

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Kiinteistön hoito, korjaus ja restaurointi

2012

Mats Walli

# LAMELLIERISTEEN HYÖDYNTÄMINEN LOIVISSA KATTORAKENTEISSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Kiinteistön hoito, korjaus ja restaurointi

Kevät 2012 | 66 sivua

Maarit Järvinen (Turku AMK), Jukka Sevón (Paroc Oy)

Mats Walli

# LAMELLIERISTEEN HYÖDYNTÄMINEN LOIVISSA KATTORAKENTEISSA

Työn perustana toimivat kiristyvät, energiatehokkuutta käsittelevät rakentamismääräykset, jotka vaikuttavat merkittävästi rakennuksien lämmöneristykseen suunnitteluun ja toteutukseen. Lisäksi tarve tutkia ja kehittää loivien kattorakenteiden lämmöneristystyön rakenneratkaisuja, rakennusmateriaaleja ja asennustyötä muodostivat hyvän kokonaisuuden opinnäytetyön tekemiseen.

Tavoitteena oli selvittää mineraalivillasta valmistetun lamellimaisen lämmöneristeen tuoteominaisuuksia ja soveltuvuutta rakennustuotantoon. Tutkimuksissa pyrittiin kehittämään rakenneratkaisu, jolla rakenteen höyrynsulku pystyttäisiin säilyttämään ehjänä.

Tutkimustyöt aloitettiin laboratoriokokeilla, joilla selvitettiin lamellin ja erilaisten bitumikermien kiinnittymistä ja materiaaliominaisuuksia. Työn edetessä tutkimuksia jatkettiin kenttäkokeilla, joissa suoritettiin loivan vesikattorakenteen koerakentaminen lamellia käyttämällä. Kenttäkokeissa tutkimukset keskittyivät lamellin asennustyöhön liittyviin erityispiirteisiin, työergonomian muutoksiin sekä tuotantonopeuteen. Kenttäkokeiden valmistuttua tutkittiin lamellirakenteen ja perinteisen levyrakenteen kustannuseroja.

Tutkimuksien päätyttyä voitiin todeta, että lamellieristeellä on mahdollista toteuttaa loivan yläpohjarakenteen lämmöneristys. Lopuksi pohdittiin mahdollisia jatkotutkimuksia ja kehitystarpeita.

ASIASANAT:

lämmöneristys, mineraalivilla, yläpohjat

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Real Estate Management and Restoration

Spring 2012 | 66 pages

Maarit Järvinen (TUAS), Jukka Sevón (Paroc Oy)

**Mats Walli**

## UTILISATION OF LAMELLA INSULATION IN LOW-PITCHED ROOF STRUCTURES

The ever stricter building regulations concerning energy efficiency were the primary reason for the creation of thesis. The building regulations have a significant effect on structural design and also on how the thermal insulation is executed. There was also a need to examine and develop the structures, building materials and the installation process applied in low-pitched roof structures. These research needs formed a suitable basis for the thesis.

The aim was to examine the product properties of thermal insulation lamella material made of mineral wool and also its suitability to building production. In the study one objective was also to develop a solution where the vapor barrier is retained completely puncture free.

The study was started with laboratory tests to determine the material properties of the lamella and to examine the attachment between the lamella and various bitumen products. The study proceeded with field tests, where a roof structure was insulated using the mineral wool lamella. In the field tests the examination and monitoring were focused on the characteristics of the lamella installation, the ergonomics of the installation work and the time consumed during the installation process. After the field tests were finished, a cost estimation was made to compare the lamella-insulated and a traditional slab-insulated structure.

As a conclusion it can be discovered that low-pitched roof structures can be insulated with thermal lamella insulation. Eventual further studies and needs for development were also considered.

### KEYWORDS:

thermal insulation, mineral wool, roof structure

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 LÄMMÖNERISTYS</b>	<b>10</b>
2.1 Lämmöneristys yleisesti	10
2.2 Lämmönjohtavuus	10
2.3 Eristemateriaalit	12
2.3.1 Mineraalivillat	12
2.3.2 Muovieristeet	14
2.3.3 Puukuitueristeet	16
2.4 Lamellieristeet	17
<b>3 LOIVAN VESIKATON RAKENNE</b>	<b>19</b>
3.1 Vesikatot yleensä	19
3.2 Yläpohjarakenne	20
3.3 Kantava rakenne	21
3.4 Ilmansulku	21
3.5 Höyrynsulku	21
3.6 Vedeneristyksen alustat	22
3.6.1 Puualustat	23
3.6.2 Betonialustat	24
3.6.3 Lämmöneristelevyalusta	25
3.7 Tuuletus	27
3.7.1 Tuulettuvat yläpohjarakenteet	28
3.7.2 Tuulettuvat umpirakenteet	28
3.8 Vedeneristys ja kateratkaisut	29
3.9 Kiinnitys ja kiinnikkeet	30
3.9.1 Bitumikiinnitys	31
3.9.2 Mekaaninen kiinnitys	32
3.9.3 Kiinnitys eri alustoille	33
3.10 Katon erikoisosat	33
3.10.1 Läpiviennit	33
3.10.2 Räystäät	34

3.10.3 Pellitykset	34
3.10.4 Kattokaivot	34
3.10.5 Ulosheittäjät	35
3.10.6 Alipainetuulettimet	35
3.10.7 Kattopollarit	35
3.10.8 Jiirit ja rintataitteet	36
<b>4 LABORATORIOKOKKEET</b>	<b>37</b>
4.1 Lamellieristeen ja bitumiliimauksen vetolujuus	37
4.2 Lamellieristeen ja eri bitumisidoksien välinen vetolujuus	38
4.3 Pienoismallit	39
<b>5 KENTTÄKOKKEET</b>	<b>44</b>
5.1 Koerakentamisen kohde	44
5.2 Vesikattorakenne	44
5.3 Havainnot asennustyössä	52
5.3.1 Materiaaliominaisuudet	52
5.3.2 Työstettävyys ja ajankäyttö	56
<b>6 KUSTANNUSVAIKUTUKSET</b>	<b>57</b>
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>62</b>
7.1 Johtopäätökset	62
7.2 Mahdollisuudet ja tulevaisuus	63
<b>LÄHTEET</b>	<b>65</b>

## **LIITTEET**

- Liite 1. Vetolujuuskokeiden tarkat tulokset
- Liite 2. U-arvon määrittäminen

## KUVAT

Kuva 1. Mineraalivillasta valmistettu lamelli.	17
Kuva 2. Yläpohjan rakennekerrokset tuulettuvassa umpirakenteessa.	20
Kuva 3. Villakaton tuuletus.	28
Kuva 4. Vetolujuuskoe.	37
Kuva 5. Vetolujuuskappaleiden valmistus.	38
Kuva 6. Pienoismalli.	40
Kuva 7. Harjaosan pienoismallin alusta.	41
Kuva 8. Pienoismallin kokoojakanava.	42
Kuva 9. Valmis pienoismalli.	43
Kuva 10. Koerakennuskohde.	44
Kuva 11. Höyrinsulun asennus.	45
Kuva 12. Lamellin kiinnitys hitsaten.	46
Kuva 13. Lamellin kiinnitys liimaten.	47
Kuva 14. Kokoojakanavan valmistus.	48
Kuva 15. Valmis vesikatto.	49
Kuva 16. Harjaosan leikkauskuva.	50
Kuva 17. Levyristeisen rakenteen leikkauskuva.	51
Kuva 18. Vanerialustan vääntymä.	53
Kuva 19. Lamellien mekaaninen kiinnitys.	54
Kuva 20. Aluskermin liimaus.	55

## TAULUKOT

Taulukko 1. U-arvo vaatimukset.	11
Taulukko 2. Lauta-alustan mitoitus.	23
Taulukko 3. Puulevyalustan mitoitus.	24
Taulukko 4. Lämmöneristeiden rasitusluokat.	26
Taulukko 5. Bitumikermien käyttöluokat.	30
Taulukko 6. Vetolujuuskokeiden tulokset.	39
Taulukko 7. Lamellirakenteen rakennekerrokset ja painot.	50
Taulukko 8. Levyrakenteen materiaalikustannukset.	58
Taulukko 9. Lamellirakenteen materiaalikustannukset.	59
Taulukko 10. Levyrakenteen työkustannukset.	59
Taulukko 11. Lamellirakenteen työkustannukset.	60
Taulukko 12. Kokonaiskustannukset.	60

## KÄYTETYT LYHENTEET

$\lambda$	Lämmönjohtavuus (Kaila 2008, 460).
$\lambda_n$	Normaalinen lämmönjohtavuus (Kaila 2008, 460).
APP	Ataktinenpolypropeeni (Kuntsi 1998, 10).
CPE	Kloorattu polyeteeni (Kuntsi 1998, 17).
EPDM	Eteenipropeeni termopolymeeri (Kuntsi 1998, 17).
EPS	Polystyreeni (Kuntsi 1998, 43).
PUR	Polyuretaani (Kuntsi 1998, 43).
PVC	Polyvinyylikloridi (Kuntsi 1998, 17).
ROLg	Uritettu kattolamelli.
SBS	Styreenibutadieenistyreeni (Kuntsi 1998, 10).
U-arvo	Rakenteen lämmönläpäisevyyttä eli lämmöneristyskykyä kuvaava arvo (Rockwool Oy 2011).
XPS	Umpisoluinen polystyreeni (Kuntsi 1998, 43).

# 1 JOHDANTO

Energiatehokkuus ja ekologisuus ovat kestävä kehityksen perustana kaikessa yhteiskunnan toiminnassa, myös rakentamisessa. Rakennusten ja rakentamisen energiatehokkuuteen löytyy erilaisia määräyksiä ja ohjeita, joilla pyritään parantamaan rakennusten energiataloutta. Energiatehokkuuteen vaikuttaa olennaisesti mm. rakennuksen lämmöneristys. Rakenteen lämmöneristyskerrosta kasvattamalla voidaan suoraan vaikuttaa rakenteen läpi kulkeutuvan lämpöenergian määrään ja näin ollen myös energiakustannuksiin.

Työn lähtökohtana toimi edelleen kiristyvät rakennusten energiatehokkuutta käsittelevät rakentamismääräykset, jotka asettavat haasteita rakennusten eristämislle ja tiivydelle. Lisäksi tavoitteena on kehittää vesikattorakenne, jossa höyrynsulku säilytetään kokonaisuudessaan ehjänä.

Työ suoritettiin yhteistyöprojektina, jossa pääosapuolina toimivat Paroc Oy, Kattopal Oy ja Kattava Oy. Projektin toteutukseen osallistui myös SK-tuote Oy. Työn tavoitteena oli tutkia lammellimaisen lämmöneristeen tuomia ominaisuuksia ja mahdollisuuksia loivien kattorakenteiden toteutuksessa. Työn perustana toimi Paroc Oy:n tuotekehityksessä oleva lamellimainen ROLg-eriste.

Työ koostui pääosin neljästä eri osiosta. Ensimmäisessä osassa perehdyttiin kirjallisuuteen pohjautuen yleisesti rakennusten lämmöneristykseen. Lisäksi selvitettiin vesikattorakenteissa yleisesti käytetyt rakenne- ja materiaalivaihtoehdot sekä rakenteen suunnittelussa huomioitavia asioita.

Toisessa osiossa keskityttiin lamellieristeellä eristettävän kohteen koerakentamisen valmisteluihin. Valmistelut käsittivät laboratoriokokeita, joissa pyrittiin määrittämään materiaalien lujuusominaisuuksia ja yhteensopivuutta. Lisäksi tehtiin erilaisia pienoismalleja, joilla pyrittiin havainnollistamaan rakennetta ja tutkimaan valmistusprosessia.

Työn kolmannessa osiossa suoritettiin varsinainen koerakentaminen lamellieristettä käyttäen. Koerakentamisessa pyrittiin tutkimaan uuden rakentamistavan ja



materiaalien soveltamista tuotantoon. Tutkimukset keskittyivät uuden eristystavan tuomiin etuihin ja haittoihin sekä käsiteltävyyteen, ajankäyttöön ja työstettävyyteen.

Neljännessä osiossa käydään läpi koekohteen vesikattorakenteen materiaali- ja työkustannuksia ja verrataan niitä perinteiseen levyeristeellä eristettävään kattorakenteeseen.

## 2 LÄMMÖNERISTYS

### 2.1 Lämmöneristys yleisesti

Lämmöneristeet ovat rakennusmateriaaleja, joilla on huono lämmönjohtamiskyky ja pieni lämpökapasiteetti (Oijala 1998, 37). Rakentamisessa lämmöneristeen tarkoituksena on estää rakennuksen vaipan eri puolilla vallitsevien lämpötilojen tasaantuminen eli ts. parantaa rakennuksen energiatehokkuutta (Kaila 2008, 456; Wikipedia 2011b). Lämmöneriste estää ilmavirtauksia, lämpösäteilyä ja lämmön johtumista. Lämmöneristys voi koostua yhdestä tai useasta materiaali- tai ainekerroksesta. (Oijala 1998, 37.)

Rakennuksen lämmöneristystä suunniteltaessa tulee huomioida, että käytettävät eristeet soveltuvat kohteeseen ja ovat asetettujen vaatimusten mukaisia. Lämmöneristykselle on asetettu täydentäviä määräyksiä ja ohjeita Suomen rakentamismääräyskokoelmassa, joka perustuu Suomen maankäyttö- ja rakennuslakiin. Rakentamismääräyskokoelman osat C3 ja C4 käsittelevät rakennuksen lämmöneristystä. (Rakentamismääräyskokoelma 2011.)

### 2.2 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuuden tunnus on  $\lambda$ . Se ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuus-tilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen eri pintojen välillä on yksikön suuruinen (Leppävuori ym. 1986, 57; Ympäristöministeriö RakMK C4 2003, 3). Lämmönjohtavuuden eli  $\lambda$ -arvon yksikkö SI-järjestelmässä on W/mK, joka ilmoittaa siis, montako wattia tehoa siirtyy sekunnissa neliömetrin kokoisen ja metrin paksuisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero pintojen välillä on 1 °C. Lämmönjohtavuutta tarkasteltaessa voidaan puhua myös lämmöneristävydestä, joka on lämmönjohtavuuden käänteisarvo, eli mitä pienempi  $\lambda$ -arvo on, sitä paremmin aine eristää lämpöä. Jokaiselle aineelle tyypillinen  $\lambda$ -arvo ei ole aina vakio, vaan riippuu mm.

lämpötilasta, kosteudesta ja materiaalin tiheydestä. Yleisesti voidaan todeta, että yleensä kevyt ja huokoinen aine on eristävyydeltään parempi kuin raskas ja tiivis. Rakennuksen lämmöneristystä suunniteltaessa käytetään normaalisia  $\lambda_n$ -arvoja, jotka kuvaavat lämmönjohtavuutta tavanomaisissa olosuhteissa. (Kaila 2008, 460; Leppävuori ym. 1986, 57.)

Rakenteiden lämmönläpäisevyyttä kuvataan U-arvolla, joka ilmoittaa lämpömäärän, joka siirtyy neliömetrin suuruisen rakenteen läpi sekunnissa, kun lämpötilaero on yksi aste (Kaila 2008, 461). U-arvon yksikkö on  $W/m^2K$ , joka rakentamisessa kuvaa eri rakenneosien eristyskykyä. Mitä pienempi on rakenteen U-arvo, sitä parempi on rakenteen eristävyys. (Rockwool Oy 2011.) Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 on asetettu jokaiselle rakennuksen rakenneosalle käyttötarkoituksesta riippuen U-arvovaatimus. Vaatimuksista käy ilmi, kuinka hyvä kunkin rakennusosan eristyskyky tulisi olla. (Ympäristöministeriö RakMK C3 2010, 7.)

Taulukko 1. U-arvovaatimukset (Ympäristöministeriö RakMK C3).

Rakenneosa	U-arvo ( $W/m^2K$ )	
	Lämmin, erityisen lämmin tai jäähdytettävä tila	Puolilämmin tila
Seinä	0,17	0,26
Hirsiseinä (rakenteen keskimääräinen paksuus vähintään 180 mm)	0,40	0,60
Yläpohja / ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,14
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17	0,26
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16	0,24
Ikkuna / kattoikkuna / ovi	1,0	1,4

Rakenneosan lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla  $U = 1 / R_t$ .  $R_t$  ( $R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$ ) kuvaa rakenneosan kokonaislämmönvastusta, joka koostuu rakenteen sisä- ja ulkopinnan pintavastuksesta  $R_{si}$  ja  $R_{se}$ :tä sekä rakenteen eri

ainekerroksille määritetyistä lämmönvastuksista, esim.  $R_1$ ,  $R_2$  ja  $R_3$ . Ainekerroksen lämmönvastus lasketaan kaavalla  $R_1 = d_1 / \lambda_1$ , jossa  $d_1$  kuvaa ainekerroksen paksuutta ja  $\lambda_1$  ainekerroksen lämmönjohtavuutta. Yllä esitetty laskentamalli koskee ainoastaan rakenneosia, jotka ovat tasa-aineisia, tasapaksuja ja lämpö siirtyä rakenteeseen kohtisuoraan. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C4 esitetään laskentaan vaikuttavien tekijöiden, kuten kylmäsiltojen, rakenteen epätasaisuuden, ilmavirtausten ym. vastaavien tekijöiden huomioiminen laskennassa. (Ympäristöministeriö RakMK C4 2003, 5–6.)

## 2.3 Eristemateriaalit

Yleisimmin rakentamisessa käytetty lämmöneriste on mineraalivilla, mutta käytössä on myös puukuitupohjaisia ja muovista valmistettuja lämmöneristeitä (Kaila 2008, 500–537).

### 2.3.1 Mineraalivillat

Mineraalivillat ovat epäorgaanisesta kuidusta ja orgaanisesta sideaineesta muodostuva eristemateriaali (RT 36-10689, 1). Mineraalivillat voidaan valmistukseen käytettävien raaka-aineiden perusteella jakaa kivi-, lasi-, kuona- ja siliikaattivillan. Kivi- ja lasivilla ovat yleisiä lämmöneristeitä ja niitä valmistetaan myös Suomessa. (Palomäki 1993, 115; RT 36-10689, 1.)

