



TUTKIMUSSELOSTUS N:o 1465
18.1.2006

**XPS – ERISTETYN PUURANKASEINÄN
ILMANPITÄVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN**





Tutkimusselostus N:o 1465

12 sivua + 3 liitesivua

Tilaaaja	Finfoam Oy Satamakatu 5 24100 SALO Yhteyshenkilö: Henri Nieminen
Tehtävä	Tutkia XPS – eristetyn puurankaseinän ilmanpitävyys erilaisilla saumavaihtoehdoilla.
Tutkimusaika	3.1.2006 –10.1.2006
Tutkijat	Juha Vinha, tekn. lis., erikoistutkija Kimmo Lähdesmäki, rak. ins., tutkimusapulainen Tampereen teknillinen yliopisto Rakennetekniikan laitos PL 600 33101 Tampere Puhelin (03) 3115 11 Faksi (03) 3115 2811
Jakelu	Finfoam x kpl TTY / Talonrakennustekniikan arkisto x kpl Tutkijat x kpl

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	3
2. KOEKAPPALE	3
3. KOELAITTEISTO	3
4. KOEJÄRJESTELY	5
4.1 Materiaalin säilytys.....	5
4.2 Koe-elementin valmistus	5
4.3 Koe-elementin asennus ja kokeen valmistavat toimenpiteet	5
4.4 Koeolosuhteet ja mittaukset.....	6
4.5 Mitattujen suureiden epävarmuudet.....	6
4.6 Mittausajankohta.....	7
5. ILMANPITÄVYYSKOKEESSA KÄYTEYT ERI SAUMAVAIHTOEHDOT	7
6. TULOKSET	7
7. TULOSTEN TARKASTELU	11
LIITTEET	12

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



1. JOHDANTO

Finnfoam Oy:n tilaamana tehtiin XPS – eristetyin puurankaseinän ilmanpitävyyskoe. Ilmanpitävyyskoe on osa suurempaa Finnfoam Oy:n teettämää tutkimusprojektia. Ilmanpitävyyskokeessa käytettiin puolipontattua eristelevyä, jonka reunoihin oli muotoiltu joustavia ulokkeita (ks. liite 1. kuva 1). Kokeessa käytetyn eristelevyn paksuus oli 140 mm. Ilmanpitävyyskoe tehtiin kolmella erilaisella eristeen ja puurankan välisellä saumavaihtoehdolla.

2. KOEKAPPALE

Tilaaaja toimitti seinärakenteessa käytettävät eristelevyt TTY:n Rakennetekniikan laitokselle. Varsinainen koe-elementin kehikko rakennettiin TTY:llä ja toimitetut eristelevyt leikattiin oikeankokoisiksi ja asennettiin tehtyyn kehikkoon. Koe-elementin ulkomitat olivat 1185 * 1185 mm². Liitteessä 1 on valokuvia koe-elementistä ja liitteessä 2 on esitetty rakennekuva koe-elementistä.

3. KOELAITTEISTO

Koelaitteistona käytettiin TTY:n Rakennetekniikan laitoksella olevaa rakennusfysikaalista tutkimuslaitteistoa. Sen toiminta perustuu ns. ”calibrated hot box” -laitteistoon. Laitteisto on rakennettu pääosin standardin ISO/DIS 8990 mukaisesti.

Tutkimuslaitteisto koostuu lämpimästä kammioista ja suojakammioista, jotka on sijoitettu suureen pakkashuoneeseen. Lämpimän kammion etuseinässä on tutkimusaukko (1200 * 1200 mm²), johon tutkittava rakenne asennetaan. Tutkimusaukon syvyys on 400 mm. Suojakammio asetetaan kokeessa tutkittavan rakenteen ulkopuolelle lämpimän kammion viereen (ilmanpitävyyskokeessa suojakammioita ei käytetä). Lämpimän kammion sisälle säädetään sisäilman olosuhteet ja pakkashuoneeseen (tai suojakammioon) vastaavasti ulkoilman olosuhteet. Tutkittavan rakenteen kummallekin puolelle asetetaan kokeessa suojalevyt, joiden tehtävänä on tasoittaa lämpötila- ja ilmanvirtausolosuhteita rakenteen pintojen lähellä. Suojalevyt toimivat kokeessa lisäksi erilaisten mittausanturien kiinnitystelineinä.

