaus



Siirtymät 3E vedetty rappaus



Kuva 13. Siirtymämittauksen vertailua kuormavälillä 0-2 kN. Puristetun rakenteen 3F murtokuorma oli 3,22 kN ja 3E-rakennetta ei tai-
vutettu murtoon mutta 3C ja 3D murtokuormat olivat 3,42 ja 3,85 kN.



Halkeamakuormaan asti muodonmuutos on samansuuruinen sekä vedetyllä että puristetulla rappauksella. Halkeamakuorman jälkeen puristettu rappaus on taivutuskokeessa jäykempi. Vedetyn rappauksen halkeaminen avautuminen voidaan myös havaita taipumakuvaajista, jotka jyrkkenevät halkeamien muodostuessa.

Kuvan 13 liukuma tarkoittaa tuella mitattua puristetun kuoren pään liikkumista ulospäin suhteessa vedetyn kuoren päähän. Liukuma aiheuttaa rakenteelle merkittävän lisätaipuman.

3. Koetulosten yhteenveto

Kokeessa saumarakenteet altistettiin erittäin suuriin muodonmuutoksiin verrattuna käyttökohteen mahdollisiin muodonmuutoksiin. Tästä huolimatta laastitartunta EPS-ytimen rakenteen rappauskouren välillä säilyi. Vedettyjen jatkosten murtotapa oli perusverkon ja vahvikkeen välinen "laastivaarnan" katkeaminen. Puristetun jatkoksen murtotapa oli paikallinen tyssäytyminen, jossa laastikuoret liukuivat toistensa lomaan.

Koekappaleen vapaasta reunasta kuormituslinjalle oli noin 400 mm matka. Puristustapauksessa lämpörappausrakenne kykeni kehittämään täyden laastipinnan puristusjännityksen jo näin lyhyellä matkalla.

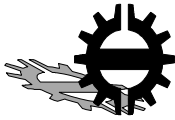
Rappauksen vetolujuus rakenteessa on standardikoekappaleilla mitattua lujuutta selvästi alempi. Tämän vuoksi vedetyn rappauksen halkeamaväli on taaja ja yksittäiset halkeamat ovat siten vastaavasti kapeampia ja vaikeasti havaittavia.

Varauksen pohjan huono tartunta voi vaarantaa sauman toiminnan (tehdasrapatut elementtirakenteet). Toisaalta verkon ankkurointi rasvatussa 4-rakenteessa toimi jo n. 2,5 cm matkalla rakenteen vetolujuuden ollessa lähes puolet parempien jatkosten lujuudesta.

Kaksinkertaisella vahvikeverkotuksella (3-rakenne) ei kokeessa saavutettu juuri parempia tuloksia kuin perusjatkoksellakaan (2-rakenne). 300 mm jatkos (5-rakenne) oli vetomurtolujuudeltaan jatkosrakenteista suurin. Lasivillasauma mallinsi kokeessa puutteellisesti vaahdotettua elementtisaumaa. Koekappaleiden 20 mm saumaleveydellä koetulokset vastasivat normaalisti vaahdotettua saumaa.

4. Saumakokeen johtopäätökset

Taivutuskokeen perusteella 150 mm levyinen saumavahvikekaista toimi koekappaleissa hyvin. 300 mm levyisellä vahvikekaistalla ei saatu merkittävästi parempia tuloksia.



Saumatoimintaa on kokeessa mallinnettu lyhyellä ja korkealla (vane-ri/EPS/rappaus) sandwich-rakenteella, jonka jännitys ja muodonmuutostilat poikkeavat todellisen betonielementtiseinärakenteen tilanteesta. Koekappaleen avulla on pyritty luomaan rappaukseen veto/puristusjännityksiä, siten että rappaus on yhteistoiminnassa EPS-ytimen kanssa. Toinen vaihtoehto olisi ollut saumajatkokset sisältävän laastikuoren vetokoe, joka olisi ollut vielä kauempana normaalista käyttötilanteesta.

Kokeessa saumaleveys oli 20 mm ja tukialueelta tuleva perusverkko ulottui täsmälleen sauman reunaan. Näin ollen esimerkiksi 150 mm perusvahvike limittyi 65 mm matkan perusverkon kanssa. On mahdollista että työma-olosuhteissa ei näin tarkkaan verkkojen asetteluun ole aikaa ja mahdollisuuksia vaan tehokkaampi tulos saavutetaan hieman leveämmällä vahvikekaistalla.

Jos saumat ovat vajaatäyttöisiä ja leveämpiä kuin koerakenteiden 20 mm voi puristetussa rappauksessa tapahtua paikallinen lommahdus.

Tampere 30.4.2001

Pekka Kokko
Email: kokko@ce.tut.fi
Puh: 03 3652881
Fax: 03 3652801
GSM: 050 5477194