Kivivillaa valmistetaan sulattamalla raaka-aineseos, joka koostuu pääosin emäksisistä kivilajeista. Sulatettu raaka-aine valutetaan todella nopeasti pyöriville linkokehille. Pyörivään linkokehään osuessaan sulat pisarat venyvät voimakkaassa ilmavirrassa kuiduiksi. Lasivillan valmistuksessa sula lasimassa vedetään pyörivien kehrääjien läpi kuituaiheiksi, jotka voimakasta ilmavirtaa käyttäen pidennetään kuiduiksi. Kuidutuksen yhteydessä lisätään sideainetta ja muita materiaalin ominaisuuksia parantavia kemikaaleja. Syntynyt kuitumatto siirretään karkaisu-uuniin, jossa villamatto puristetaan haluttuun paksuuteen sideaineen kovettuessa. Jäähdytyksen jälkeen mineraalivillamatto leikataan haluttui-

hin mittoihin ja pakataan. Valmistuksen yhteydessä villan pintaan voidaan kiinnittää mm. paperi-, muovi- tai alumiinipinnoite. (Siikanen 1996, 231.)

Mineraalivillan lujuusominaisuudet riippuvat mm. tiheydestä, joka tuotteesta riippuen on 15–300 kg/m<sup>3</sup> sekä kuitujen suunnasta ja sideainemäärästä. Tarkasteltavia lujuusominaisuuksia ovat mm. puristus-, veto-, ja taivutuslujuus. (Siikanen 1996, 231; RT 36-10689, 3.)

Mineraalivilla on kimmoinen aine, joka puristuksessa ensin painuu kokoon, mutta kuormituksen lakattua painuma palautuu. Riittävän suurella kuormituksella kuitujen välinen sidos tai itse kuitu rikkoutuu, jolloin painuma ei enää palaudu. Puristuslujuus riippuu ensisijaisesti tiheydestä ja kuitujen suunnasta. Mineraalivillan vetolujuus riippuu kuitujen suunnasta. Vetolujuus on aina suurempi kuitujen suunnassa. Taivutuslujuus ei ole käytön kannalta merkittävä ominaisuus, koska mineraalivillalla pyritään pääsääntöisesti eristämään tasaisia pintoja. (Siikanen 1996, 231–232; RT 36-10689, 3.)

Mineraalivillan lämmöneristävyys perustuu sen huokoiseen rakenteeseen ja paikalla pysyvän ilman huonoon lämmönjohtavuuteen, joka on n. 0,025 W/mK. Mineraalivillassa ilman osuus on n. 95 % tuotteen tilavuudesta ja kevyissä villoissa jopa 99 %. Mineraalivillan normaalin lämmönjohtavuus  $\lambda_n$  on tuotteesta riippuen n. 0,033–0,050 W/mK. Muita lämpöteknisiä ominaisuuksia ovat mm. lämmönkestävyys- ja palo-ominaisuudet, vesihöyrynläpäisevyys, kosteusominaisuudet ja ilmanläpäisevyys. (Siikanen 1996, 233; RT 36-10689, 4.)

Mineraalivillan kuumetessa riittävästi sen sideaine hajoaa ja haihtuu. Haihtuminen alkaa +200 °C:ssa ja +250 °C:ssa sideaine on kokonaan palanut. Jos lämpötilaa nostetaan edelleen, alkavat kuidut pehmetä. Sintraantuminen tapahtuu kivivillalla n. 1100 °C:ssa ja lasivillalla n. 680 °C:ssa. (RT 36-10689, 4.) Palo-ominaisuuksia voidaan parantaa pienentämällä sideaineen määrää (Siikanen 1996, 234). Mineraalivilla on rakenteeltaan huokoista, joten se läpäisee ilmaa hyvin. Koska mineraalivillan lämmöneristyskyky perustuu paikalla pysyvään ilmaan, on ilman liikkuvuus estettävä tehokkaasti mm. tuulensuojalevyjä käyttämällä. Ilmanläpäisevyys on suurempi pehmeillä villoilla, mutta jäykkien ja ras-

kaiden mineraalivillojen ilmanläpäisevyys on niin pieni, että niitä voidaan käyttää seinämärakenteissa ilman tuulensuojaa. (Siikanen 1996, 234.) Mineraalivillan vesihöyrynläpäisevyys on muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna suuri ja vesihöyry kulkeutuu tiivistymättä mineraalivillan läpi (Leppävuori ym. 1986, 310). Ilmakuivan mineraalivillan kosteus on pienempi kuin 0,5 painoprosenttia, ja sen vaikutus eristyskykyyn on merkityksetön, mutta esim. maaeristeissä kosteus vaikuttaa lämmöneristävyteen (Siikanen 1996, 234).

Mineraalivillasta valmistetaan erilaisia eristeitä, kuten mattoja, levyjä, irtovillaa tai kouruja käyttötarkoituksen mukaan. Eristeet voidaan jakaa kuormitusta kestävämpiin pehmeisiin eristeisiin, kuormitusta kestäviin jäykkiin eristeisiin, puhallusvillaan ja äänieristyksessä käytettäviin akustolevyihin. (RT 36-10689, 1; Siikanen 1996, 235.)

### 2.3.2 Muovieristeet

Rakentamisessa mineraalivillan lisäksi käytetään erilaisia vaahdotettuja muovieristeitä, joiden lämmöneristävyys perustuu solurakenteeseen (Siikanen 1996, 275.) Käytettyjä muovieristeitä ovat mm. solupolystyreenit eli EPS ja XPS sekä polyuretaani eli PUR (Kuntsi 1998, 43).

Polystyreenin solurakenne saadaan aikaan kahdella valmistustavalla. Muottimenetelmällä valmistettua polystyreeniä kutsutaan EPS-eristeeksi. EPS:n raaka-aineena ovat pienet pentaanikaasua sisältävät styreenihelmet. Muottiin asetetut helmet saadaan lämpökäsittelyllä paisutettua haluttuun kokoon. Lämpökäsittelyn jälkeen tuote sahataan halutun kokoisiksi levyiksi. Jokainen eristelevy on mahdollista paisuttaa muotissa valmiiksi haluttuun muotoon ja kokoon, jolloin sahaukselta vältytään ja levyn pinta on tiivis ja tasalaatuinen. (Siikanen 1996, 276; Oijala 1998, 38.) Polystyreeniä voidaan valmistaa myös suulakepuristamalla, jolloin puhutaan XPS-eristeestä (Kuntsi 1998, 43). XPS-eristeet valmistetaan ns. Dow-menetelmällä, jossa sulatettuun polystyreeniin lisätään paisunta-aine ja ruiskutetaan voimakkaalla paineella suulakkeen läpi. Lopputuote on solurakenteeltaan umpinainen ja tasalaatuinen. (Kuntsi 1998, 43; Siikanen 1996,

276.) Polyuretaanieristeen valmistus perustuu kemialliseen reaktioon, jossa raaka-aineina ovat isosyanaatti ja polyoli sekä vaahdotusaine. Reaktiossa vapautuneen lämmön vaikutuksesta ponneaine kaasuuntuu ja seos laajenee. Laajentunut vaahtomainen seos kovettuu n. 2–40 minuutissa ja lopullinen lujuus saavutetaan muutamassa vuorokaudessa. (Siikanen 1996, 277.)

Muovieristeiden lujuusominaisuudet ovat ensisijaisesti riippuvaisia tuotteen tiheydestä mutta myös kuormitusajasta sekä lämpötilasta. Rakentamisessa käytettyjen EPS-eristeiden tiheys vaihtelee 15–45 kg/m<sup>3</sup> ja XPS- sekä PUR-eristeiden tiheys on 30–45 kg/m<sup>3</sup>. (Siikanen 1996, 276–277; Leppävuori ym. 1986, 276–278.)

Solupolystyreenin lämmöneristyskyky perustuu liikkumatonta ilmaa sisältävään mikrokennostoon. Normaalinen lämmönjohtavuus on EPS-eristeillä n. 0,031–0,041 W/mK ja XPS-eristeillä 0,028–0,034 W/mK. PUR-eristeen lämmönjohtavuus 0,020–0,030 W/mK perustuu sen umpinaisten solujen sisältämän kaasuseoksen eristävyysominaisuuksiin. (Siikanen 1996, 276–277; Thermisol Oy 2012.) EPS-eristeen korkein käyttölämpötila on alle +100 °C ja muutoksia lujuusominaisuuksissa voidaan havaita jo +50 °C:n lämpötilassa. XPS-eristeiden korkein jatkuva käyttölämpötila on +75 °C. (Leppävuori ym. 1986, 276–278.) Polyuretaanieristeiden korkein käyttölämpötila on +110 °C, mutta hetkellisesti PUR-eristeet voivat kestää hieman yli +200 °C:n lämpötiloja (Siikanen 1996, 278). EPS-eristeen ilmanläpäisevyys riippuu tuotteen tiheydestä ja solurakenteen tiiveydestä. Tiheyden kasvaessa ilmanläpäisevyys pienenee, ja EPS-eristeitä voidaan käyttää myös tuulensuojaeristeenä. Myös vesihöyrynläpäisevyys on pieni mutta rakenteissa on silti käytettävä höyrynsulkua. (RT 36-10690, 2.) XPS-eristeiden vesihöyrynläpäisevyys on niin pieni, että ne soveltuvat myös oikein asennettuina rakennusten höyrynsulukuksi (RT 36-10691, 2). PUR-eristeet imevät vähän vettä ja niiden vesihöyrynläpäisevyys on hyvin pieni. Eristeisiin lisätään usein valmistusteknisistä syistä eristävyttä ja kosteusteknisiä ominaisuuksia parantava pinnoite. (Siikanen 1996, 278.)

EPS-eristeitä käytetään usein maanvaraisissa rakenteissa ja routaeristeenä, mutta myös esim. sandwich-elementtien lämmöneristeenä (RT 36-10690, 1).

XPS-eristeitä käytetään yleisimmin rakenteissa, jotka ovat alttiina kosteudelle tai suurelle kuormitukselle, kuten liikennöidyt tasot ja tierakenteet (RT 36-10691, 1). PUR-eristeitä käytetään mm. sandwich-elementeissä (Siikanen 1996, 278).

### 2.3.3 Puukuitueristeet

Puukuitueriste eli selluvilla on orgaanisesta puumateriaaliin pohjautuvasta materiaalista ja epäorgaanisista lisäaineista valmistettava lämmöneriste, jonka pääraaka-aine on puuhioke, selluloosa tai sanomalehtikeräyspaperi (Kaila 2008, 504; Palomäki 1993, 118).

Selluvillan raaka-aineesta n. 80 % on jauhettua sanomalehtipaperia, n. 12 % boorihappoa ja n. 8 % booraksia. Boorihappoa ja booraksia käyttämällä lopputuotteesta saadaan palamaton. Palamattomuus perustuu puukuidun sitoman veden ja boorin kideveden kykyyn estää lämpötilan nousua rakenteessa. Boorin merkittävä lisävaikutus on sen kyky torjua hyönteisiä, homeita ja muita mikrobeja. (Kaila 2008, 506.)

Selluvillan tiheys on n. 35 kg/m<sup>3</sup> ja normaalin lämmönjohtavuus  $\lambda_n$ -arvo 0,050 W/mK. Hygrooskooppisilta ominaisuuksiltaan se vastaa puuta ja sen kosteuspi-toisuus voi olla jopa 12 %. (Kaila 2008, 506; Siikanen 1996, 51.)

Selluvillaa käytetään pääosin rakennusten seinien ja yläpohjan lämmöneristeenä. Asennus tapahtuu puhaltamalla, jolloin se soveltuu myös ahtaiden tilojen lämmöneristeeksi. Asennus voidaan tehdä kuivalla massalla tai märkäseoksena, jossa veden ja villan suhde on n. 1:1. (Kaila 2008, 504–505.) Puhallettavan eristemateriaalin lisäksi selluvillasta valmistetaan nykyään myös levyeristeitä (Ekovilla Oy 2011).



## 2.4 Lamellieristeet

Lamellieristeellä tarkoitetaan yleisesti mineraalivillalevystä leikattua soiroa, joka asennettaessa käännetään  $90^\circ$  levyristeisiin verrattuna. Lamellin kääntäminen  $90^\circ$  antaa tuotteelle sille tyypilliset erot levyihin verrattuna.



Kuva 1. Mineraalivillasta valmistettu lamelli (Paroc Oy 2012d).

Lamellieristeiden valmistusprosessi ei käytännössä eroa normaalin levyristeen valmistuksesta muuten kuin lopputuotteen sahauksen osalta, jossa lamelli leikataan halutun kokoiseksi. (Ohutlevy 2011; K. Rantala, henkilökohtainen tiedonanto 16.1.2012.)

Lamellieristeen suurin ero levyeristeisiin verrattuna on tuotteen kuituorientaatio. Lamellissa kuiturakenne on kohtisuoraan pintoja vastaan eli pystyssä, kun levyissä kuidut ovat pintojen suuntaisesti vaakatasossa. Erot kuituorientaatiossa johtuvat 90°:een kääntämisestä lamellia käytettäessä. (K. Rantala, henkilökohtainen tiedonanto 16.1.2012.)

Kuituorientaatio vaikuttaa mm. lamellin lämmöneristävyyteen ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Lämmöneristävyys on lamellieristeellä hieman levyeristettä heikompi, koska pystysuuntainen kuiturakenne läpäisee lämpöenergiaa vaakasuuntaista kuiturakennetta paremmin. Mekaaniset ominaisuudet, kuten puristuslujuus, ovat lamellilla vastaavasti levyeristettä parempia. Ulkomuodoltaan lamelli eroaa merkittävästi levyeristeestä kokonsa vuoksi. Lamellit ovat yleensä n. 1000–1500 mm pitkiä ja suhteellisen kapeita, n. 200 mm levyisiä soiroja, joiden paksuudessa voi olla suuriakin eroja. (K. Rantala, henkilökohtainen tiedonanto 16.1.2012.)

Lamellieristettä käytetään mm. teräsohutlevypintaisissa sandwich-elementeissä, rappausaluseristeinä ja erilaisissa passiivitalorakenteissa (Ohutlevy 2011; Paroc Oy 2011a). Mekaanisten ominaisuuksien vuoksi lamelli soveltuu myös kaarevien pintojen eristämiseen (Permarock 2010).

## 3 LOIVAN VESIKATON RAKENNE

### 3.1 Vesikatot yleensä

Vesikatolla tarkoitetaan katteen ja mahdollisesti käytössä olevan aluskatteen lisäksi näitä välittömästi kannattelevien tukirakenteiden muodostamaa rakennetta. Vesikaton tarkoituksena on estää sade- ja sulamisvesien tunkeutuminen kattorakenteisiin, seiniin tai sisätiloihin. Vesikatolla on katteesta riippuen oltava riittävä kaltevuus veden poisjohtamiseksi. Lisäksi katteen tulee kestää sääolosuhteiden sekä huoltotöiden aiheuttamat rasitukset. (Ympäristöministeriö RakMK C2 1998, 2–13.)

Vesikatot voidaan jakaa ryhmiin eri perustein, kuten vedenpitävyyden, kaltevuuden tai muodon mukaan (Kuntsi 1998, 7). Yleisesti käytetyin peruste kattoja ryhmiteltäessä on katon kaltevuus. Kaltevuuden perusteella katot jaetaan jyrkkiin, loiviin ja tasakattoihin. Loivan ja jyrkän katon välillä ei ole tarkkaa rajaa, mutta yleensä jyrkän katon kaltevuus on suurempi kuin 1:20. (Kattoliitto 2007, 37.)

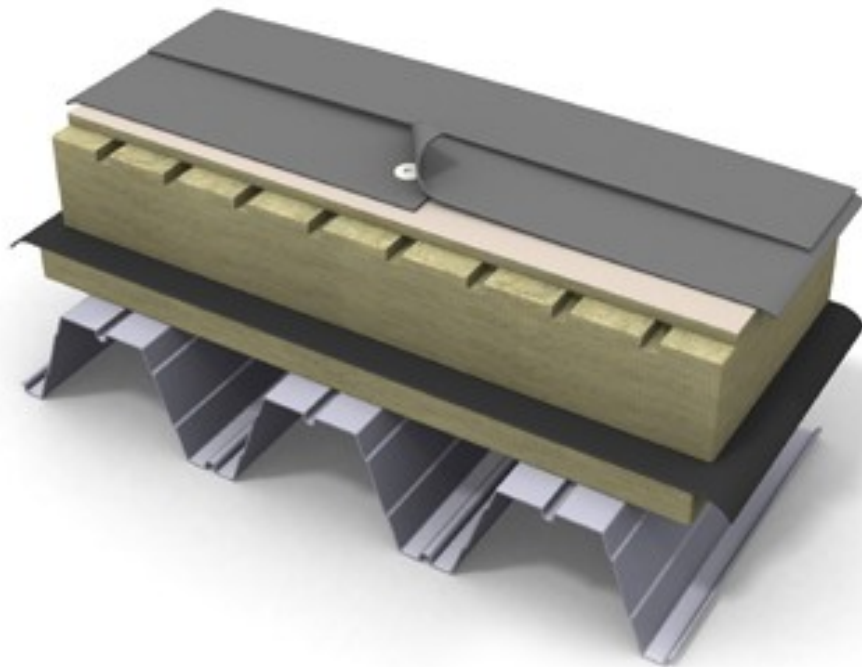
Loivia kattoja ovat katot, joiden kaltevuus on 1:10 tai vähemmän. Suunnittelun ylärajana pidetään kaltevuutta 1:80, jota loivempia kattoja ei tulisi suunnitella (Kattoliitto 2007, 7). Lähtökohtaisesti katon kallistukset tulisi suunnitella kantaviin rakenteisiin. Katon vähäisen kaltevuuden vuoksi katteen saumojen tulee kestää vedenpainetta. Yleisesti loivan katon katemateriaaleina käytetään erilaisia kermikatteita. Pääasiallisesti käytössä on kumibitumikermi mutta myös erilaisia muovikermejä, kuten PVC- tai CPE-kermejä, käytetään. (Sisäilmayhdistys 2008.)

Loivat katot soveltuvat pääsääntöisesti suurten runkopituuksien teollisuusrakennuksiin ja varastohalleihin sekä suuriin kauppakeskuksiin. Asuinkerrostoissa käytetään yhä enemmän pelti- tai tiilikatetta, jolloin kyse on yleensä jyrkästä katosta. Lisäksi kaavamääräykset, tontti, rakennusjärjestys sekä ympäri-

vät rakennukset vaikuttavat uudisrakennuksen kattotyypin valintaan. (Rakennustieto 2006.)