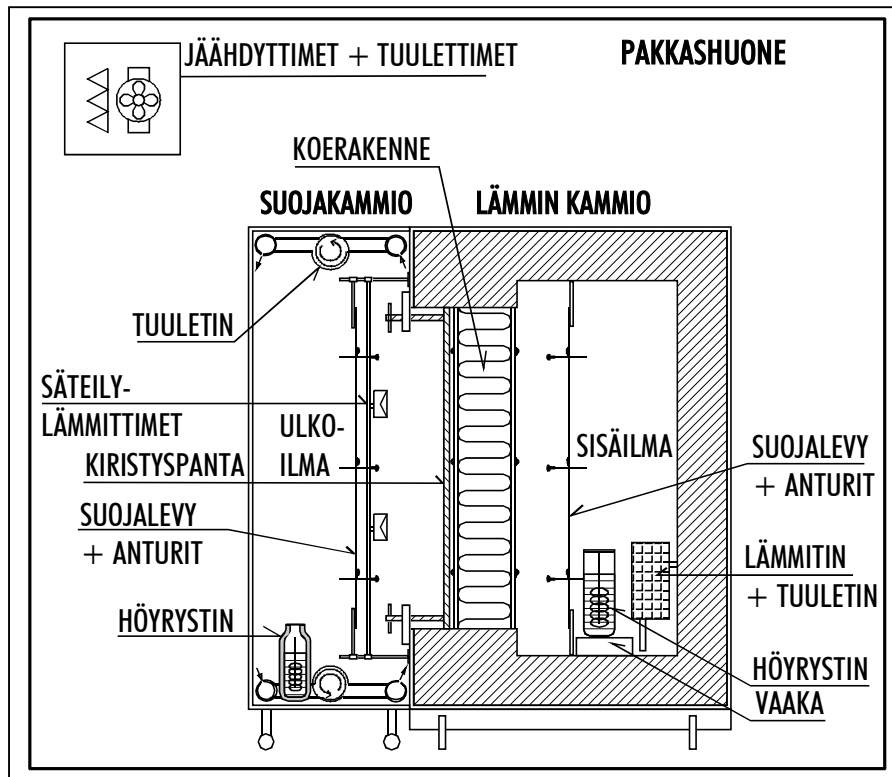
Kokeessa käytettävät mittaus- ja säätölaitteet on kytketty tietokokeeseen, joka huolehtii prosessin etenemisestä ja mittausdatan tallennuksesta. Lämpötiloja mitataan sekä sisä- että ulkopuolelta tutkittavan elementin pinnasta, ilmasta ja suojalevyn pinnasta (kussakin kohdassa on 5 kpl antureita). Lisäksi mittauksessa on mukana erikseen sisä- ja ulkolämpötilan säätöan-

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



turit. Lämpötila-antureina käytetään puolijohdeantureita. Kokeessa mitataan myös lämpimään kammioon syötettyä lämmitystehoa, sisä- ja ulkopuolen ilmankosteutta sekä ilmavirran nopeutta rakenteen pinnoilta. Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva laitteiston rakenteesta ja liitteen 1 kuvassa 3 on esitetty valokuva laitteistosta.

Säädettävänä suureina ovat lämpötila, ilman suhteellinen kosteus (RH) ja paine-ero tutkittavan rakenteen yli. Kokeita voidaan tehdä joko vakio-olosuhteissa tai muuttuvissa olosuhteissa. Vakio-olosuhtekokeessa seurataan tutkittavan rakenteen käyttäytymistä stationääritilanteessa. Muuttuvissa olosuhteissa tehtävässä kokeessa vaihdellaan jotakin tai joitakin olosuhdetekijöitä tietyn väliajoin.



Kuva 1. Periaatekuva kokeessa käytetystä koelaitteistosta.

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



4. KOEJÄRJESTELY

4.1 Materiaalin säilytys

Testattavat eristeet toimitettiin TTY:lle 6/2005. Ilmanpitävyyskokeeseen asti eristeitä säilytettiin talonrakennustekniikan laboratorio-olosuhteissa ($\sim + 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 – 50 % RH).

4.2 Koe-elementin valmistus

Koe-elementin kehikko tehtiin vanerista ja kehikon sisään asennettiin kaksi pystyrunkopuuta ($50 \times 100 \text{ mm}^2$), joiden keskinäinen etäisyys oli 600 mm. Pystyrunkopuiden väliin asennettiin eristelevy, joiden molempiin reunoihin oli muotoiltu joustavia ulokkeita. Elementin reunoille asennettiin noin 220 mm:n levyiset eristelevyt, joissa pystyrunkopuuta vasten olevalla sivulla eristeessä oli myös ulokkeet. Reunimmaisten eristelevyjen ulokkeiden väleihin asennettiin muutamia pieniä puukappaleita, jotta reunalevyjen uretaanivaahdotus ei olisi painanut ulokesaumoja kiinni pystyrunkopuihin. Tällä menettelyllä ulokkeet painuivat pystyrunkopuun kummallakin puolella saman verran runkopuuta vasten. Kehikon ja eristelevyjen välinen ilmanpitävyys varmistettiin polyuretaanivaahdotuksen lisäksi elementin molemmin puolin ko. rajakohtaan asennetulla alumiiniteippauksella. Ennen eristeiden asennusta pystyrunkopuiden ja kehikon väliset liitoskohdat tiivistettiin silikonilla.

4.3 Koe-elementin asennus ja kokeen valmistavat toimenpiteet

Koe-elementti asennettiin lämpimän kammion tutkimusaukkoon ja se kiristettiin tutkimusaukon laippojen kumitiivisteitä vasten. Seinärakenne asennettiin tutkimusaukkoon siten, että koeseinän ulkopinta oli lämpimään kammioon päin. Lämpimän kammion sisälle kokeessa säädettiin ylipaine. Tällä mallinnettiin normaalia rakennuksen tilannetta, jossa ulkona on tyypillisemmin ylipaine verrattuna rakennuksen sisäpuoleen.

Ennen varsinaisten kokeiden aloitusta koe-elementin sisäpinta (lämpimästä kammioista pois-päin oleva sivu) verhottiin yhtenäisellä muovilla ja muovin reunat käännettiin elementin toiselle puolelle ja teipattiin kiinni ilmatiiviisti elementin kehikon ulkoreunaan. Muovin asennuksen tarkoituksena oli järjestää tilanne, jossa koe-elementin läpi ei virtaa ilmaa ja siten selvittää lämpimän kammion vuotoilmamäärä ennen varsinaista koetta (= lämpimän kammion vuotoilmakalibrointi samoissa olosuhteissa, joissa varsinainen koe tehdään). Ilmavuotoja lämpimästä kammioista aiheuttaa mm. lämpimän kammion seinien läpiviennit sekä elementin kehikon ja tutkimusaukon välinen liitoskohta. Vuotoilmamäärän selvityksen jälkeen elemen-

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



tin pintaan asennettu muovi poistettiin elementin sisäpinnalta, jotta kokeessa pystyttiin sen jälkeen määrittämään koe-elementin ulokesaumojen ilmavuotomäärä.

4.4 Koeolosuhteet ja mittaukset

Ennen koetta tehdyssä vuotoilmakalibroinnissa ja varsinaisessa kokeessa lämpimän kammion ilman lämpötila oli noin +22 °C ja pakkahuoneen noin +18 °C. Siten koe-elementin keskilämpötila oli noin +20 °C.

Lämpimän kammion vuotoilmakalibroinnissa ja varsinaisessa kokeessa säädettiin rakenteen yli 50 Pa:n paine-ero. Paine-ero rakenteen yli tehdään pumppaamalla ilmaa lämpimään kammioon ilmapumppujen avulla. Paine-eroa mitattiin kolmesta eri kohdasta (elementin ylä-, keski- ja alaosasta) paine-erolähettimeiden avulla. Paine-erolähettimet ovat Furness Control Ltd:n valmistamia FCO 16 – tyyppin lähettämiä.

Kokeen aikana seurattavia suureita olivat seuraavat:

- paine-ero rakenteen yli ja paine laminaariputkessa (Dp) [Pa]
- lämpötilat sisällä ja ulkona (T) [°C]
- ilman suhteellinen kosteus sisällä ja ulkona RH [%]

4.5 Mitattujen suureiden epävarmuudet

Taulukossa 4.1 on esitetty kokeessa mitattujen suureiden mittausepävarmuudet. Laminaariputken paine-eromittauksien mittausepävarmuudet voivat olla joissakin tapauksissa taulukossa ilmoitettuja arvoja suuremmat johtuen mittaustulosten rekisteröinnissä käytetyn AD/DA – muuntimen mittausepävarmuudesta.