### 3.2 Yläpohjarakenne

Yläpohjarakenne on kokonaisuus, joka koostuu vedeneristyksestä, lämmöneristyksestä, höyrynsulusta, ilmansulusta, kantavasta rakenteesta ja toimivasta tuuleutuksesta. Yläpohjarakennetta suunniteltaessa on käytössä useita eri toteutus tapoja. Suunnitellut rakenneratkaisut vaikuttavat käytettäviin rakennusmateriaaleihin, minkä lisäksi tulee huomioida kohteen käyttötarkoitus sekä ympäröivät olosuhteet. Yläpohjarakenteet jaetaan rakenteensa mukaan tuulettuviin yläpohjarakenteisiin, tuulettuviin umpirakenteisiin, tuulettumattomiin yläpohjarakenteisiin ja käännettyihin kattoihin. (Kattoliitto 2007, 7–8.)



Kuva 2. Yläpohjan rakennekerrokset tuulettuvassa umpirakenteessa (Paroc Oy 2010e).

### 3.3 Kantava rakenne

Yläpohjarakenteen perustana on kantava rakenne. Yläpohjan toteutustavasta riippuen kantava rakenne on yleensä ontelolaatta, TT-laatta, teräspoimulevy tai holvirakenne. (Isover Oy 2009.) Kohteesta riippuen kantava rakenne voi olla myös puu- tai levyrakenteinen (Katepal Oy 2011). Levymäisiä lämmöneristeitä käytettäessä tulee katon kallistukset tehdä kantavaan rakenteeseen, koska katteen avulla kallistuksia ei voida tehdä (Nordic Waterproofing Oy 2011).

### 3.4 Ilmansulku

Ilmansulku on ainekerros, jolla pyritään estämään haitallinen ja hallitsematon ilmavirtaus rakenteen läpi (Kattoliitto 2007, 7). Ilmansulun toimivuuden kannalta sen eheys on ensisijaisen tärkeää. Rikkoontunut ilmansulku voi aiheuttaa rakenteeseen paikallisesti suurempia kosteusrasituksia. Ilmansulkumateriaalit ovat usein käsiteltyjä rakennuskartonkeja tai -papereita. (Wikipedia 2010a.) Jos rakennuksessa on kosteudentuottoa, yläpohja ei kestä kosteusrasitusta, tai jos kosteus ei pysty poistumaan riittävän tehokkaasti rakenteesta, tulee ilmansulku korvata höyrynsululla (Kattoliitto 2007, 7).

### 3.5 Höyrynsulku

Höyrynsululla tarkoitetaan rakenteen osaa, yleensä kermiä tai muovikalvoa, joka vastustaa mahdollisimman tehokkaasti vesihöyryn kulkeutumista rakenteen läpi (Kuntsi 1998, 99). Höyrynsulun tarve riippuu rakennuksen suunnitellusta toiminnasta. Rakennuksen lämmin sisäilma sisältää aina kosteutta. Sisäilman kosteus pyrkii vesihöyrynä kulkeutumaan rakenteen läpi kuivempaan ulkoilmaan, etenkin talvella. Kosteus pyrkii siirtymään rakenteen läpi joko ilmavuotojen kautta eli konvektiona tai diffuusion kautta. Konvektion mahdollistaa rakenteessa olevat raot sekä epätiivit kohdat, joista ilma pääsee kulkeutumaan. Lisäksi konvektioon vaikuttaa ilmanpaine-erot rakenteen eri puolilla. Dif-

fuusiossa höyry kulkeutuu itse rakenteen läpi. Diffuusioon vaikuttaa eri materiaalien kyky läpäistä tai vastustaa vesihöyryn kulkua sekä rakenteen eri puolilla vallitseva vesihöyryn osapaine. Osapaine pyrkii tasaantumaan, jolloin höyry tunkeutuu rakenteen läpi. (Kattoliitto 2007, 7–8; Björkholtz 2009, 57–58.)

Tuulettuvan umpirakenteen kannalta ilmatiivis höyrynsulku on välttämätön. Kantavan rakenteen ollessa betonirakenteinen voidaan höyrynsulku asentaa suoraan betonin tai kallistusvalun päälle. Jos kantavana rakenteena on teräspoimulevy, tulee höyrynsulun alustaksi asentaa kiinteä ja tasainen rakenne, kuten kova mineraalivilla tai rakennuslevy. (Nordic Waterproofing Oy 2011.)

Yleisimmät höyrynsulkumateriaalit ovat erilaiset bitumipohjaiset kermit, PEL-muovikalvot tai Al-monikerroslaminaatit (Kuntsi 1998, 38; Paroc Oy 2010c). Toimivan höyrynsulun ensimmäinen edellytys on, että se kestää asennuksen aiheuttamat rasitukset. Tämän vuoksi 0,20 mm paksun muovikalvon käyttöä kattorakenteissa on pyritty vähentämään. Lisäksi muovikalvon tiivistäminen ilman- ja höyryntiiviiksi on ollut vaikeaa. (Kattoliitto 2007, 8.)

Katteen mekaanisen kiinnityksen yleistyessä tulee myös huomioida, että höyrynsulku tiivistyy hyvin sen lävistäviin kiinnikkeisiin. Onnistuneen höyrynsulun merkitys katon käyttöikänsä on suuri. Yleisesti höyrynsuloksi suositellaan TL2-luokan vaatimukset täyttävää kumibitumikermiä, koska sen mekaaniset ominaisuudet ovat hyvät ja lisäksi se voi toimia rakentamisen aikaisena vedeneristeenä. (Kattoliitto 2007, 8.)

### 3.6 Vedeneristyksen alustat

Vedeneristyksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että vedeneristyksen alustan ja siihen liittyvien rakenteiden liikkeet eivät aiheuta vaurioita katteille. Kattoa vaurioittavia liikkeitä ovat mm. alustan painumat, lämpötilan ja kosteuden aiheuttamat muutokset, lämmöneristyslevyjen kutistuminen ja siirtyminen, elementtirakenteissa kiertymän aiheuttamat liikkeet päätysaumoihin, katteen omat liikkeet, taipumisesta johtuvat vesilammikot ja veden jäätyminen. (Kuntsi 1998, 41.) Alustan tulee siis olla kiinteä ja tasainen sekä riittävän jäykkä. Alustassa ei

myöskään saa olla haitallisen suuria rakoja (> 3 mm) eikä jyrkkäreunaisia hammastuksia. Mahdolliset hammastukset tulee tasata kaltevuuteen, joka on enintään 1:5. (RT 85-10851, 2.) Vedeneristyksen alustat voidaan karkeasti jakaa puualustoihin, betonialustoihin ja lämmöneristealustoihin (Kuntsi 1998, 42).

### 3.6.1 Puualustat

Katteen lauta- ja rakennuslevyalusta tehdään aina alta tuulettuvaksi (Kattoliitto 2007, 9). Alustan tulee olla kiinteä ja notkumaton. Rakenteiden taipumien tulee olla niin pienet, ettei kate vahingoitu ja vedenpoistuminen katolta esty (RT 85-10851, 2). Katteen alustan ollessa puurakenteinen suositeltu minimikaltevuus on 1:40 (Kuntsi 1998, 41).

Lauta-alusta tehdään raakaponttilaudasta, jonka leveys on enintään 95 mm ja paksuus vähintään 20 mm, kun tukiväli on 600 mm. Lautojen tulee olla täysisärmäisiä ja sahatavaran laatuluokituksen C-luokan kriteerit täyttäviä. (Kattoliitto 2007,9; RT 85-10851, 2). Alustan asennusvaiheessa lautojen kosteus ei saa ylittää 20 % materiaalin kuivapainosta (Kattoliitto 2007, 9). Kosteuden ja lämmön aiheuttamat muutokset huomioidaan jättämällä lautojen väliin rako liikuntaa ja laajenemista varten (RT 85-10851, 2). Lautojen jatkokset sijoitetaan tukien kohdalle ja laudan pituuden tulee olla vähintään kaksi kertaa tukivälin pituus (Kattoliitto 2007, 9).

Taulukko 2. Lauta-alustan mitoitus (RT 85-10851, 2).

Tukiväli k/k mm	Raakaponttilaudan paksuus, mm
600	20
900	23
1200	23-28

Puulevyalusta tehdään riittävästi tuettuna tarkoitukseen soveltuvista kosteuden ja vesihöyryn kestävästä rakennuslevyistä, kuten säänkestävästi liimatusta vanerista (RT 85-10851, 2; Kattoliitto 2007, 9). Minimivaatimuksena on 20 mm:n

materiaalipaksuus, kun tukiväli on 600 mm. Tukien suuntaiset saumat sijoitetaan aina tukien kohdalle. Kohtisuoraan tukea vastaan olevien saumojen tulee olla pontatut tai vastaavalla tavalla tuetut, jotta reunojen hammastukselta vältyttäisiin. (Kattoliitto 2007, 9.) Levyjä asennettaessa saumoissa tulee huomioida kosteuden ja lämmön aiheuttama pituus- ja leveyslaajeneminen. Levyt asennetaan niin, ettei ristikuvioita pääse syntymään. Lisäksi yhden levyn tulisi ulottua vähintään kahden tukivälin yli. (Kuntsi 1998, 41.)

Taulukko 3. Puulevyalustan mitoitus (RT 85-10851, 3).

Tukiväli k/k mm	Vanerin paksuus, mm
600	12
900	18
1200	21

### 3.6.2 Betonialustat

Betonirakenne katteen alustana voidaan tehdä elementtirakenteisena tai paikalla valuna joko kevytbetonista, kevytsorabetonista tai betonista. Pinnan tulee olla tasainen ja sileydeltään vastata vähintään puuhierrettyä betonipintaa myös saumojen kohdalta. Mahdolliset epätasaisuudet tulee tasoittaa kohteeseen soveltuvalla laastilla. (RT 85-10851, 3–4.) Betonialusta jaetaan kohteen koon mukaan kutistumissaumoilla, joiden etäisyys on yleensä n. 10–20 m (Kattoliitto 2007, 9). Kutistumissaumoja käytetään myös eri rakennusosien ja kattoalueiden liittymäkohdissa. Elementtirakennetta käytettäessä tulee varmistaa, että lämpöliikkeet, taipumat, kiertymät tai muut vastaavat liikkeet eivät vaurioita vedeneristystä alapuolelta. (RT 85-10851, 3–4; Kuntsi 1998, 42.)

Kevytsorakatoissa tasaisena alustana katteen alla on kevytsorabetoni- tai kevytbetonilaatta tai raudoittamaton betonilaatta. Kevytsoran päälle valettavan 30–50 mm paksun betonilaatan betonin sementtimäärä ei saa olla yli 250 kg/m<sup>3</sup>, jolloin ei yleensä tarvita kutistumissaumoja. (RT 85-10851, 4.) Valettu betonilaatta tulee jättää irti muista rakenteista, kuten läpivienneistä ja räystäistä



n. 20 mm käyttämällä esim. mineraalivillakaistaa erottamiseen (Kattoliitto 2007, 9).

Yläpohja voi olla kevytbetonirakenteinen kuivien tilojen yhteydessä. Kevytbetoni ei yksin riitä täyttämään rakentamismääräysten lämmöneristysvaatimuksia, joten sen kanssa lisälämmöneristeenä käytetään mineraalivillaa, polystyreeni- tai polyuretaanieristettä. Lisälämmöneristeen päällä laakerikerroksena käytetään kovaa mineraalivillalevykerrosta. Lämmöneristekerroksessa on tuuletusurat ja -kanavat ja kantavan betonilaatan päällä höyrynsulku. (RT 85-10851, 4.)

Ennen aluskermin asennusta betonialustaan tulee varmistua betonin pinnan puhtaudesta (Kattoliitto 2007, 9). Vedeneristyksen tartunnan onnistumiseksi tulee betonin pinnasta poistaa sementtiliimakerros hiekkapuhaltamalla, hiomalla tai vastaavalla menetelmällä. Sementtiliiman poiston jälkeen betonin pinta imuroidaan tai puhdistetaan paineilmalla. (RT 85-10851, 4.) Tartuntaa voidaan parantaa käyttämällä bitumiliuossivelyä alustaan (Kattoliitto 2007, 9).

### 3.6.3 Lämmöneristelevyalusta

Lämmöneristyslevyn ollessa vedeneristyksen alustana tulee aina käyttää riittävän tiivistä höyrynsulkua, jotta vältyttäisiin kosteusongelmilta. Alusrakenteena käytettävä lämmöneriste voi olla mineraalivilla, solupolystyreeni tai polyuretaanilevy. Lämmöneristyksen päällä on kova, kuormitusta kestävä mineraalivilla laakerointikerroksena. Lämmöneristyslevyjen tulee olla niin kovia, että ne kestävät niihin kohdistuvat kuormat sekä erityisesti katon rakentamisvaiheesta aiheutuvat rasitukset. Levyt asennetaan niin, että levyjen saumat eivät muodosta ristikuvioita. Päällekkäiset levykerroksien saumat tulee limittää vähintään 100 mm. (RT 85-10851, 4–5.) Lämmöneristyslevyt kiinnitetään alustaan mekaanisilla kiinnikkeillä, joiden lisäksi voidaan käyttää bitumiliimausta. Yleensä mekaaninen kiinnitys tehdään aluskermin läpi. (Kattoliitto 2007, 9.) Lämmöneristelevyt voidaan kiinnittää mekaanisesti jo ennen katteen asennusta jos halutaan varmistaa, että levyt eivät pääse liikkumaan katteen asennuksen yhteydessä (RT 85-10851, 4). Lämmöneristelevyt toimivat rakenteessa kuormitusta siirtävänä

kerroksena, joten niiden mekaaniset ominaisuudet tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Kattorakenteen kosteus- ja rasitusolosuhteista sekä käyttökohteesta riippuen valitaan kuormitusten kannalta oikeat eristeyhdistelmät. Lämmöneristelevyt on jaettu neljään eri rasitusluokkaan puristuslujuutensa perusteella. (Kattoliitto 2007, 9–10.)

Taulukko 4. Lämmöneristeiden rasitusluokat (Nordic Waterproofing Oy 2011).

Rasitusluokka ja käyttötapa	Ala- ja välikerroseriste	Pintakerros
Rasitusluokka R1 (kevyt): Tavanomaiset varastorakennukset	≥ 20 kPa	≥ 40 kPa
Rasitusluokka R2 (normaali): Tavanomaiset asuin- ja toimistotilat	≥ 30 kPa	≥ 50 kPa
Rasitusluokka R3 (raskas): Tavanomaiset teollisuustilat  (Kun pintakerroseristeiden paksuus on > 30 mm ja pitkät sivut ovat pontatut)	≥ 50 kPa  ( ≥ 60 kPa )	≥ 70 kPa  ( ≥ 60 kPa )
Rasitusluokka R4 (erittäin raskas): Erittäin rasittavat teollisuustilat  (Kun pintakerroseristeiden paksuus on > 30 mm ja pitkät sivut ovat pontatut)	≥ 60 kPa  ( ≥ 60 kPa )	≥ 80 kPa  ( ≥ 70 kPa )

Lämmöneristeiden ollessa mineraalivillalevy, käytetään yleensä 2–3:een villakerrosta, joista pintavilla eli ns. laakerikerros on huomattavasti ohuempi, kovempi ja jäykempi (Kattoliitto 2007, 10). Lämmöneristekerroksien määrä riippuu käytettävästä levypaksuudesta ja kohteen käyttötarkoituksesta. Nykyisten rakenteille määrättyjen lämmönläpäisykertoimien eli U-arvojen täyttämiseksi saatetaan käyttää jopa neljää eristelevykerrosta. Lähempänä kylmää yläpintaa käytetään uritettua levyä riittävän tuuletuksen takaamiseksi (Kattoliitto 2007, 10).

Katteen alustana voidaan käyttää myös erilaisia muovipohjaisia eristyslevyjä. Katon eristämisessä käytettäviä muovipohjaisia eristeitä ovat mm. solupolysty-

reenilevyt eli EPS- ja XPS-levyt sekä solupolyuretaanilevyt eli PUR-levyt. (Kuntsi 1998, 43.)

EPS-eristettä eli paisutettua polystyreeniä käytetään eristelevynä samalla tavalla kuin mineraalivillaa. EPS-eristeiden ja katteen väliin on aina asennettava laakerointikerros kovasta mineraalivillasta. Luokiteltujen EPS-kattoeristeiden puristuslujuudet ovat 60–100 kPa. (RT 85-10851, 5; Kattoliitto 2007, 10.)

XPS-eristettä käytetään yläpohjarakenteissa aivan kuten EPS-eristettä, mutta erona käyttökohteissa on käännetty rakenteet, joihin EPS- tai PUR-eristeet eivät sovellu (Kuntsi 1998, 43; Kattoliitto 2007, 10).

Polyuretaanieristeet eli PUR-levyt ovat molemmin puolin alumiinilaminaatilla pinnoitettuja ja usein myös pontattuja levyjä, joita käytetään yläpohjaeristeinä EPS- ja XPS-eristeiden tapaan (RT 85-10851, 5).

Solulasi on eriste, jota käytetään pääosin erikoiskohteissa, kuten teollisuuden laitoksissa levyjen lämmön- ja haponkestävyyden sekä palamattomuuden vuoksi (RT 85-10851, 5). Solulasilevyt kiinnitetään toisiinsa ja alustaansa bitumiliimauksella. Rakenteesta on mahdollista saada oikein tehtynä lähes höyryntiivis, jolloin erillistä höyrynsulkua ei tarvita (Kattoliitto 2007, 10).