Taulukko 4.1 Mitattujen suureiden mittausepävarmuudet.

Suure	Mittausepävarmuus
Lämpötila	$\pm 0,1 \text{ °C}$ (20 °C) $\pm 0,005 \text{ °C/°C}$
Suhteellinen kosteus	$\pm 2,0 \text{ % RH}$ (0 to 90 % RH) $\pm 3,0 \text{ % RH}$ (90 to 100 % RH)
Paine-ero	0,1 % lukemasta + 0,01 Pa (20 °C)

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



4.6 Mittausajankohta

Koe-elementin ilmanpitävyys ja ennen koetta tehty vuotoilmakalibrointi tehtiin 3.1.2006 – 10.01.2006 välisenä aikana. Jokainen koe (kokeet 1-3) kesti noin 15-25 tuntia. Koeolosuh-
teiden annettiin tasaantua useita tunteja ennen tulosten keräämistä. Varsinaiset tulokset otet-
tiin viimeisen kahdeksan tunnin keskiarvona 15 minuutin välein tallennetuista tuloksista.

5. ILMANPITÄVYYSKOKEESSA KÄYTEYT ERI SAUMAVAIHTOEHDOT

Koe-elementin ilmanpitävyys määritettiin kolmella eri puurungon ja lämmöneristeen välisel-
lä saumavaihtoehdolla (kokeet 1-3). Kokeessa 1 puurungon ja lämmöneristeen välinen ilma-
tiiviyys aikaansaatii lämmöneristeen reunoissa olevien joustavien ulokkeiden avulla. Läm-
möneristeen pontattu reuna painettiin pystyrunkopuuta vasten puulistalla ($50 \times 25 \text{ mm}^2$), joka
ruuvattiin pystyrunkopuuhun ruuveilla k 300 jaolla. Koe 1:n rakenne on esitetty tarkemmin
liitteessä 2.

Koe 2:ssa pystyrunkopuihin kiinnitetyt puulistat irrotettiin ja listan alle lämmöneristeiden
rajakohtaan vaahdotettiin polyuretaanivaahdotus. Puulista kiinnitettiin uudelleen vaahdotuk-
sen päälle. Koe 2:n rakenne on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Koe 3:ssa elementin sisäpinta oli vastaavanlainen kuin koe 2:ssa. Koe 3:ssa elementin ulko-
pintaan pystyrunkopuiden ja lämmöneristeiden rajakohtaan asennettiin polyuretaanivaahdo-
tus. Koe 3:n rakenne on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

6. TULOKSET

Rakenteen ilmanpitävyyden määrittäminen perustuu paine-eron ja rakenteen läpi siirtyvän
ilmamäärän mittaamiseen. Ilmamäärän ja ilmavirran tiheyden mittaamiseen käytettiin la-
minaariputken perustuvaa mittausmenetelmää. Laminaariputken koko valittiin ilman tila-
vuusvirran perusteella.

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Pumpattavan ilman tilavuusvirta (R_{lp}) laminaariputkessa laskettiin kaavalla:

$$R_{lp} = \frac{R_{\max}}{\Delta p_{R\max}} \Delta p_{lp}$$

missä

R_{lp}	pumpattavan ilman tilavuusvirta laminaariputken kohdalla (l/min)
R_{\max}	laminaariputken maksimi-ilmamäärä (kokeessa käytetyllä laminaariputkella 30,0 l/min)
$\Delta p_{R\max}$	laminaariputken maksimi-ilmamäärää vastaava paine-ero (kokeessa käytetyllä laminaariputkella 92,4 Pa)
Δp_{lp}	pumpattavan ilman paine-ero laminaariputkessa (Pa)

Ilman kokonaistilavuusvirta lämpimän kammion läpi (ilman tiheyden muutos) laskettiin kaavalla:

$$R_{\text{kok}} = \frac{T_{si} + 273,15}{T_{lp} + 273,15} R_{lp}$$

missä

R_{kok}	lämpimään kammioon siirtyvä ilman kokonaistilavuusvirta (l/min)
T_{si}	lämpimän kammion sisäilman lämpötila tutkittavan rakenteen ja suojalevyn välissä (°C)
T_{lp}	pumpattavan ilman lämpötila laminaariputken kohdalla (°C)
R_{lp}	pumpattavan ilman tilavuusvirta laminaariputken kohdalla (l/min)
R_{\max}	laminaariputken maksimi-ilmamäärä (kokeessa käytetyllä laminaariputkella 30,0 l/min)
$\Delta p_{R\max}$	laminaariputken maksimi-ilmamäärää vastaava paine-ero (kokeessa käytetyllä laminaariputkella 92,4 Pa)
Δp_{lp}	pumpattavan ilman paine-ero laminaariputkessa

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Taulukossa 6.1 on esitetty mittaustulokset elementin läpi kokeessa siirtyneestä ilman kokonaistilavuusvirrasta.

Taulukko 6.1 Ilman kokonaistilavuusvirrat elementin läpi kokeissa 1-3 (8 tunnin keskiarvot jaksojen lopussa).

Koe [nro]	R_{kok} [l/min]
Koe 1	7,20
Koe 2	1,29
Koe 3	1,06

Taulukossa 6.2 on esitetty kokeiden aikana rakenteen yli mitatut paine-erot sekä kokeen aikana vallinneet sisä- ja ulkoilman lämpötila- ja kosteusolosuhteet.

Taulukko 6.2 Paine-erot, lämpötilat ja suhteelliset kosteudet kokeissa 1-3 (8 tunnin keskiarvot jaksojen lopussa).

Koe [nro]	Paine-ero rakenteen yli [Pa]	Sisäilman lämpötila [T]	Sisäilman RH [%]	Ulkoilman lämpötila [T]	Ulkoilman RH [%]
Koe 1	50,0	22,2	19,4	18,3	23,6
Koe 2	50,0	22,4	19,4	18,5	23,6
Koe 3	50,0	22,4	18,7	18,5	23,4

Koelementissä oli yhteensä noin 4340 mm ulokesaamaa (kaksi pystyrunkotolppaa, joissa oli yhteensä neljä saamaa ja jokainen saama oli pystysuunnassa noin 1085 mm pitkä). Taulukossa 6.3 on esitetty koe-elementin läpi menevän ilman kokonaistilavuusvirta saumametriä kohden (tässä on oletettu, että kaikki vuotoilma menee koe-elementin läpi ulokesaumojen kautta).

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Taulukko 6.3 Ilman kokonaistilavuusvirrat koe-elementin läpi saumametriä kohden kokeissa 1-3 (8 tunnin keskiarvot jaksojen lopussa). Koe-elementissä olevien saumojen yhteispituutena on käytetty 4,34 metriä.

Koe [nro]	R_{kok} [l/min]
Koe 1	1,66
Koe 2	0,30
Koe 3	0,24

Seuraavassa on esimerkkinä laskettu koetulosten perusteella rakennuksen ilmavuotoluvut (n_{50} – arvot) eri saumavaihtoehdoille. Tässä laskettu ilmavuotoluku määräytyy ainoastaan ulkoseinien ulokesaumojen kautta kulkevan vuotoilman kautta. Normaalissa rakennuksessa ilmavuotoja aiheutuu myös muista rakenneosista (yläpohja, alapohja, ikkunat jne.) sekä sen lisäksi erilaisista liitoskohdista. Siitä syystä todelliset n_{50} – luvut ovat varmuudella tässä esitettyjä suurempia. Lisäksi tulee huomioida, että normaalista rakennuksesta mitattuun todelliseen ilmavuotolukuun vaikuttavat mm. käytetyt materiaalit, rakennustyön huolellisuus yms. Todellisesta rakennuksesta ei pystytä määrittämään esimerkiksi sitä, mikä osa kokonaisvuotoilmasta tulee mistäkin rakenneosasta tai liitoskohdasta. Siitä syystä esimerkiksi nyt saatuihin tuloksiin ei voida lisätä tiettyä lukua, jotta saataisiin arvioitua rakennuksen kokonaisilmavuotolukua.

Tässä esimerkissä rakennuksen pinta-ala on 150 m^2 ($15 \text{ m} * 10 \text{ m}$) ja tilavuus 375 m^3 . Oletetaan, että ulkoseinän pystyrunkopuut ovat k600 – jaolla. Sen perusteella pystyrunkopuita olisi yhteensä noin 85 kappaletta. Yhden pystyrunkopuun pituudeksi oletetaan 2,5 m. Yhteensä pystyrunkopuuta olisi noin 215 metriä ja ulokesaumaa 430 m. Taulukossa 6.4 on esitetty edellä mainittujen lähtötietojen perusteella lasketut n_{50} – luvut ko. rakennuksen ulkoseinille.