### 3.7 Tuuletus

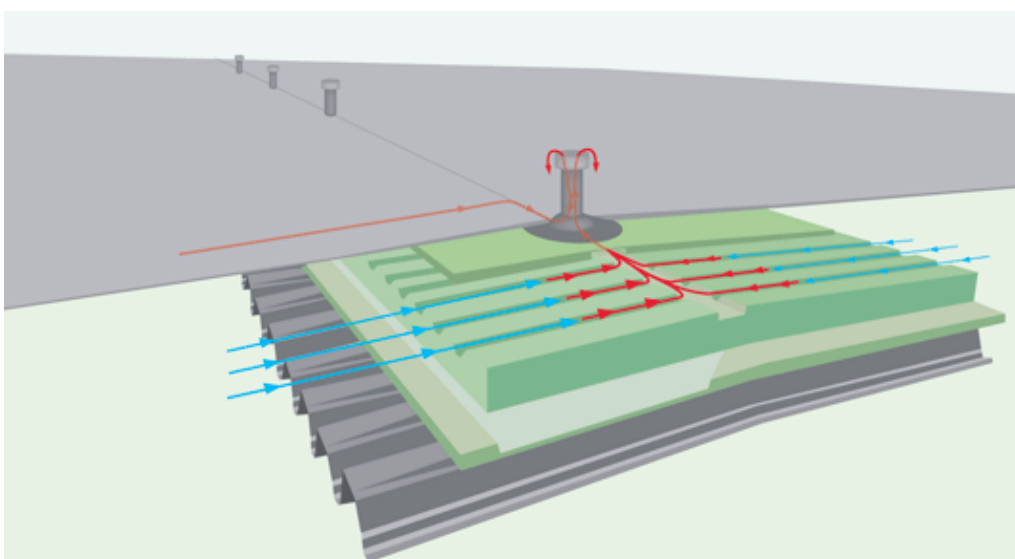
Rakenteisiin kertyy kosteutta monin eri tavoin. Kosteus voi kulkeutua ilmavuotojen kautta tai siirtyä rakenteen läpi diffuusion kautta. Rakenteeseen voi kertyä kosteutta myös rakennusvaiheessa. Rakenteeseen kerääntyvää kosteutta ja sen aiheuttamia ongelmia voidaan estää käyttämällä rakenteelle sopivaa tuuletusta. Tuuletus voidaan toteuttaa tuulen ja imun aikaansaaman paine-eron avulla tai lämpötilojen vaikutuksesta syntyvien painovoimien avulla. Tuuletus on mahdollista toteuttaa myös koneellisesti. (Kuntsi 1998, 33.)

### 3.7.1 Tuulettuvat yläpohjarakenteet

Tuulettuvissa yläpohjarakenteissa rakenteiden läpi kulkeutuva sisäilman vesihöyry poistetaan tuuletuksen avulla. Tuuletusta varten rakenteessa on tuuletusväli tai tuulettuva lämmöneristekerros. Tuuletusvälin tulee olla riittävän suuri, vähintään 200 mm kaltevuuden ollessa < 1:20 ja vähintään 100 mm tätä jyrkemmällä katoilla. Sijoittamalla poistoilman aukko mahdollisimman ylös ja tuloilman aukko alas saadaan aikaiseksi painovoimainen ilmanvaihto. (Kattoliitto 2007, 8.)

### 3.7.2 Tuulettuvat umpirakenteet

Tuulettuvia umpirakenteita ovat mineraalivilla, EPS-eristeet ja kevytsorakatot (Kattoliitto 2007, 8). Mineraalivilla- ja EPS katoissa tuuletus toteutetaan villaan tehdyllä urituksella, joka yhdistetään alipainetuulettimiin varustettuun kokoojakanavaan katon harjalla. Korvausilma tuuletukseen tulee räystäääseen tehdyistä raoista. Lämmöneristeen urituksen tulee olla mahdollisimman lähellä katon yläeli ulkopintaa. Katon harjalla uritus yhdistyy kokoojakanavaan, josta ilma poistuu alipainetuulettimien kautta. Alipainetuulettimia tulee asentaa vähintään 10 m:n välein riittävän ilmavirtauksen aikaansaamiseksi.



Kuva 3. Villakaton tuuletus (Nordic Waterproofing Oy 2011).

Kevytsorakatoissa kosteuden poisto perustuu kevytsoran kykyyn läpäistä ilmaa, eli lämmöneristyskerros on kauttaaltaan tuulettuva. Kevytsorakaton tuuletus perustuu yleensä tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Tuuletusratkaisu on tässä tapauksessa tuulettuva räystääs ja tarvittaessa salaojaputkiin liitetyt alipainetuulettimet. (Nordic Waterproofing Oy 2011.)

### 3.8 Vedeneristys ja kateratkaisut

Loivilla katoilla vedeneristyksen valintaan vaikuttavat katon käyttötarkoitus, katon kaltevuus ja mahdollinen vedeneristyksen suojaustapa (Kuntsi 1998, 47). Kattosen valintaan vaikuttaa myös rakentamisen aikana ja käytössä kätteeseen kohdistuvat rasitukset. Loivien kattojen katteiden tulee olla jatkuvia, jotta niiden saumat kestäisivät niihin kohdistuvaa vedenpainetta. Katemateriaaleista erilaiset kermi soveltuvat parhaiten loivien kattojen vedeneristeeksi. Katevalinta vaikuttaa suoraan katon käyttöikään, ja oikeilla katevalinnoilla saadaan katon käyttöikää pidennettyä huomattavasti. (Kattoliitto 2007, 11.)

Loivien kattojen vedeneristyksessä käytössä olevat katemateriaalit ovat bitumikermi sekä erilaiset muovikermi, kuten PVC- ja CPE-kermi. Käytössä on myös kumikermejä, kuten EPDM-kermi mutta kumibitumikermi on näistä selvästi eniten käytetty ja ainoa, jolla on tuote- ja käyttöluokitus. Yleisin käytössä oleva katemateriaali on modifioitu kumibitumikermi. Modifioinnilla tarkoitetaan lisäaineita, kuten SBS-kumia ja APP-muovia, jolla kermin ominaisuuksia ja kestävyyttä saadaan parannettua. (Kattoliitto 2007, 11–14.)

Yksikerroskate on kateratkaisu, jossa vedeneristys toteutetaan yhtä kermikerrosta käyttäen. Yksikerroskattetta voidaan käyttää, kun katto on riittävän kalteva. Minimikaltevuus on 1:40, mutta suosituksena pidetään 1:20 kaltevuutta. Yksikerroskatteen asennuksessa työn huolellisuus korostuu. (Kattoliitto 2007, 11.)

Monikerroskate on kateratkaisu, jossa kaksi tai kolme kermiä asennetaan päällekkäin muodostaen yhtenäisen rakenteen. Kermikerroksien saumat sijoitetaan eri kohtiin, jolloin syntyy luja ja kestävä rakenne, joka minimoi vuotoriskin ja on yksikerroskattetta luotettavampi. (Nordic Waterproofing Oy 2011.)

Bitumikermien kateratkaisu tehdään tuote- ja käyttöluokituksen perusteella. Tuote- ja käyttöluokituksella määritetään kermille minimivaatimukset ja kermiyhdistelmävaihtoehdot. Kaltevuuden mukaan katot jaetaan neljään eri käyttöluokkaan, jotka kuvaavat katon minimikaltevuutta. Käyttöluokat ovat VE20, VE40, VE80 ja VE80R, eli esim. luokka VE80 tarkoittaa, että katon minimikaltevuus on 1:80. Kullekin kaltevuudelle määritetyn käyttöluokan ja tuoteluokituksen (TL) yhteensopivuus voidaan esittää taulukkona. Tuoteluokajako perustuu kermin lujuuteen ja stabiliteettiin perustuviin ominaisuuksiin. Tuoteluokkia on yhteensä neljä, TL1, TL2, TL3 ja TL4. (Kattoliitto 2007, 11; Kuntsi 1998, 48–49.)

Taulukko 5. Bitumikermien käyttöluokat (Kattoliitto 2007, 12).

Katerakenne	VE20 (1:20)	VE40 (1:40)	VE80 (1:80)	VE80R (1:80)
TL1	●	●		
TL4 + TL3	●			
TL4 + TL2	●	●		
TL4 + TL1	●	●		
TL3 + TL3	●	●		
TL3 + TL2	●	●		
TL2 + TL2	●	●	●	
TL2 + TL1	●	●	●	
TL2+TL2+TL2	●	●	●	●
TL2+TL2+TL1	●	●	●	●

● = Suositeltava katerakenne kussakin käyttöluokassa

### 3.9 Kiinnitys ja kiinnikkeet

Kermikatteen kiinnitystapa, kiinnikkeiden ja kiinnikkeiden määrä riippuu katteen alustasta, katteeseen kohdistuvista kuormituksista ja kermin ominaisuuksista. Kermit voidaan kiinnittää alustansa joko bitumikiinnityksellä, mekaanisilla kiinnikkeillä tai näiden yhdistelmillä. (Kattoliitto 2007, 15.)

### 3.9.1 Bitumikiinnitys

Bitumikiinnitys tehdään alustasta riippuen joko kauttaaltaan tai osittain. Monikerroskatteissa kermit kiinnitetään aina kauttaaltaan toisiinsa. (Kattoliitto 2007, 15.) Bitumikiinnitys voidaan tehdä kauttaaltaan liimaamalla, pisteliimauksella, hitsauksella tai piste- ja raitahitsauksella.

Kun kumibitumikermi (SBS) kiinnitetään kauttaaltaan liimaamalla, pyritään bitumikerros tekemään mahdollisimman samanpaksuiseksi. (RT 85-10851 2005, 7). Kauttaaltaan liimattaessa sulaa bitumia levitetään kannulla alustan ja aukirullattavan kermin väliin, jolloin sitä kuluu n.  $1,5 \text{ kg/m}^2$  (Kuntsi 1998, 60). Muovibitumikermeille (APP) liimausta ei suositella, koska liimausbitumin lämpötila ei ole riittävä kermin pinnan sulattamiseen (Kattoliitto 2007, 25).

Pisteliimausta käytetään pääosin lauta- ja rakennuslevyalustoilla. Pisteliimaus mahdollistaa alustan pienet liikkeet esim. kosteuden tai lämpötilan muuttuessa. Betonialustalla pisteliimaus toimii paineentasausrakenteena. Pisteliimauksen ansiosta vesihöyry pystyy vapaasti liikkumaan alustan ja alimman kermin välissä, ja on poisjohdettavissa tuulettimilla. (Kuntsi 1998, 61). Pisteliimauksessa kermit kiinnitetään alustaan ”bitumitäplillä”, joiden halkaisija on n. 300 mm ja osuus n. 20 % liimattavasta kokonaisalasta (Kattoliitto 2007, 25).

Hitsaus on kiinnitystapa, jossa hitsattavaksi tarkoitetun kermin kiinnitysbitumi lämmitetään nestekaasupolttimella kauttaaltaan koko alapinnastaan (Kuntsi 1998, 62). Hitsattavassa kermissä on kiinnitysbitumia n.  $1,0 \text{ kg/m}^2$ . Kiinnitys tapahtuu lämmittämällä kiinnitysbitumi sulaksi kermiä auki rullattaessa. Kermejä eikä alustaa saa kuumentaa liikaa, jotta ne eivät vaurioidu, eikä haitallisia painumia tai poimuja pääse syntymään. (Kattoliitto 2007, 25-26.)

Raita- ja pistehitsausta voidaan käyttää aluskermien kiinnittämiseen (RT 85-10851, 7). Aluskermi toimii paineentasauskerminä, jolloin siinä on kiinnitysbitumia n. 25 % koko alapinnasta, joko täplinä tai raitoina (Kattoliitto 2007, 25).

### 3.9.2 Mekaaninen kiinnitys

Kermit sekä lämmöneristeet voidaan kiinnittää alustaansa muovista tai metallista valmistetuilla mekaanisilla kiinnikkeillä (RT 85-10851, 7; Kuntsi 1998, 28). Kiinnikettä valittaessa tulee huomioida katteen repäisylujuus, katteen alusta, tuulesta aiheutuvat kuormitukset, kiinnikkeen korroosionkestävyys sekä kantava rakenne johon kiinnike ankkuroidaan (RT 85-10851, 7). Mekaaniset kiinnikkeet koostuvat laipasta, putkimaisesta rungosta ja kiilasta tai ruuvista, jolla ne kiinnitvät kantavaan rakenteeseen (Kuntsi 1998, 28).

Vedeneristeen ja lämmöneristeen kiinnikemäärä on 2 kpl/levy tai vähimmäismäärä 2 kpl/m<sup>2</sup>, mutta katon reuna- ja nurkka-alueilla, jossa tuulesta aiheutuva imukuorma on suurempi, suositellaan 4 kpl/m<sup>2</sup> (Nordic Waterproofing Oy 2011). Kiinnitys tehdään aluskermin läpi niin, että kiinnikkeet eivät jää kermin pinnasta koholle tai painu liian syväälle. Jos katteen alusta on joustava esim. mineraaliviljaa, käytetään joustavia kiinnikkeitä. Betonialustalla käytetään porattavia kiinnikkeitä, jotka ankkuroituvat kiilalla. Teräspoimulevy- tai puualustalla käytetään itseporautuvia ruuveja, joilla kiinnike ankkuroidaan kantavaan rakenteeseen. (RT 85-10851, 7.)

Kiinnike asennetaan kermin reunaan siten, että seuraavaksi asennettava kermi limittyy edellisen kermin päälle vähintään 100 mm ja kiinnikkeen yli vähintään 40 mm. Yksikerroskatteissa kiinnikkeen yli ulottuvan ehjän sauman tulee olla ainakin 80 mm. (Kattoliitto 2007, 26; RT 85-10851, 7.) Monikerroskatteissa voidaan kiinnike asentaa myös keskelle kermiä, jos kiinnikkeiden määrä on niin suuri. Keskelle aluskermiä asennettu kiinnike tulee peittää n. 200 mm x 200 mm kokoisella paikkauksella. Kermin limityksen tulee sivusaumoissa olla ainakin 100 mm monikerroskatteilla ja yksikerroskatteilla 120 mm. Päätysaumoissa limityksen tulee olla 150 mm. (Kattoliitto 2007, 26.)



### 3.9.3 Kiinnitys eri alustoille

Puualustalle kermi kiinnitetään yleensä piste tai saumaliimaten, koska hitsaus aiheuttaa paloturvallisuusriskin. Puualustalle kiinnitettäessä voidaan käyttää myös mekaanisia kiinnikkeitä. Betonialustalle kermi kiinnitetään kauttaaltaan tai osittain bitumilla, joko hitsaten tai liimaten. Tarvittaessa alusta voidaan pohjustaa bitumiliuoksella tartunnan parantamiseksi. Kevytsorakatoilla kermi kiinnitetään alustaan vain osittain, mutta kevytsorabetonilaattoihin kermi kiinnitetään kauttaaltaan. Lämmöneristelevyalustaan kermit kiinnitetään aina mekaanisesti, ja yleensä kantavaan rakenteeseen asti. Alin kermi kiinnitetään kauttaaltaan bitumilla. (Kattoliitto 2007, 15.)

### 3.10 Katon erikoisosat

Vesikattorakenteen toimivuuteen vaikuttavia erikoisrakenteita ovat mm. erilaiset vedenpoistojärjestelmät, kattopollarit, alipainetuulettimet sekä näiden toteutukseen liittyvät läpiviennit (RT 85-10851, 8–14).

#### 3.10.1 Läpiviennit

Vesikatolla on aina erilaisia läpivientejä, joiden vesitiiviys on tärkeää kattorakenteen toimivuuden kannalta, etenkin lovilla katoilla. Läpivientien materiaalien on kestettävä ympäristöstä ja ikääntymisestä niihin kohdistuvat mekaaniset rasitukset koko suunnitellun käyttöiän ajan, eli vähintään 40 vuotta. (Kattoliitto 2007, 16.)

Läpiviennissä tulisi aina olla laippa, jolla se on liitettävissä vedeneritykseen (RT 85-10851, 11). Laippa liitetään vedeneristyksen kahden kermin väliin limittäin vähintään 150 mm. Läpiviennin tiiviyden varmistamiseksi voidaan lisäksi käyttää erillistä n. 0,9 m x 0,9 m kokoista kermipalaa. Vesikatolla suositellaan käytettäväksi pyöreitä läpivientejä, joihin kermi on helpompi tiivistää. (Kattoliitto 2007, 16.)

### 3.10.2 Räystäät

Räystäillä pyritään estämään veden tunkeutuminen katto- tai seinärakenteisiin (Kattoliitto 2007, 17). Räystäät suojaavat seinän ja katon liitoskohtaa, vähentää viistosaderasitusta sekä mahdollistaa toimivan tuuletuksen rakenteeseen. Räystäärakenteet voidaan jakaa leveytensä perusteella leveisiin räystäisiin (> 400 mm), kapeisiin räystäisiin (50–400 mm) ja räystäättömiin (reunapellitys). Räystäiden on estettävä tuulesta aiheutuvan veden tai lumen nousu seinäpintaa pitkin rakenteeseen esim. vastapellillä. Vedeneristys ulotetaan räystään päällä seinäpinnan ulkopuolelle, jotta räystään yli kulkeutuva vesi ei valu seinärakenteeseen. Sisäpuolista vedenpoistoa käytettäessä tulee räystään olla sisäänpäin kalteva ja ulkopuolisessa vedenpoistossa tulee estää veden jäätyminen kylmissä osissa, kuten kouruissa tai syöksytorvissa esim. lämmityskaapelilla. (RT 85-10851 2005, 10.)

### 3.10.3 Pellitykset

Katteen pellityksiä kiinnittäessä tulee huomioida tuulen vaikutus jättämällä kiinnitysreikiin liikevara. Asennuksessa käytetään kiinnitysruuveja, joissa on joustava ja säänkestävä tiiviste. Kattolaitteiden tai erityisosien vedenpitävyyttä ei saa jättää pellityksen varaan. Peltien päälle tuleva vesi johdetaan pois kallistamalla pelti 1:6 kaltevuuteen. (RT 85-10851 2005, 11.)

### 3.10.4 Kattokaivot

Kattokaivoja käytetään sisäpuolisessa vedenpoitajärjestelmässä (Kuntsi 1998, 24). Katolle tuleva vesi ohjataan kallistuksilla sadevesijärjestelmän kautta viemäriin. Kaivoja tulee asentaa 1 kpl/200m<sup>2</sup> siten, että valumamatka kaivoon on korkeintaan 15 m. Kaivo voidaan varustaa lehtisihdillä ja rengassiivilällä, joilla pyritään estämään kaivon tukkeutuminen. Kattokaivon ja poistoputken eristämällä voidaan välttää kondensoitumisesta aiheutuvaa kosteusrasitusta. Tarvitta-

essa kaivo voidaan varustaa jäätymistä estävällä lämpövastuksella. (Kattoliitto 2007, 16.)

### 3.10.5 Ulosheittäjät

Ulosheittäjä ohjaa veden seinärakenteen ulkopuolelle kattokaivon tukkeuduttua. Ulosheittäjät tulisi sijoittaa niin, että niistä poistuva vesi on havaittavissa ja tieto tukkeutuneesta kaivosta tulee ilmi. (Kattoliitto 2007, 16.) Jokaisella sisäisellä vedenpoistolla toteutetulla katolla tulisi olla ainakin yksi ulosheittäjä, josta poistuva vesi ilmaisee kattokaivojen puhdistustarpeen. Ulosheittäjä sijoitetaan räystäälle siten, että häiriötilanteessa vesi ohjautuu mahdollisimman nopeasti ulosheittäjän putkea pitkin seinärakenteen ulkopuolelle. (Varsinaisbitumi Oy 2008.)

### 3.10.6 Alipainetuulettimet

Alipainetuulettimia käytetään vesikaton harjalla riittävän tuuletuksen aikaansaamiseksi sekä rakenteisiin kertyneen kosteuden poistamiseen (Kattoliitto 2007, 16). Alipainetuuletin liitetään vedeneristykseen laipalla, joka limittyy 150 mm kermien väliin. Alipainetuulettimet voidaan eristää kondenssilta tai käyttää ns. kondenssikuppia. (Varsinaisbitumi Oy, 2008.)

### 3.10.7 Kattopollarit

Kattopollarit ovat katolle asennettavia turvallisuustarvikkeita. Kattopollarit toimivat ankkureina, joihin voidaan kiinnittää esim. kannatinvaijeri tai turvaköysi. Kattopollari kiinnitetään joko pulttaamalla, hitsaamalla tai valamalla. Pollarit eristetään ja liitetään höyrynsulun ja vedeneristeen läpi läpivientitiivisteellä. (Kattoliitto 2007, 17.)

### 3.10.8 Jiirit ja rintataitteet

Jiirillä tarkoitetaan kattorakenteen sisätaitetta ja rintataitteella ylösnostoa. Jiiriä tehdessä suositellaan pohjalle jiirin suuntaan asennettavaa kermiä, jonka keski-osa tulee jiirin keskelle, jolloin saadaan saumaton alue rasi-tetuimpaan kohtaan. Kermikatteen on ulotuttava pystypinnoilla yli 300 mm kattopinnan yläpuolelle. Pystypinnan voidaan suojata mekaanisia rasituksia ja aurinkoa vastaan pellityksiä käyttämällä. (RT 85-10851, 11.)

## 4 LABORATORIOKOKKEET

### 4.1 Lamellieristeen ja bitumiliimauksen vetolujuus

Työn ensimmäisenä tutkimuksena täytyi määrittää, kuinka lujan sidoksen bitumiliimaus lamellin kanssa muodostaa. Sidoksen lujuus tutkittiin vetolujuuskokeilla, joiden perusteella todettiin olisiko lamellin ja bitumiliimauksen välinen tartunta riittävä käytännön sovelluksiin ja kehitystyön jatkamiseen. Vetolujuuskappaleet valmistettiin yhteistyönä Katepal Oy:n tiloissa Lempäälässä. Varsinainen vetolujuuden määrittäminen ja näytteiden koestaminen suoritettiin Paroc Oy:n tutkimus- ja kehityslaboratoriossa Paraisilla. Vetolujuus määritettiin Alwetrone TCT10-laitteella, SFS-standardin EN 1607 mukaisesti. Rinnakkaisia näytteitä oli kuusi kappaletta.

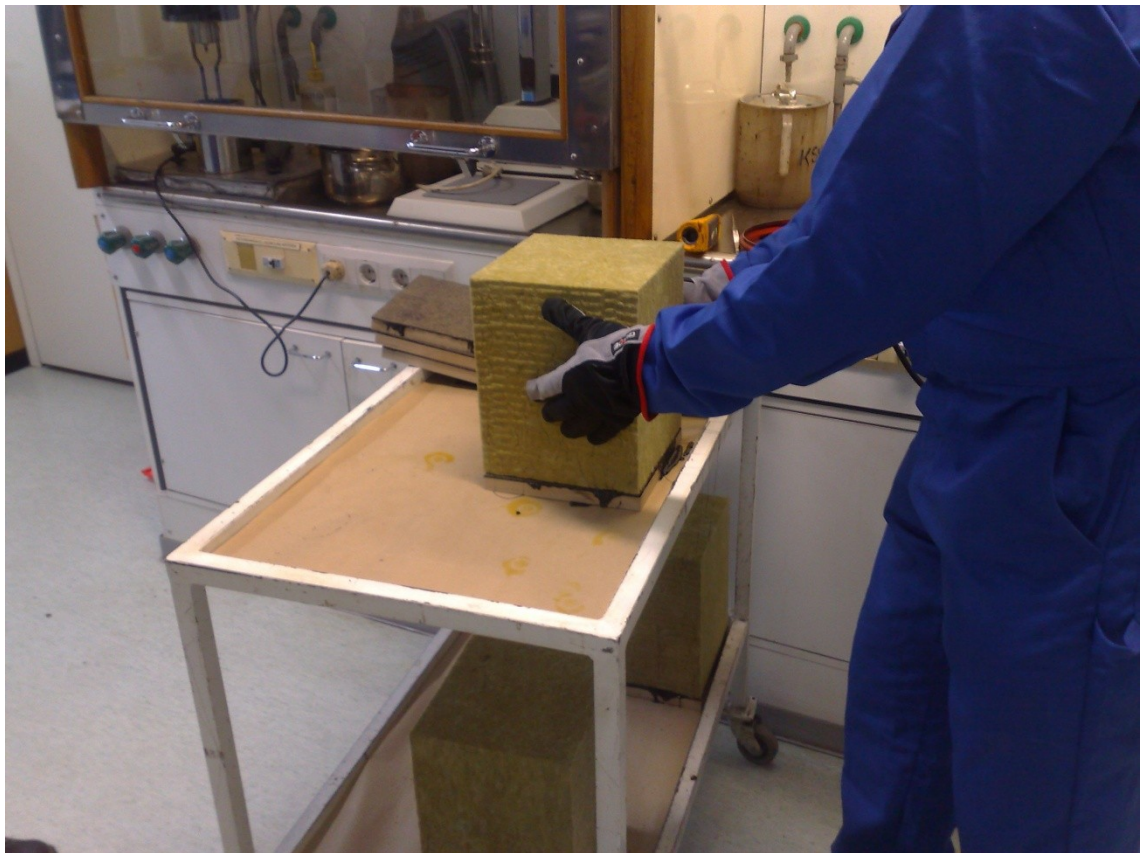


Kuva 4. Vetolujuuskoe.

Vetolujuuskokeiden tulokset olivat lupaavia, koska jokaisessa näytteessä rasi-  
tuksesta aiheutuva murtuma oli lamellissa eikä bitumiliimauksessa. Kokeiden  
tuloksena saatiin määriteltyä lamellin vetolujuudeksi 95,1 kPa. Tulosten perus-  
teella kehitystyötä päätettiin jatkaa tekemällä lisää vetokokeita.

#### 4.2 Lamellieristeen ja eri bitumisidoksien välinen vetolujuus

Tutkimusprojektia jatkettiin tekemällä lisää vetolujuuskokeita erilaisille vanereille  
ja bitumikermeille. Tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa eri toteutusvaihtoeh-  
toja höyrynsulun kiinnittämiseksi mahdollisessa koerakentamiskohteessa. Veto-  
kokeita varten valmistettiin yhteensä viisi eri näytesarjaa, joissa käytettiin eri  
vaneria tai erilaista bitumikermiä. Näytteet valmistettiin Katepal Oy:n tiloissa  
Lempäälässä, mutta koestaminen suoritettiin jälleen Paroc Oy:n tutkimus- ja  
kehityslaboratoriossa Paraisilla.



Kuva 5. Vetolujuuskappaleiden valmistus.

Seuraavien vetolujuuskokeiden tulokset olivat samankaltaisia ensimmäisiin vetolujuuskokeisiin verrattuna. Murtuminen tapahtui jokaisessa näytteessä lamellissa, mikä oli osoitus siitä, että mitoittavana tekijänä ovat lamellin lujuusominaisuudet eikä lamellin ja kermin välinen bitumisidos. Liitteenä 1 tarkat vetokoetulokset ja kuvaajat, joiden tulokset on koottu alla olevaan taulukkoon.

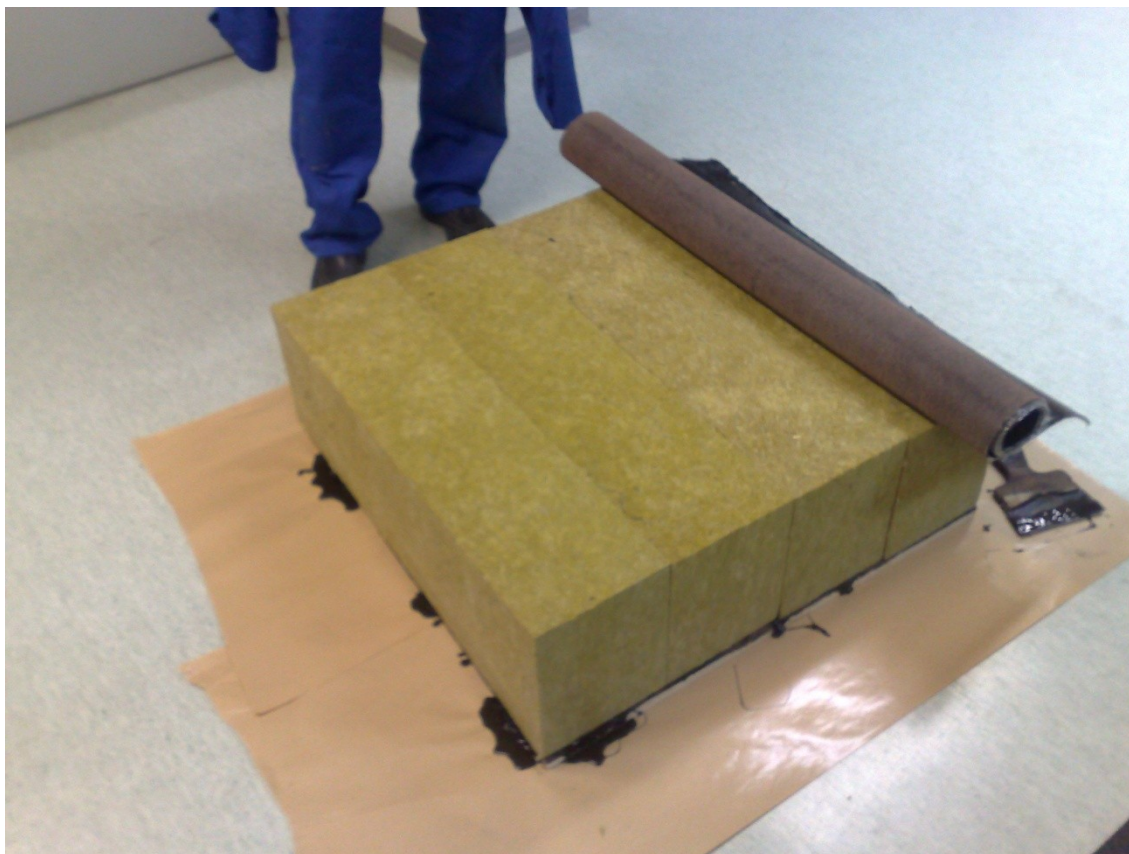
Taulukko 6. Vetolujuuskokeiden tulokset (Liite 1).

Vaneri:	muottivaneri	20 mm vaneri	20 mm vaneri	20 mm vaneri	muottivaneri
Kermi:	K-MS	K-MS	K-MS	K-TMS	K-TMS
	170/4000	170/4000	170/3500	170/3300	170/3300
Vetolujuus kPa:	102,1	104,0	97,4	94,5	86,71
Koekappaleita:	6	3	3	1	1

#### 4.3 Pienoismallit

Vetolujuusnäytteiden valmistamisen yhteydessä tehtiin pienoismalli mahdollisesti toteutettavasta kattorakenteesta. Pienoismallin valmistamisen ensisijaisena tarkoituksena oli kokeilla käytännössä lamellin ja kermin asentamista toisiinsa, jonka lisäksi saataisiin konkreettinen malli rakenteesta. Pienoismalli tehtiin 800 mm x 800 mm kokoiselle vanerialustalle, joka toimii höyrynsulun alustana. Vanerin päälle asennettiin hitsaamalla höyrynsulku. Höyrynsulun päälle kiinnitettiin 260 mm paksut lamellit bitumiliimauksella. Lamellien päälle asennettiin vielä pintakermit. Valmiista pienoismallista on helppo havaita eri rakennekerrokset.





Kuva 6. Pienoismalli.

Tutkimusprojektin edetessä varmistui koekohde, jossa saisimme koerakentaa vesikaton lamellieristettä käyttäen. Koekohtetta sekä muita hankkeen osapuolia varten oli tarpeellista valmistaa 1:1 mittakaavassa pienoismalli tulevasta vesikaton harjarakenteesta. Harjamallin valmistuksen tarkoituksena oli myös ennakoida uudentyyppisen rakenteen tuomia haasteita ennen varsinaisen koekohteen rakentamista. Pienoismalli tehtiin trukkilavan päälle 1:16 kaltevuuteen, joka vastaa koekohteen kattorakenteen kaltevuutta. Ainoana erona tulevaan rakenteeseen verrattuna puuttuu pienoismallista teräspoimulevy, joka toimii kantavana rakenteena vanerin alla.





Kuva 7. Harjaosan pienoismallin alusta.

Vanerin päälle asennettiin höyrynsulku hitsaamalla. Koekohteesta poiketen pienoismallia tehtäessä kermit päätettiin kiinnittää hitsaamalla, koska se koettiin siistimmäksi ja vaivattomammaksi tavaksi pienen kokonsa vuoksi. Höyrynsulun päälle asennettiin 220 mm paksut uritetut lamellit. Harjan kohdalta lamellien reunoista sahattiin viistosti palat pois, jolloin rakenteeseen ei synny ylimääräistä rakoja. Kun lamellit oli saatu tiiviisti asennettua, leikattiin harjan kohdalle 90 mm leveä ja 40 mm syvä kokoojakanava, joka yhdistää räystäältä harjalle kulkevat urat. Kokoojakanavan peittämistä varten leikattiin lamellin pintaan syvennys, johon kanavan peittävä 30 mm paksu pintaeriste asennettiin.



Kuva 8. Pienoismallin kokoojakanava.

Kovaan ja jäykkään pintaeristeen tehtiin asentamisen yhteydessä reikä alipainetuuletinta varten. Kun eristekerros oli valmis, asennettiin lamellien päälle aluskermi. Aluskermiin tehtiin reikä, johon alipainetuuletin asennettiin. Aluskermiin ja alipainetuulettimen laippaosan päälle asennettiin pintakermi, jonka jälkeen harjan pienoismalli oli valmis.



Kuva 9. Valmis pienoismalli.



## 5 KENTTÄKOKEET

### 5.1 Koerakentamisen kohde

Koerakentamiskohde sijaitsee Kaarinan Krossin yritysalueella osoitteessa Nummenniityntie 24. Kohteessa rakennettiin hallirakennus ja toimistotiloja. Lamellieristeellä toteutettavan vesikattorakenteen pinta-ala on n. 585 m<sup>2</sup>. Kohteen tilaaja on JN Trading Oy. Vesikaton rakennustyöt suoritettiin syksyllä 2011.



Kuva 10. Koerakennuskohde.

### 5.2 Vesikattorakenne

Koekohteen vesikattorakenne on lähes vastaava pienoismallirakenteen kanssa. Kantavana rakenteena toimii liimapuurunko, jonka päälle asennettiin ruuvikiinni-

tyksellä kuumasinkitty teräspoimulevy. Höyrynsulun alustaksi tarvitaan yhtenäisen, jäykkä ja tasainen alusta, joten teräspoimulevyn päälle asennettiin 9 mm havuvaneri. Vaneri kiinnitettiin teräspoimulevyyn ruuvikiinnityksellä. Vaneri altistui asennustyön yhteydessä kosteudelle, jonka seurauksena kastunut vaneri vääntyi ja menetti alkuperäisen muotonsa. Vanerin vääntymistä ja taipumia pyrittiin hillitsemään lisäämällä kiinnitysruuvien määrää, mikä paransi alustan tasaisuutta. Höyrynsulun alustaksi asennetut vanerit olivat kuivuttuaan palautuneet alkuperäiseen muotoonsa.

Höyrynsulkuna käytettiin kahta erilaista kermiä. Suurin osa höyrynsulusta toteutettiin K-MS 170/3000 kermillä (TL2), joka liimattiin alustaan BIP 100/25 bitumilla. Höyrynsulkuna käytettiin myös n. 80 m<sup>2</sup> alueella molemmin puolin hitsattavaa K-MS 170/3500 kermiä (TL2). Höyrynsulku toteutettiin kahdella eri kermillä, jotta voitaisiin todeta hitsattavan ja liimattavan kermin erot ja ominaisuudet höyrynsulun sekä lamellin kiinnityksen yhteydessä.



Kuva 11. Höyrynsulun asennus.



Höyrynsulun asennuksen jälkeen katolle asennettiin räystästä kannattelevat rakenteet eli ns. kukkopuut. Kukkopuut asennettiin k900 jaolla. Kukkopuiden asennuksen jälkeen vesikaton rakentaminen oli vaiheessa, jossa voitiin aloittaa varsinainen vesikaton lämmöneristystyö.

Lämmöneristystyöt aloitettiin päädystä, jossa oli käytetty kahta erilaista höyrynsulkua. Räystääsalueilla kukkopuut aiheuttivat lisätöitä lamelleja asennettaessa. Kylmäsiltojen välttämiseksi jokainen lamelli jouduttiin sovittamaan ja tiivistämään kukkopuiden ympärille. Kohdat, jotka vaativat tiivistämistä saatiin tilkittyä lamellien sovitukselta kertyneillä hukkapaloilla. Alueelle, jossa käytettiin höyrynsulkuna K-MS 170/3500 kermiä, lamelli kiinnitettiin höyrynsulun bitumipintaa kuumentamalla. Kuumentamalla kermin pinnan bitumi saatiin sulatettua ja lamelli painettua tiivistä sulaan bitumiin.



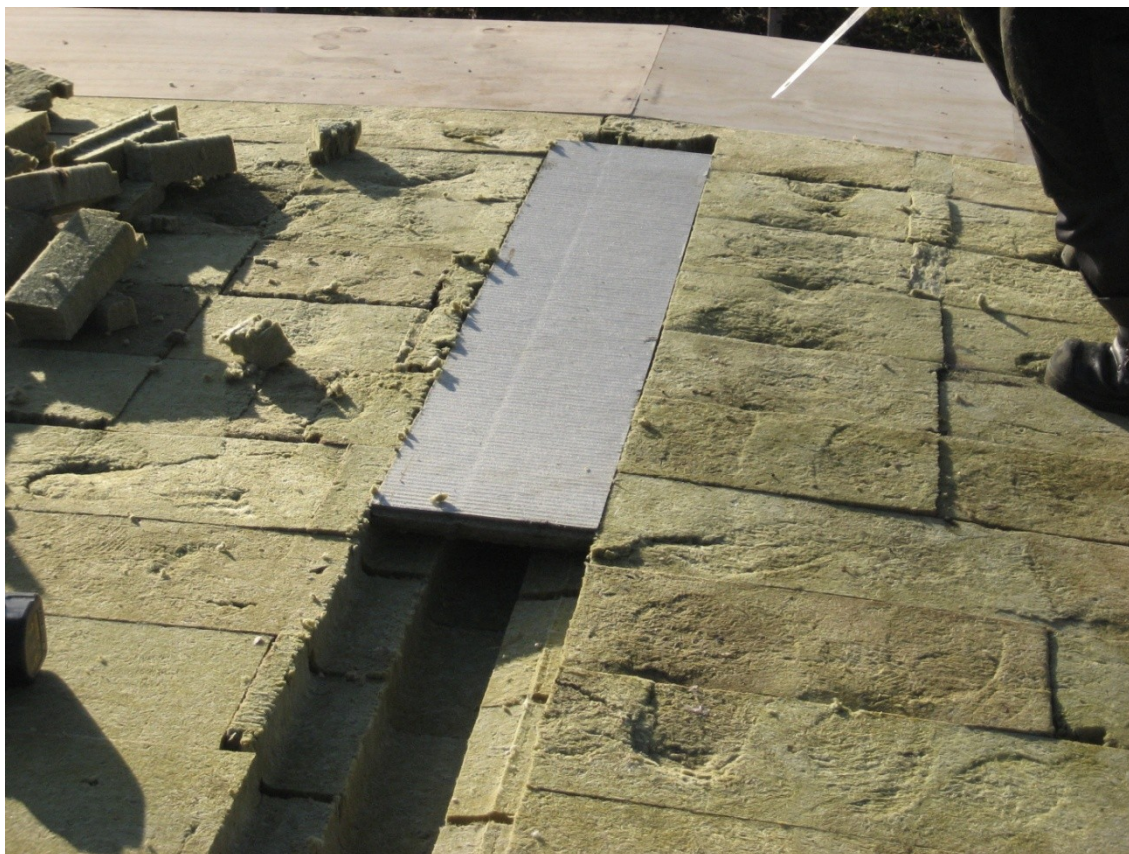
Kuva 12. Lamellin kiinnitys hitsaten.



Kuva 13. Lamellin kiinnitys liimaten.

Katon osassa, jossa höyrynsulkuna käytettiin K-MS 170/3000 kermiä, lamellit kiinnitettiin levittämällä bitumia höyrynsulun päälle eli erillistä lämmitystä ei tarvittu. Lamellit painettiin mahdollisimman tiiviisti levitetyn bitumin päälle. Bitumikiinnityksen lisäksi lamellit kiinnitettiin koko katon alueella sivusuunnassa toisiinsa mekaanisin kiinnikkein. Mekaaniset kiinnikkeet olivat suunniteltu ja erikseen koerakentamisessa käytettävää lamellia varten valmistettu. Lamellit asennettiin peräkkäin niin, että räystäältä harjalle kulkeva tuuletusura säilyy ehjänä koko matkan. Harjakohdan ylitykseen ei vaadittu erillisiä toimenpiteitä toisin kuin pienoismallia rakennettaessa, vaan harjan yli voitiin jatkaa suoraan taipuisalla lamellilla. Lamellien asennuksen ja kiinnityksen jälkeen harjan kohdalle leikattiin tuuletusurat yhdistävä kokoojakanava. Kokoojakanava peitettiin 30 mm paksulla ROB 80t-pintakerroseristeellä.





Kuva 14. Kokoojakanavan valmistus.

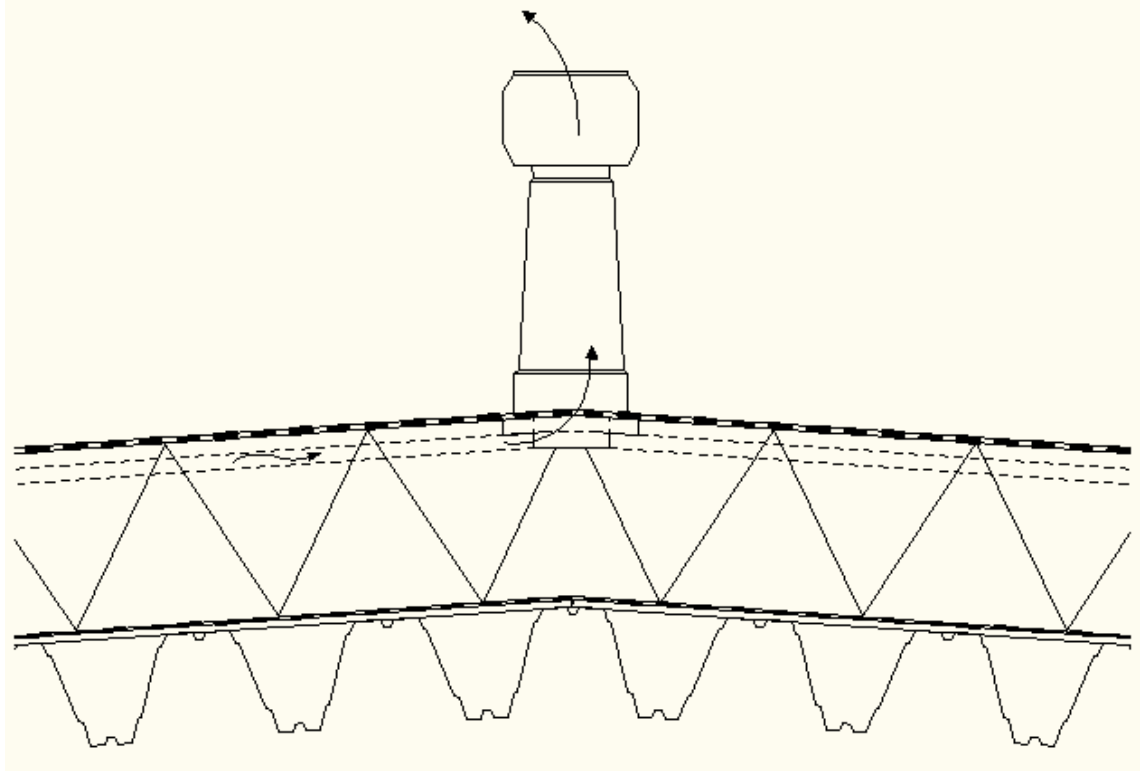
Eristystöiden edettyä riittävästi eli n. 1,5 m, asennettiin lamellien päälle aluskermi. Aluskermi pyrittiin asentamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta eristerakenne saataisiin suojattua sääolosuhteilta sekä työnaikaiselta rasiukselta. Aluskerminä käytettiin K-MS 170/3000 kermiä (TL2), joka kiinnitettiin lamelleihin bitumiliimauksella. Ennen aluskermin asennusta tehtiin kokoojakanavan peittävään pintakerroseristeeseen reikä alipainetuuletin varten. Kun eristystyöt sekä alipainetuulettimien ja aluskermin asennus oli koko katon alueella valmis, voitiin vedeneristys viimeistellä pintakermillä. Pintakerminä käytettiin K-PS 170/5000 kermiä (TL2), joka asennettiin aluskermin päälle kauttaaltaan hitsaten.





Kuva 15. Valmis vesikatto.

Vesikaton rakenteen havainnollistamiseksi laadittiin leikkauskuvat harjaosasta. Harjaosan detajli-piirroksesta ilmenee selkeästi eri rakennekerrokset. Levyillä eristettävän yläpohjarakenteen leikkauskuva lisättiin kahden eristystavan vertailun helpottamiseksi. Lisäksi tutkittiin lamellilla eristettävän yläpohjarakenteen painoa. Yläpohjarakenteen U-arvoksi saatiin  $0,148 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Liitteestä 2 käy ilmi U-arvon määrittämiseen käytetyt arvot.



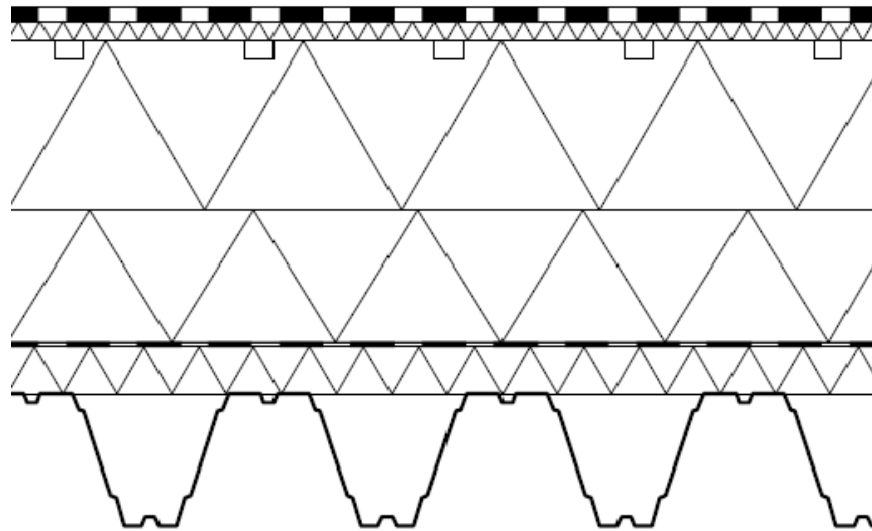
Kuva 16. Harjaosan leikkauskuva.

Rakennekerrokset ovat lueteltu taulukossa alhaalta ylöspäin. Lamellin painon laskemiseksi käytettiin vastaavan tuotteen tiheyttä eli n.  $75 \text{ kg/m}^3$ .

Taulukko 7. Lamellirakenteen rakennekerrokset ja painot.

Rakenneosa	Paino $\text{kg/m}^2$
Teräspoimulevy 1,2 mm	16,82 (*)
Havuvaneri 9 mm	4,68 (**)
Höyrinsulku K-MS 170/3000 + BIP 100/25 bitumi	6,00 (***)
Lamelli ROLg 260 mm	18,20
Vedeneristys, K-MS 170/3000, K-PS 170/5000	10,00 (***)
<b>Yhteensä</b>	<b>55,70</b>

(\*) Ruukki 2010; (\*\*) RT 22-10730, 3; (\*\*\*) RT 85-10799, 8.



Kuva 17. Levyeristetisen rakenteen leikkauskuva (Paroc Oy 2012f.)

Levyeristettä käytettäessä, on yläpohjan eristykseen käytettävissä useita eri eristepaksuuksia ja -vaihtoehtoja. Yllä olevan rakenteen toteuttamiseksi on alla esitetty mahdollinen rakenneratkaisu.

Rakennekerrokset lueteltuna alhaalta ylöspäin:

- Teräspoimulevy
- ROS 50, 50 mm alakerroseriste
- Höyrynsulku esim. K-MS 170/3000
- ROS 30, 100 mm välikerroseriste
- ROS 40g, 100 mm uritettu välikerroseriste
- ROB 50t, 20 mm pintakerroseriste
- Vedeneristys esim. K-MS 170/3000, K-PS 170/5000

### 5.3 Havainnot asennustyössä

Rakennusvaiheessa pyrittiin havaitsemaan lamellieristeen sekä muiden rakennusmateriaalien yhteensopivuuteen, työstettävyyteen sekä käsiteltävyyteen vaikuttavia asioita ja tuoteominaisuuksia. Lisäksi tarkasteltiin asennustyön ajankäyttöä. Kantavana rakenteena toimivan teräspoimulevyn asennustyöhön ei kiinnitetty huomiota, koska rakenne on vastaava myös perinteisessä levyillä eristettävässä vesikattorakenteessa.

#### 5.3.1 Materiaaliominaisuudet

Höyrynsulun alustaksi asennettu vaneri oli vain 9 mm paksu. Asennustöiden yhteydessä vaneri pääsi kastumaan, jonka seurauksena levyt vääntyivät ja menettivät alkuperäisen muotonsa. Vanerilevyjen vääntymistä pyrittiin vähentämään lisäämällä kiinnitysruuvin määrää. Alustana olevan teräspoimulevyn epätasaisuuden vuoksi osa vanerien saumoista jäi tyhjän päälle ja syntyi ns. lentosaumoja.



Kuva 18. Vanerialustan vääntymä.

Höyrynsulkuna käytettiin kahta erilaista ja eri tavoin kiinnitettävää kermiä. Suurin osa toteutettiin bitumilla liimattavalla K-MS 170/3000 kermillä ja pieni alue molemmin puolin hitsattavalla K-MS 170/3500 kermillä. Höyrynsulun asennus ei eroa tavanomaisesta levyristeellä toteutettavasta rakenteesta, eikä työssä ollut huomioitavaa.

Höyrynsulun päälle asennettiin lamelleista koostuva lämmöneristekerros. Lamellit kiinnitettiin höyrynsulkuun bitumilla liimaten tai höyrynsulun bitumipintaa kuumentamalla. Höyrynsulun lävistäviä mekaanisia kiinnikkeitä ei käytetty ollenkaan. Asennustöissä havaittiin, että bitumiliimaus muodosti erittäin lujan ja pitävän kiinnityksen molemmissa höyrynsulkualustoissa, aivan kuten laboratoriokeet olivat osoittaneet. Huomioitavaa oli, että ennen lamellin asennusta höyrynsulun pinta tuli puhdistaa huolellisesti roskista ja irtovillasta, jotta kiinnitys tapahtuu kauttaaltaan lamellin koko alapinnasta. Lisäksi lamellit kiinnitettiin toisiinsa mekaanisilla kiinnikkeillä sivusuunnassa, jotta vedeneristykselle saataisiin



mahdollisimman yhtenäinen ja tasainen alusta. Lamellien rakenteen kuituorientaation takia sivukiinnityksellä saatiin kaikki lamellit kiinnitettyä toisiinsa ja muodostettua yhtenäinen eristepinta. Verrattuna perinteiseen levyrakenteeseen, jossa käytetään 2-4 kiinnikettä/m<sup>2</sup>, kului kiinnikkeitä runsaasti n. 7-8 kiinnikettä/m<sup>2</sup>.



Kuva 19. Lamellien mekaaninen kiinnitys.

Lamellien asennustyön yhteydessä huomattiin, että alustaan kiinnitetty lamelli kestää esim. kävelystä aiheutuvaa rasitusta, mutta suurempien pistekuormien kohdistaminen lamellin pintaan aiheuttaa painumia ja mahdollisesti lamellin pinnan rikkoutumisen. Vedeneristeen aluskermin asennuksen jälkeen lamellit kestävät selvästi suurempiakin pistekuormia.

Räystästä kannattelevat kukkopuut olivat lamellien asennuksen kannalta selvästi työllistävä tekijä. Jokainen lamelli jouduttiin erikseen sovittamaan ja asentamaan räystäsalueella. Lamellien sovituksesta ja leikkauksesta aiheutui huk-

kaa, mutta suhteellisen pienetkin hukkapalat saatiin hyödynnettyä kukkopuiden tiivistyksessä tai katon muissa osissa. Työmaalle toimitetun, ja tuotannossa kuuluneen eristemateriaalin määriä tarkastelemalla voidaan todeta, että asennustyöstä aiheutunut hukka oli n. 2 % eli käytännössä merkityksetön.

Lamellien kiinnityksen edetessä asennettiin aluskermi lamellien päälle. Aluskermiä asennus tehtiin bitumiliimauksella. Liimauksessa bitumia kului enemmän, kuin levyeristeen päälle aluskermiä kiinnitettäessä. Syy tähän on lamellien pystysuuntainen kuiturakenne, joka läpäisee bitumia helpommin kuin levy, jossa kuidut ovat vaakatasossa. Bitumia kului n. 3 kg/m<sup>2</sup>, kun levyn päälle levitettäessä kulutus on n. 1,5 kg/m<sup>2</sup>. Bitumin kulutuksesta riippumatta kiinnittyi kermi erittäin hyvin lamellin pintaan.



Kuva 20. Aluskermiä liimaus.

### 5.3.2 Työstettävyys ja ajankäyttö

Vanerin asennus on työvaihe, jota ei perinteisessä levyrakenteissa katossa ole. Asennustyön kannalta vanerin kiinnitys teräspoimulevyn päälle ei ole merkittävä työvaihe ajallisesti tai työn haastavuuden kannalta.

Lamellin työstäminen oli verrattain hidasta katon reuna-alueilla, joissa kukkopuut hidastivat työtä. Ajallisesti lamellien sovittamiseen ja tiivistämiseen kului huomattava määrä aikaa verrattaessa koko katon eristystyöhön. Käytännössä 40 % katon eristykseen käytetystä ajasta kului räystäsrakenteiden eristys- ja tiivistystöihin. Vesikaton keskiosan eristys, jossa ei tarvinnut tehdä sovitus- tai tiivistystyötä oli huomattavasti nopeampaa. Näillä alueilla yhden päivän eristystöillä saatiin katettua n. 100 m<sup>2</sup> kattopinnasta, kun reuna-alueilla vastaava määrä oli n. 60 m<sup>2</sup>. Osaltaan lamellia käytettäessä hidastavana tekijänä oli runsas kiinnikkeiden määrä, joita asennettiin n. 1-2 kpl/lamelli. Verrattuna perinteiseen eristystapaan, jossa päivän eristystyöllä saadaan katettua n. 180 m<sup>2</sup>, voidaan todeta, että lamellilla eristäminen on ajankäytöllisesti hitaampaa. Asiaa tarkasteltaessa tulee kuitenkin huomioida, että kyseessä on uusi työmenetelmä, jonka seurauksena työtapojen omaksuminen vie aikaa.

Työn aikana havaittiin, että lamellin käsittely on selvästi eristelevyjen käsittelyä kevyempää ja mielekkäämpää. Havainnot perusteltiin lamellin käsittelyä helpottavalla muodolla, jonka vuoksi tuotteesta saa hyvän ja tukevan otteen. Lisäksi lamelli on huomattavasti vastaavaa levyeristettä kevyempi pienemmän tiheydensä vuoksi. Siirtoja ja kantamista on sen sijaan lamellia käytettäessä enemmän, koska lamellilla ei saada eristettyä yhtä suurta alaa katosta kerralla kuin levyllä. Lamellin käyttöä ja siirtelyä katolla ei kuitenkaan koettu fyysisesti yhtä raskaaksi kuin levyn. Voidaan siis todeta, että lamellin käytöllä oli ainakin osittain työergonomiaa parantava vaikutus.



## 6 KUSTANNUSVAIKUTUKSET

Kustannusvaikutuksia tarkasteltiin laskemalla mahdollisimman vertailukelpoisen ja rakenteiltaan vastaavan levyeristeisen yläpohjarakenteen materiaali- ja työkustannukset, ja vertailemalla tuloksia lamellieristeellä tehdyn katon toteutuneisiin materiaali- ja työkustannuksiin. Molempien eristystapojen materiaali- ja työkustannukset sekä kokonaiskustannukset on eritelty ja esitetty taulukkona vertailun helpottamiseksi.

Materiaali- ja työkustannukset ilmoitetaan €/m<sup>2</sup>-hintoina, jotka eivät sisällä arvonlisäveroa, eli ALV 0%. Kustannuksien vertailtavuuden parantamiseksi pyrittiin käyttämään samaa lähdettä molempien eristystapojen vastaavaa rakenneosaa tarkasteltaessa. Kaikkia materiaali- tai työkustannuksia ei ollut yksiselitteisesti saatavilla, joten osassa kustannuksista on käytetty vastaavan vertailukelpoisen materiaalin kustannustietoja. Lamellieristeen eristystyön ja bitumikermin asennuksesta aiheutuvat kulut on laskettu yhteen. Kustannuksia ei ole eritelty, koska työvaiheita tehtiin limittäin, minkä seurauksena todenmukaisen ja vertailukelpoisen yksittäisen työkustannuksen määrittely on erittäin vaikeaa. Erittelyn puuttumisen vuoksi eristystyön kustannuksissa ei ole huomioitu räystästä kannattelevien ”kukkopuiden” aiheuttaman lisätyön osuutta. Kukkopuut muodostivat n. 40 % kattorakenteen eristystyöhön käytetystä ajasta.

Kustannuslaskelman tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että kustannus on teoreettinen eli sisältää ainoastaan materiaaleista ja työstä aiheutuvat kulut. Laskelmassa ei ole huomioitu kaikkia kustannustekijöitä, kuten materiaalien osalta hukan aiheuttamia lisäkuluja tai työn osalta sosiaalikuluja.

Levyillä eristettävän yläpohjarakenteen materiaalikustannukset jakautuivat seuraavasti.

Taulukko 8. Levyrakenteen materiaalikustannukset.

<b>Materiaali:</b>	<b>Kustannus €/m<sup>2</sup></b>	
Teräspoimulevy 1,25 mm	19,59	(*)
Paroc ROS 50 50 mm	17,85	(**)
K-MS 170/3000	6,33	(*)
Bitumi BIP 100/25 (100/30)	2,48	(*)
Paroc ROS 30g 190 mm	37,00	(**)
Paroc ROB 50t 20 mm	8,70	(**)
Croco B-110 200 mm + 90 mm ruuvi	2,04	(***)
K-MS 170/3000	6,33	(*)
Bitumi BIP 100/25 (100/30)	2,48	(*)
K-PS 170/5000 (170/4000)	8,02	(*)

**Yhteensä:**

**110,81**

(\*) Mittaviiva Oy 2011, 234-246; (\*\*) Paroc Oy 2011b; (\*\*\*) SK-Tuote 2012.

Lamellieristeellä toteutetun rakenteen materiaalikustannukset jakautuivat seuraavasti.

Taulukko 9. Lamellirakenteen materiaalikustannukset.

<b>Materiaali:</b>	<b>Kustannus €/m<sup>2</sup></b>	
Teräspoimulevy 1,25 mm	19,59	(*)
Havuvaneri 9 mm	4,72	(*)
K-MS 170/3000	6,33	(*)
Bitumia BIP 100/25	2,48	(*)
Paroc ROL40g 260 mm lamelli	54,50	(**)
Bitumia BIP 100/25	2,48	(*)
Power B modifioitu n. 0,5 €/kpl	3,00	(***)
K-MS 170/3000	6,33	(*)
Bitumia BIP 100/25	4,95	(*)
K-PS 170/5000 (170/4000)	8,02	(*)
Paroc ROB 50t 20 mm	1,74	(****)

**Yhteensä: 114,13**

(\*) Mittaviiva Oy 2011, 234-246; (\*\*) Suovanen Jari 29.1.2012; (\*\*\*) SK-Tuote 2012; (\*\*\*\*) Paroc Oy 2011b.

Levyillä eristettävän yläpohjarakenteen työkustannukset jakautuivat seuraavasti.

Taulukko 10. Levyrakenteen työkustannukset.

<b>Työvaihe:</b>	<b>Kustannus €/m<sup>2</sup></b>	
Teräspoimulevyn asennustyö	1,87	(*)
Höyrynsulun asennus	1,16	(*)
3 x eristekerroksen asennus	3,76	(*)
Bitumikermityöt (kaksikerroskate)	2,23	(*)

**Yhteensä: 7,15**

(\*) Mittaviiva Oy 2011, 135-160.

Lamellieristeellä toteutetun yläpohjarakenteen työkustannukset jakautuivat seuraavasti.

Taulukko 11. Lamellirakenteen työkustannukset.

<b>Työvaihe:</b>	<b>Kustannus €/m<sup>2</sup></b>	
Teräspoimulevyn asennustyö	1,87	(*)
Havuvanerin 9 mm asennustyö	0,85	(**)
Lämmöneristys- ja bitumikermyt	10,66	(***)

**Yhteensä: 13,38**

(\*) Mittaviiva Oy 2011, 135-160; (\*\*) Rakennusliitto 2010; (\*\*\*) Jokinen Hannu 10.2.2012.

Levy- ja lamellieristyksellä toteutettujen yläpohjarakenteiden kokonaiskustannukset jakautuivat seuraavasti.

Taulukko 12. Kokonaiskustannukset.

	<b>Levyrakenne</b>	<b>Lamellirakenne</b>
Materiaalikustannukset	110,81	114,13
Työkustannukset	7,15	13,34
<b>Yhteensä</b>	<b>117,96</b>	<b>127,47</b>

Kustannuslaskelman perusteella voidaan todeta lamellieristeellä toteutetun yläpohjarakenteen kustannuksien olevan hieman suuremmat kuin perinteisellä levyeristeellä tehdyn rakenteen. Hintaeroa rakenteilla on 9,51 €/m<sup>2</sup>, eli n. 8 %. Kustannuksia tarkasteltaessa tulee huomata, että laskelmassa käytettyjen eristemateriaalien osalta lamellirakenteen kustannukset ovat 56,24 €/m<sup>2</sup> ja levyrakenteen eristeillä vastaava kustannus on 63,55 €/m<sup>2</sup>. Pelkkien lämmöneristemateriaalien kustannuksien osalta lamelli on 7,31 €/m<sup>2</sup> edullisempi, kuin levyeristeet, eli n. 13 %. Kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa lopullinen ero levyrakenteen eduksi selittyy lamellin asennukseen käytettävien kiinnikkeiden ja bitumin materiaalikustannuksista, sekä suurimmaksi osaksi lamellirakenteen korkeammista työkustannuksista.

Kustannusvertailua tarkasteltaessa tulee huomioida, että mahdolliset tarjoukset, alennukset ja toimitussopimukset vaikuttavat huomattavasti todelliseen kustannustasoon.

## 7 YHTEENVETO

### 7.1 Johtopäätökset

Tutkimusprojekti oli kokonaisuudessaan kaikin puolin onnistunut. Työn perustana oli tutkia lamellieristeen ominaisuuksia ja soveltuvuutta koerakennuskohteen vesikattorakenteeseen. Työn ja projektin kannalta kriittisin vaihe koettiin jo alkumetreillä, jolloin ei oltu vielä varmoja lamellin ja bitumiliimauksella tapahtuvan kiinnityksen lujuudesta. Alustavilla laboratoriokokeilla saatiin varmuus kiinnityksen vetolujuudesta ja projektin toteutus varmistui. Tutkimuksien edetessä koerakennusvaiheeseen voitiin todeta, että lamellieristeellä on mahdollista toteuttaa loivan vesikaton lämmöneristys.

Koerakentamisen aikana tehtyjen havaintojen perusteella kohteen yläpohjarakenteen toteutuksessa olisi voitu käyttää vaihtoehtoisia materiaaleja ja rakenneratkaisuja. Höyrynsulun alustaksi asennettu 9 mm:n havuvaneri osoittautui toimivaksi mutta hyvin alttiiksi kosteusrasitukselle. Mahdollisuuksien mukaan alusta olisi voitu levyttää paksummalla ja pontatulla vanerilla, jolla olisi parempi kantokyky sekä kyky vastustaa kosteusrasituksesta aiheutuvia vääntymiä. Lisäksi ponttauksella taattaisiin lujuus myös ns. lentoliitoksissa, joissa sauma ei kohdistu tuen päälle.

Räystäsrakenteella oli kohteen toteutuksen kannalta merkittävä vaikutus. Räystästä kannattelevat ”kukkopuut” hidastivat merkittävästi työn nopeutta, mikä heijastuu suoraan työkustannuksiin. Lisäksi kukkopuiden kiinnitys vaati ainoana rakenneosana höyrynsulun lävistämisen, jonka välttämistä pidettiin yhtenä työn tavoitteista. Vaikka höyrynsulku tässä tapauksessa lävistettiin, on rakenne mahdollista toteuttaa myös niin, että höyrynsulku säilyy ehjänä esim. sisäpuolisella vedenpoistolla tai kukkopuiden kiinnitystapaa ja rakennetta muuttamalla. Tosin on todettava, että Suomen vaihtelevissa sääoloissa räystääs on todettu toimivaksi rakenteeksi rakennuksen kosteustoimivuuden kannalta.

Lamellien kiinnityksen kannalta bitumiliimaus osoittautui hitsausta paremmaksi ja ajallisesti hieman nopeammaksi menetelmäksi. Lamellien mekaaninen, sivusuunnassa tehtävä kiinnitys osoittautui alkuperäisistä ajatuksista poiketen välttämättömäksi. Mekaanisen kiinnityksen tarpeen voidaan olettaa korostuvan, mitä paksumpaa lamellia käytetään. Toimivan rakenteen vaatima kiinnikkeiden määrä oli myös yllättävän merkittävä tekijä eristystyön nopeuden ja materiaalikustannuksien kannalta. Katon harjaosan eristämiseen lamellin tuoteominaisuudet osoittautuivat ideaalisiksi, koska taipuisa lamelli saatiin asennettua suoraan harjaosan päälle. Näin välttyttiin mm. ongelmalliselta tiivistystyöltä. Katon kaltevuudella on luonnollisesti merkitystä siihen, kuinka hyvin lamelli saadaan taitettua harjaosan yli. Koekohteessa, jossa katon kaltevuus oli 1:16, ei havaittu ongelmia.

Lamellieristeellä toteutetun yläpohjarakenteen kokonaiskustannukset olivat hieman suuremmat kuin perinteisellä levyrakenteella. Lamellin käytön kehittämisellä saattaa olla vaikutuksia myös syntyviin työ- ja materiaalikustannuksiin. Vaikka kokonaiskustannukset ovat lamellirakenteella hieman korkeammat, tulee huomioida, että lamellia käyttämällä voidaan säilyttää höyrynsulku ehjänä. Ehjänä säilytettävällä höyrynsululla rakenne toimii suunnitellusti. Elinkaarikustannuksia tarkasteltaessa on huomioitava, että oikein toimivalla rakenteella saadaan aikaan kustannussäästöjä, jotka ilmenevät mm. tulevaisuuden korjaustarpeen pienentyessä.

## 7.2 Mahdollisuudet ja tulevaisuus

Lamellieristeen käyttöä ja yleistymistä loivien kattojen eristeenä ei voida pois sulkea. Tällä hetkellä tutkimukset eivät vielä ole kovinkaan laajamittaisia ja referenssi- sekä koerakennuskohteita on hyvin vähän. Tulevaisuuden kannalta merkittävää on, kuinka tunnetuksi tuote tulee urakoitsijoiden keskuudessa ja minkälaisen mielipiteen he uudesta eristystavasta muodostavat.

Ensimmäinen koerakennuskohde antoi paljon tietoa lamellieristeen ominaisuuksista ja soveltuvuudesta loivan katon lämmöneristeeksi sekä hyvän pohjan jat-

kotutkimuksille ja kehitystyölle. Tulevaisuudessa mahdolliset lisätutkimukset voitaisiin kohdistaa mm. erilaisiin alustoihin perehtymiseen, lamellin ominaisuuksiin ja kiinnityksen tutkimiseen sekä räystäsrakenteen kehittämiseen.

Koerakennuskohteessa kantavana rakenteena käytettiin teräspoimulevyä. Lisätutkimuksia voitaisiin tehdä muiden yleisesti käytössä olevien kantavien rakenteiden parissa, kuten ontelolaatan tai muiden betonirakenteiden soveltuvuudesta lamellilla eristettävään yläpohjarakenteeseen.

Lamellin ominaisuuksien osalta lisätutkimuksia voitaisiin tehdä mm. paksumman lamellin soveltuvuudesta tuotantoon sekä sen vaatimasta kiinnityksestä. Koerakennuskohteessa käytetyn lamellin paksuus oli 260 mm, mutta lämpimän tilan tai mahdollisen passiivirakenteen osalta lämmöneristävyysmääräykset täyttävän lämmöneristekerroksen tulisi olla huomattavasti paksumpi. Tutkimuksia voitaisiin tehdä esim. 360 mm–400 mm paksulla lamellilla ja selvittää aiheuttaa-ko lamellin paksuus lisävaatimuksia kiinnitykselle tai asennustyölle. Paksumpaa lamellia käytettäessä voitaisiin myös tutkia asennustyön nopeutta ja verrata tuloksia levyllä eristettävään rakenteeseen. Mitä paksumpi lämmöneristys rakenteessa on, sitä useampia levykerroksia se vaatii, mikä puolestaan tarkoittaa suurempia työkustannuksia lämmöneristyksen asennuksen osalta. Lamellia käytettäessä työkustannukset eivät ole riippuvaisia eristyksen paksuudesta, koska sillä saadaan yhdellä kerroksella haluttu eristepaksuus.

Referenssikohteiden lisääntyessä ja kehitystyön edetessä selviää, tuleeko loiville katoille tarkoitettu ROLg-eristeestä virallinen tuote. Tutkimustyötä on kuitenkin vielä paljon tehtävä, jotta voidaan varmistua tuotteen soveltuvuudesta erilaisiin rakenteisiin ja rakennuskohteisiin.



## LÄHTEET

Björkholtz, D. 2009. Lämpö ja kosteus. 3. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ekovilla 2011. Ekovillalevy. Viitattu 28.12.2011  
<http://www.ekovilla.com/ekovillalevy.php>.

Isover Oy 2009. Kattoeristeet loiville katoille. Viitattu 25.10.2011  
<http://www.isover.fi/materiaalipankki/esitteet>.

Katepal 2011. Höyrynsulku. Viitattu 26.10.2011  
<http://www.katepal.fi/hoyrynsulku.html>.

Kattoliitto. 2007. Toimivat Katot. Kattoliitto.

Kuntsi, S. 1998. Katot ja vedeneristys. Helsinki: Rakennusalan kustantajat RAK.

Kaila, P. 2008. Talotohtori. 15. painos. Helsinki: WSOY.

Leppävuori, E; Prokki, H; Kanerva, P & Vähäkallio, P. 1986. Rakennusaineet. 2. painos. Helsinki: Otakustantamo.

Mittaviiva Oy 2011. Rakennusosien kustannuksia (ROK) 2011. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Nordic Waterproofing Oy 2011. Villakatot. Viitattu 26.10.2011  
[http://www.kerabit.fi/fi/Suunnittelu-ja\\_asennusohjeet/Suunnitteluohjeet/Loivat\\_katot/Villakatto](http://www.kerabit.fi/fi/Suunnittelu-ja_asennusohjeet/Suunnitteluohjeet/Loivat_katot/Villakatto).

Ohutlevy 2011. Ohutlevypintaiset sandwich-elementit rakennustekniikassa. Viitattu 17.1.2012  
[http://www.ohutlevy.com/pdf/sandwich\\_lassi\\_martikainen.pdf](http://www.ohutlevy.com/pdf/sandwich_lassi_martikainen.pdf).

Oijala, M. 1998. Rakennusaineet. Helsinki: Rakennusalan kustantajat RAK.

Palomäki, E. 1993. Rakennusmateriaalit ja terveys. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Paroc Oy 2011a. Energiaviisastalo. Viitattu 17.1.2012  
<http://www.energiaviisastalo.fi/?cat=Pilottikohteet&id=98>.

Paroc Oy 2011b. Hinnasto. Viitattu 6.3.2012  
[http://www.paroc.com/spps/Finland/BI\\_attachments/Rakennuseristeet\\_tuotekatalogi\\_lores\\_ww.pdf](http://www.paroc.com/spps/Finland/BI_attachments/Rakennuseristeet_tuotekatalogi_lores_ww.pdf).

Paroc Oy 2010c. Loivat katot. Viitattu 9.1.2011  
[http://www.paroc.com/spps/Finland/BI\\_attachments/ohjeet\\_loivat\\_katot\\_2010\\_11.pdf](http://www.paroc.com/spps/Finland/BI_attachments/ohjeet_loivat_katot_2010_11.pdf).

Paroc Oy 2012d. Tuotteet. Viitattu 21.2.2012  
<http://192.49.230.181/CSharpSite/extranet/ProductDetailsExtranet.aspx?ma=Finland&cat=Rend eredFacadeInsulation%28Paroc%20Product%20Catalog%29&product=CGL%2080%28Paroc%20Product%20Catalog%29&lang=fi-FI&public=true>.

Paroc Oy 2010e. U-arvo. Viitattu 14.3.2012  
[http://www.paroc.com/spps/Finland/BI\\_attachments/U-arvot/Loivat%20katot\\_Profiilipelti.pdf](http://www.paroc.com/spps/Finland/BI_attachments/U-arvot/Loivat%20katot_Profiilipelti.pdf).

Paroc Oy 2012f. Yläpohjan leikkauskuva. Viitattu 1.3.2012  
<http://eriste.paroonline.com/>.

- Permarock 2010. Lamella. Viitattu 17.1.2012  
[http://www.permarock.com/products/external\\_wall\\_insulation\\_systems/lamella.aspx](http://www.permarock.com/products/external_wall_insulation_systems/lamella.aspx).
- Rakennusliitto 2010. TES. Viitattu 7.3.2012  
[http://www.rakennusliitto.fi/@Bin/3347474/RAK\\_TES\\_2010\\_www.pdf](http://www.rakennusliitto.fi/@Bin/3347474/RAK_TES_2010_www.pdf).
- RT 36-10689. 1999. Mineraalivillaeristeet. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 36-10690. 1999. EPS-eristeet. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 36-10691. 1999. XPS-eristeet. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 22-10730. 2000. Vanerilevyt. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 85-10851. 2005. Loivat bitumikermikatot. Helsinki: Rakennustieto.
- Rakennustieto 2006. Rakennustaito-lehti. Viitattu 10.1.2012  
[http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/unnamed\\_3507.html](http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/unnamed_3507.html).
- Rockwool Oy 2011. U-arvo. Viitattu 22.11.2012  
<http://www.rockwool.fi/erist%C3%A4misen+pikkuj%C3%A4tti/tuotetiedot/%CE%BB-arvo+ja+u-arvo>.
- Ruukki Oy 2010. Kantavat poimulevyt. Viitattu 6.3.2012  
<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Kantavat-poimulevyt/Kantava-poimulevy-T153-40L-840#tab2>.
- Siikanen, U. 1996. Rakennusaineoppi. 5. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Sisäilmayhdistys 2008. Loivat katot. Viitattu 9.11.2011  
[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/kunnossapito\\_ja\\_korjaaminen/vesikatto\\_ja\\_ylapohja/loivat\\_katot/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kunnossapito_ja_korjaaminen/vesikatto_ja_ylapohja/loivat_katot/).
- SK-Tuote 2012. Hinnasto. Viitattu 6.3.2012. <http://www.skfastening.fi/Suomeksi/Esitteet>.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011. Viitattu 22.12.2011  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=394585&lan=FI>.
- Thermisol Oy 2012. Tuotteet. Viitattu 13.3.2012. <http://www.thermisol.fi/tuotteet-ja-palvelut/eriste/platina-eristeet/platina-lattia>.
- Varsinaisbitumi Oy 2008. Läpiviennit. Viitattu 1.11.2011  
[http://www.varsinaisbitumi.fi/fi/katto\\_lapiviennit](http://www.varsinaisbitumi.fi/fi/katto_lapiviennit).
- Wikipedia 2010a. Ilmansulku. Viitattu 29.10.2011  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ilmansulku>.
- Wikipedia 2011b. Rakennuseriste. Viitattu 22.12.2012  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Rakennuseriste>.

# Liite 1 Vetolujuuskokeiden tarkat tulokset

MUOTTIVANERI K-MS 170/400

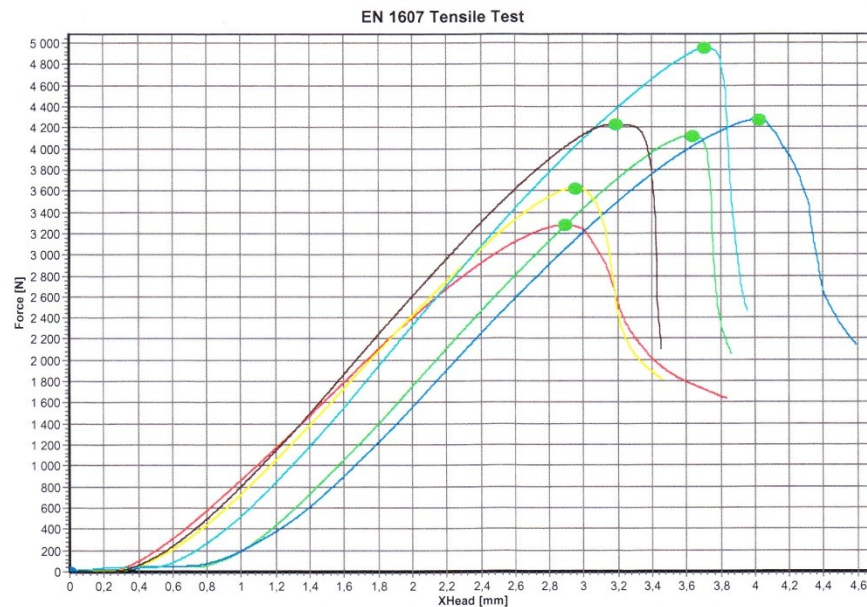
Operator: mawal  
Material: bitumivedot2

Date: 20.07.2011  
Time: 08:11

File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\muotti

## Test parameters

Test: Universal Tensile / Compression Test  
UTM type: TCT 10  
Load cell: 10 kN  
Extensometer: XHd.pos.  
Clamping device:  
Test area: Lower test area  
Sample dimensions: a = 200 mm; b = 200 mm; h = 1 mm; m = 1 g  
Length data: L0 = 250 mm  
Test rates: V0 = 10 mm/min  
Rate switch points:  
End of test criterions: dF = 50 %



## Test results

		Date	Time	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
1	x	20.07.11	07:39	3.28	82.05	1.16	2.89
2	x	20.07.11	07:45	4.12	103.05	1.45	3.63
3	x	20.07.11	07:50	4.28	106.89	1.61	4.02
4	x	20.07.11	07:55	3.63	90.64	1.18	2.95
5	x	20.07.11	08:00	4.96	123.97	1.48	3.71
6	x	20.07.11	08:11	4.23	105.84	1.27	3.18

Operator: mawal  
Material: bitumivedot2

Date: 20.07.2011  
Time: 08:11

File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\muotti

## Statistics n = 6

	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
Average	4.08	102.07	1.36	3.40
Standard deviation	0.58	14.49	0.18	0.46
Variation coeff.	0.01	14191.80	13.39	13.39

20mm väri K-MS 170/4000

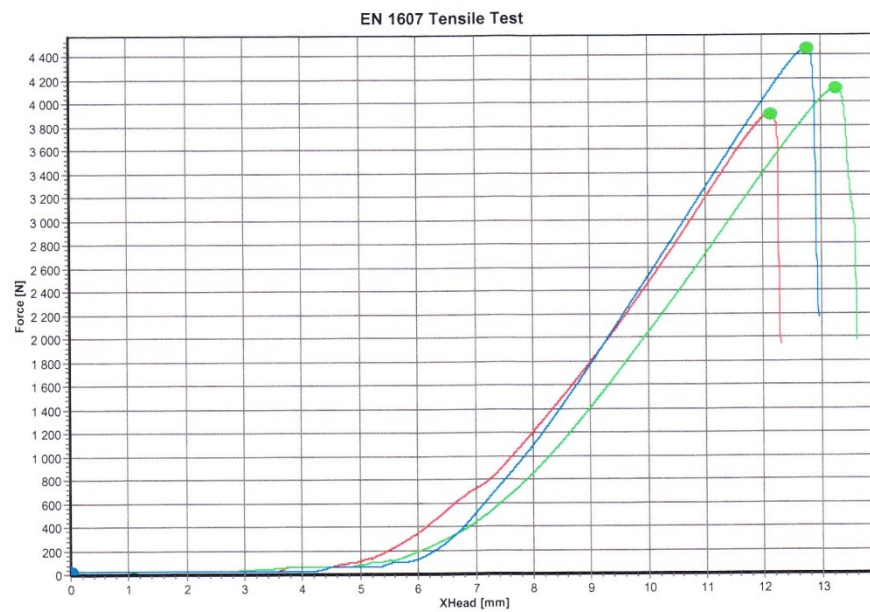
Operator: mawal  
 Material: bitumivedot2

Date: 19.07.2011  
 Time: 08:52

File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\20mm

### Test parameters

Test: Universal Tensile / Compression Test  
 UTM type: TCT 10  
 Load cell: 10 kN  
 Extensometer: XHd.pos.  
 Clamping device:  
 Test area: Lower test area  
 Sample dimensions: a = 200 mm; b = 200 mm; h = 1 mm; m = 1 g  
 Length data: L0 = 100 mm  
 Test rates: V0 = 10 mm/min  
 Rate switch points:  
 End of test criterions: dF = 50 %



### Test results

		Date	Time	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
1	x	19.07.11	08:32	3.90	97.39	12.13	12.13
2	x	19.07.11	08:38	4.12	103.09	13.26	13.26
3	x	19.07.11	08:52	4.46	111.46	12.75	12.75

### Statistics n = 3

	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
Average	4.16	103.98	12.71	12.71

Operator: mawal Date: 19.07.2011  
Material: bitumivedot2 Time: 08:52  
File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\20mm

Standard deviation	0.28	7.08	0.57	0.57
Variation coeff.	0.01	6807.06	4.46	4.46

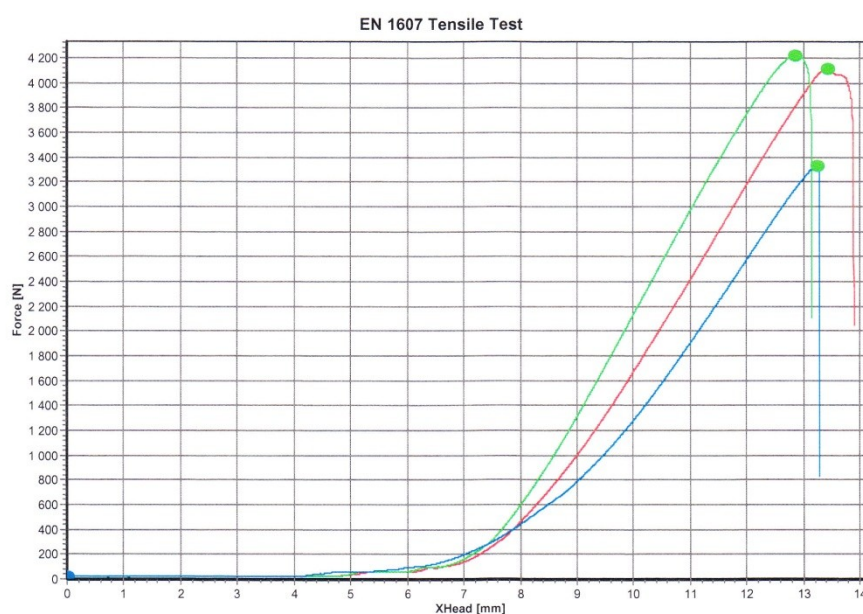
20mm väneni K-M5 170/3500

Operator: mawal  
Material: bitumivedot2Date: 19.07.2011  
Time: 09:11

File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\20mm

## Test parameters

Test: Universal Tensile / Compression Test  
 UTM type: TCT 10  
 Load cell: 10 kN  
 Extensometer: XHd.pos.  
 Clamping device:  
 Test area: Lower test area  
 Sample dimensions: a = 200 mm; b = 200 mm; h = 1 mm; m = 1 g  
 Length data: L0 = 100 mm  
 Test rates: V0 = 10 mm/min  
 Rate switch points:  
 End of test criterions: dF = 50 %



## Test results

		Date	Time	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
1	x	19.07.11	09:03	4.13	103.13	13.41	13.41
2	x	19.07.11	09:07	4.23	105.69	12.84	12.84
3	x	19.07.11	09:11	3.34	83.48	13.24	13.24

## Statistics n = 3

	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
Average	3.90	97.44	13.16	13.16



Operator: mawal Date: 19.07.2011  
Material: bitumivedot2 Time: 09:11  
File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\20mm

Standard deviation	0.49	12.15	0.29	0.29
Variation coeff.	0.01	12470.32	2.21	2.21



20mm vaneri K-TMS 170/3300

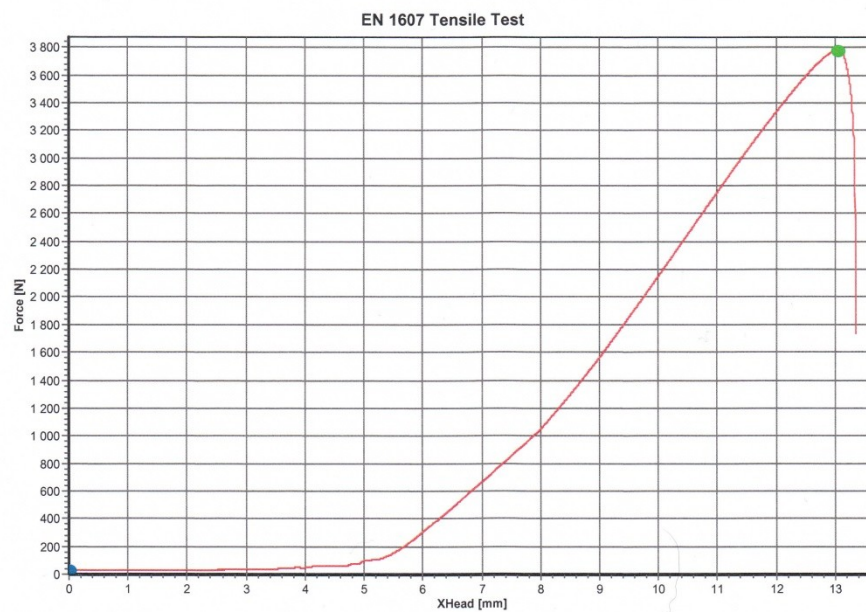
Operator: mawal  
Material: bitumivedot2

Date: 19.07.2011  
Time: 13:06

File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\20mm

### Test parameters

Test: Universal Tensile / Compression Test  
UTM type: TCT 10  
Load cell: 10 kN  
Extensometer: XHd.pos.  
Clamping device:  
Test area: Lower test area  
Sample dimensions: a = 200 mm; b = 200 mm; h = 1 mm; m = 1 g  
Length data: L0 = 100 mm  
Test rates: V0 = 10 mm/min  
Rate switch points:  
End of test criteria: dF = 50 %



### Test results

		Date	Time	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
1	x	19.07.11	13:06	3.78	94.49	13.04	13.04

### Statistics n = 1

	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
Average	3.78	94.49	13.04	13.04
Standard deviation	0.00	0.00	0.00	0.00
Variation coeff.	0.00	0.00	0.00	0.00

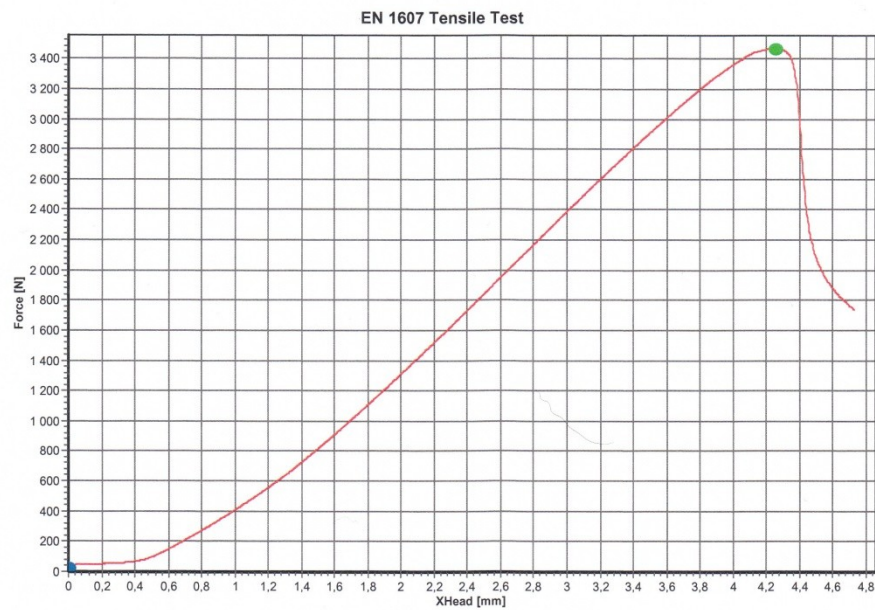
MUOTTIVANERI K-TMS 170/3300

Operator: mawal  
Material: bitumivedot2Date: 19.07.2011  
Time: 13:14

File name: \\intranet.paroc.com\sites\RDLabteam\Instruments\Alwetron\Results\EN 1607 Tensile strength\bitumivedot2\FAL1\muotti

## Test parameters

Test: Universal Tensile / Compression Test  
 UTM type: TCT 10  
 Load cell: 10 kN  
 Extensometer: XHd.pos.  
 Clamping device:  
 Test area: Lower test area  
 Sample dimensions: a = 200 mm; b = 200 mm; h = 1 mm; m = 1 g  
 Length data: L0 = 100 mm  
 Test rates: V0 = 10 mm/min  
 Rate switch points:  
 End of test criterions: dF = 50 %



## Test results

		Date	Time	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
1	x	19.07.11	13:14	3.47	86.71	4.26	4.26

## Statistics n = 1

	FH kN	RH kPa	AH %	dLH mm
Average	3.47	86.71	4.26	4.26
Standard deviation	0.00	0.00	0.00	0.00
Variation coeff.	0.00	0.00	0.00	0.00

## Liite 2 U-arvon määrittäminen

<u>Rakenne :</u>	<u>Ainekerroksen paksuus (m)</u>	<u><math>\lambda</math>-arvo</u>	<u>R</u>
Teräspoimulevy 1,25mm			
Havuvaneri 9mm	0,009	0,13	0,069
Höyrynsulku, kermi K-MS 170/3000 2,5mm	ohut ainekerros R = 0,04		0,04
Lamelli ROLg 260mm	0,26	0,04	6,5
Vedeneriste, kermi K-MS 170/3000 + K-PS 170/5000 yht. 5,0mm	ohut ainekerros R = 0,04 + 0,02 = 0,06		0,06
Pintavastukset $R_{se} + R_{si}$ yht. (0,04 + 0,10)			0,14
<b><math>R_{tot}</math></b>			<b>6,769</b>
<b>U-arvo (HUOM! Urituksen ja kiinnikkeiden vaikutusta ei huomioitu)</b>			<b>0,148 W/m<sup>2</sup>K</b>