Taulukko 6.4 Esimerkkirakennuksen ulkoseinien perusteella lasketut ilmanvuotoluvut.

Koe [nro]	n_{50} - luku [1/h]
Koe 1	0,115
Koe 2	0,021
Koe 3	0,017

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
 Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



7. TULOSTEN TARKASTELU

Jokainen koe tehtiin saman suuruisella rakenteen yli vallitsevalla paine-erolla (50 Pa) ja säädetty paine-ero pysyi hyvin tasaisena kaikkien kokeiden aikana. Myös rakenteen molemmin puolin olevat ilman lämpötilat ja suhteelliset kosteudet pysyivät kaikkien kokeiden aikana tasaisina.

Koe-elementin läpi menevän ilman kokonaistilavuusvirraksi kokeessa 1 saatiin 7,20 l/min. Kokeissa 2 (1,29 l/min) ja 3 (1,06 l/min) ilman kokonaistilavuusvirrat elementin läpi olivat selvästi pienempiä. Kokeessa 2 elementin sisäpinnan pystysaumoissa käytetty polyuretaanivaahdotus lisäsi elementin ilmatiiviyttä oleellisesti verrattuna kokeen 1 tulokseen. Kokeessa 3 elementin ulkopintaan lisätty polyuretaanivaahdotus ei lisännyt ilmatiiviyttä oleellisesti verrattuna kokeeseen 2. Kuitenkin jokaisen kokeen tuloksia voidaan pitää ilmatiiviyden kannalta hyvinä. Erityisen hyviä tulokset olivat kokeissa 2 ja 3.

Kokeen 1 tulokseen vaikuttanee oleellisesti pystysauman päällä käytetyn puuriman kireys. Jos lämmöneristelevy on kiero (kokeessa käytetyissä lämmöneristelevyissä oli noin 10 mm:n kierous), ne eivät painaudu pystyrunkopuuta vasten kunnolla. Puuriman kiristyksellä eristeet painuvat puuta vasten tiiviimmin. Kokeessa 1 puurima kiristettiin pystyrunkopuuta vasten huolellisesti ruuvikiristyksellä. Sen lisäksi pystyrunkopuun pinnan laatu vaikuttanee ilmatiiviyteen. Mitä sileämpi puun pinta on, sitä paremmin ja tiiviimmin ulokkeet painuvat pystyrunkopuuta vasten. Kokeessa käytettiin karkeahöylättyä puutavaraa. Normaalilla sahatavarella ilmavuoto olisi todennäköisesti ollut suurempi.

Yleisesti ottaen rakenteiden ja liitoskohtien yms. ilmatiiviyteen vaikuttaa huolellinen rakentaminen. Tässä tulee huomioida, että koe-elementti valmistettiin laboratorio-olosuhteissa, jolloin rakenne on pinta-alaltaan pieni ja työvirheiden mahdollisuus on siten huomattavasti pienempi kuin normaalin kokoisissa rakenteissa. Erityisesti polyuretaanivaahdotuksen huolellinen toteuttaminen on tärkeää. Tästä johtuen seinärakenteissa on suositeltavampaa käyttää saumavaihtoehtoja, joissa polyuretaanivaahdotus on mukana.

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



LIITTEET

Liite 1:	Valokuvia	1s.
Liite 2:	Kuva koe-elementistä	1s.
Liite 3:	Kuvat eri saumavaihtoehtoista	1s.

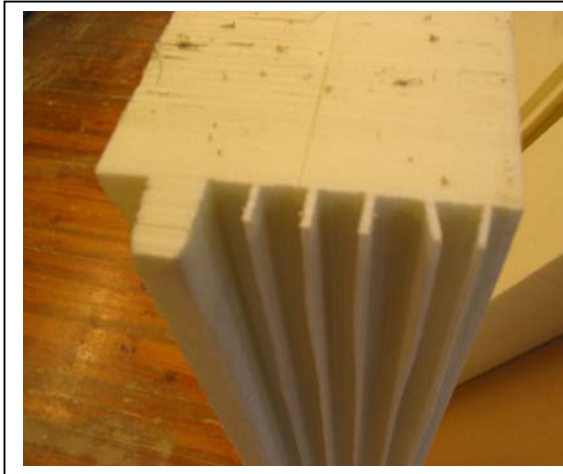
Tampereella 18.1.2006

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennetekniikka

Juha Vinha
Tekn. lis., erikoistutkija

Kimmo Lähdesmäki
Rak. ins., tutkimusapulainen

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



Kuva 1. Kokeessa käytetty ulokereunainen XPS – lämmöneriste.



Kuva 2. Lämmöneristeen ja kehon väli tiivistettiin kuvassa näkyvällä alumiiniteipillä ja sen alla olevalla polyuretaanivaahdotuksella.



Kuva 3. Koe-elementti asennettuna lämpimän kammion tutkimusaukkoon. Elementin ulkopinta on tutkimusaukkoon päin.

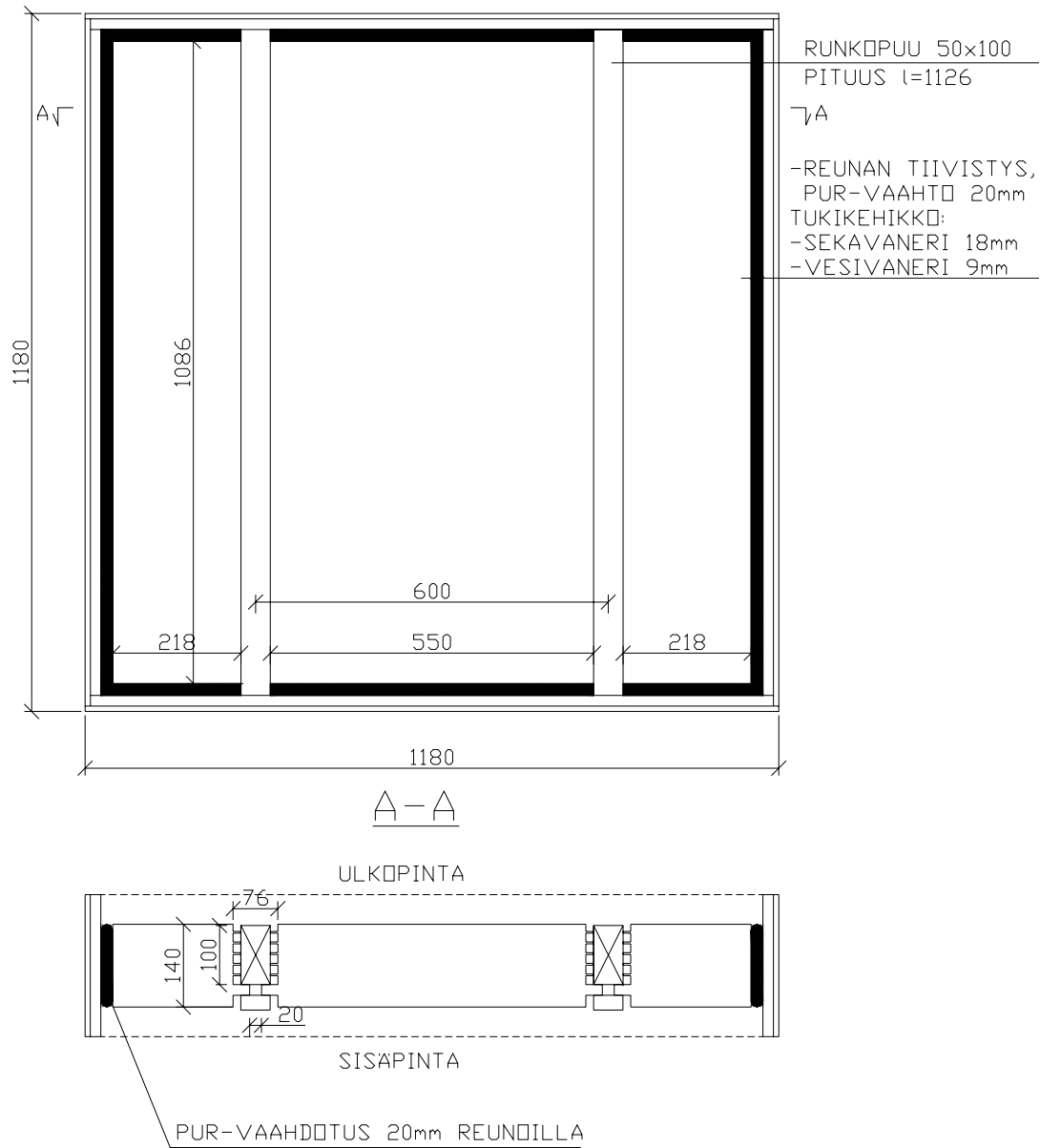


Kuva 4. Kuva pystyrunkopuun kohdalta, johon on kiinnitetty kuvassa näkyvä puurima. Puuriman avulla lämmöneriste painui tasaisesti koko matkalta pystyrunkopuuta vasten.

Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



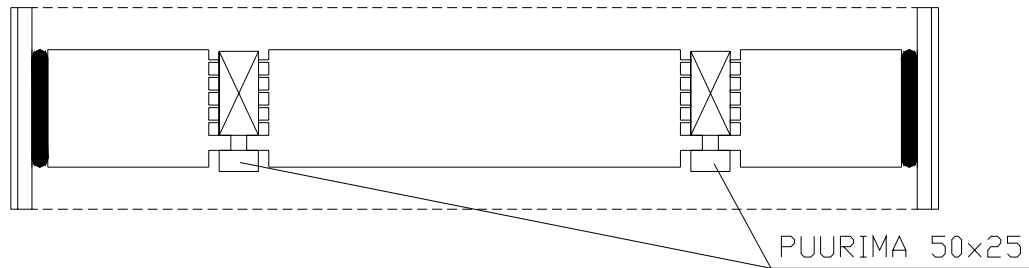
KOE-ELEMENTTI (kuva ei mittakaavassa)



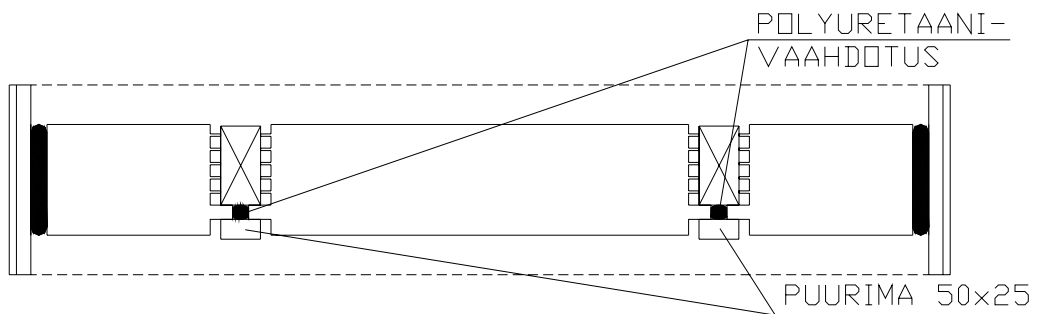
Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.



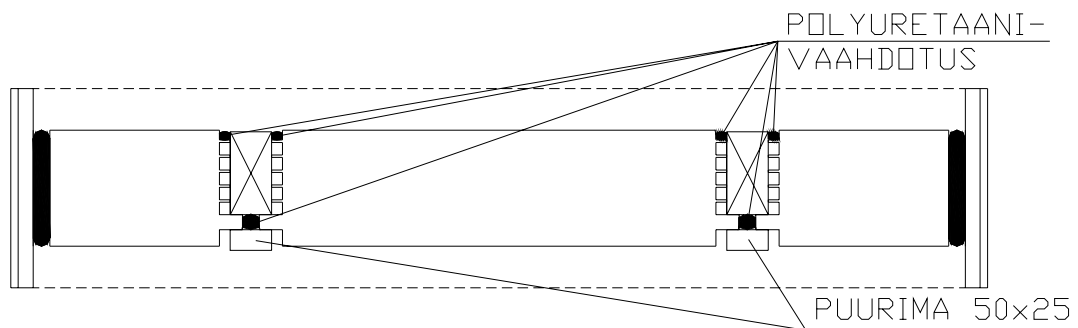
KOE 1 (SAUMAVAIHTOEHTO 1):



KOE 2 (SAUMAVAIHTOEHTO 2):



KOE 3 (SAUMAVAIHTOEHTO 3):



Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja koe-elementtejä.
Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan.