



Mikko Pulkkinen

## **ISOVER OL-LAM -LÄMMÖNERISTEEN SAUMOJEN LÄMPÖTEKNINEN TOI- MINTA JA VALKOISEN KUMIBITUMIKERMIN VAIKUTUS SISÄLÄMPÖTILAAN**

**ISOVER OL-LAM -LÄMMÖNERISTEEN SAUMOJEN LÄMPÖTEKNINEN TOI-  
MINTA JA VALKOISEN KUMIBITUMIKERMIN VAIKUTUS SISÄLÄMPÖTILAAN**

Mikko Pulkkinen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2011  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Rakennustekniikka	Insinööriyö	39	+	2
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Talon- ja korjausrakentaminen	11.11.2011			
Työn tilaajat	Työn tekijä			
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy ja Katman Oy	Mikko Pulkkinen			
Työn nimi				
Isover OL-LAM -lämmöneristeen saumojen lämpötekniinen toiminta ja valkoisen kumibitumikermien vaikutus sisälämpötilaan				
Avainsanat				
Lämpösäteily, lämpökuvaus, rakennusaineet				

Tässä insinööriyössä tutkittiin Isover OL-LAM -lämmöneristeen saumojen lämpötekniistä toimivuutta sekä verrattiin Katepalin valkean ja harmaan kumibitumikermien vaikutusta rakennuksen sisälämpötilaan. Isover OL-LAM on loiville katoille suunniteltu uusi eriste, josta on vasta vähän käyttökokemusta. Tässä insinööriyössä keskityttiin eristeen saumojen tarkasteluun. Saumoista ja eristeen keskeltä mitattiin lämpötilaa, joita vertailemalla saataisiin varmuus eristeen lämpötekniisestä toiminnasta saumojen kohdalla. Harmaan ja valkoisen kumibitumikermien vertailussa selvitettiin värin vaikutusta katon ja erityisesti sisätilan lämpötiloihin. Jos valkoinen kermi alentaisi selvästi sisälämpötilaa lämpiminä kesäpäivinä, sillä olisi myös suora vaikutus rakennuksen energiankulutukseen.

Tutkimus ajoittui huhtikuun alusta syyskuun puoliväliin vuonna 2011. Huhtikuun alussa tehtiin lämpökuvaus, jossa etsittiin poikkeamia kattorakenteen lämpötiloissa. Kesäkuusta eteenpäin seurattiin lämpötilan muutoksia katossa ja sisätalassa. Mittaukset tehtiin samanaikaisesti kahdelta puolen rakennusta, valkoisella ja harmaalla kumibitumikermillä. Lämpötilan mittauksessa käytettiin tarkkoja lämpötila-antureita, joiden lukemisesta ja tietojen tallentamisesta huolehti automaattisesti toimiva mittauslaite, dataloggeri.

Isover OL-LAM -eristeen saumat ja nurkat osottautuivat täysin tiiveiksi. Lämpötilalaerot kyseisissä kohdissa ovat sen verran pieniä, että ne sisältyvät lämpötila-anturien virhemarginaaliin. Hyvänä vertailuna toimivat pintavillan tuuletusuriin asennetut kaksi lämpöanturia, joista ilmenee liikkuvan ilman vaikutus lämpötilaan. Vaikka valkoinen kumibitumikermi lämpesi harmaata kermiä selvästi vähemmän, valkoisen värin viilentävä vaikutus ei ulottunut sisälämpötilaan. Kattorakenteesta tehty laskentamalli tukee saatuja tuloksia.

Degree Programme	Thesis	Number of pages	+	Appendices
Civil Engineering	B.Sc.	39	+	2
Line	Aika			
House Building and Renovation	November 11, 2011			
Comissioned by	Author			
Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy and Katman Oy	Mikko Pulkkinen			
Thesis title	Thermal Function of Isover OL-LAM Insulation Joints and Effect of White Rubberized Bitumen Membrane on Inside Temperature			
Keywords	Thermal radiation, thermography, building materials			

The purpose of this thesis was to study the thermal functionality of Isover OL-LAM thermal insulation joints and to compare the effects of white and grey Katepal rubberized bitumen membrane on the temperature inside a building. Isover OL-LAM, designed for low-pitched roofs, is a new insulation that has undergone only few field tests. In this study the focus was in the joints of the insulation. By comparing the temperature values that was measured in the joints and in the middle of the insulation the thermal function of the joints could be proven. The effect of the color on roof and especially the interior temperature, were studied in the comparison of grey and white rubberized bitumen membrane. If white membrane clearly lowered the inside temperature during warm summer days, it would also have a direct effect on the energy consumption of the building.

The research spanned from the beginning of April till middle of September in 2011. Thermal imaging where deviations were looked for in the roof structure temperature was done in the beginning of April. The temperature changes in the roof and interior were followed starting from the beginning of June. The measurements were made simultaneously in two sides of the building with white and grey rubberized bitumen membrane. Temperature was measured using accurate temperature sensors which readings where then collected and saved by a data logger.

The joints of the Isover OL-LAM insulation prove to be completely tight. The temperature differences in those spots were so small that they are included in the margin of error of the sensors. As a good comparison, the two sensors which were installed inside the air vent of the top insulation showed what was the effect of moving air on the temperature. Although the white rubberized bitumen membrane heated up less than the grey one, white color did not lower the inside temperature. Calculation model based on the roof structure confirms the results.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT .....	4
1 JOHDANTO.....	6
2 LÄMPÖSÄTEILY .....	8
3 LÄMPÖKUVAUKSEN PERIAATTEET JA LÄMPÖANTUREIDEN ASENTAMINEN TUT- KIMUSKOHTEESEEN.....	10
3.1 Rakennusten lämpökuvaus.....	12
3.2 Kattorakenteen lämpötilaseuranta .....	14
4 LÄMPÖKUVAUKSEN SUORITTAMINEN JA LÄMPÖTILASEURANNAN TULOKSET .....	19
4.1 Carrierin ja KPP:n hallin lämpökuvaus.....	19
4.2 Lämpötilaseurannan tulokset.....	22
4.2.1 Valkoinen kumibitumikermi .....	22
4.2.2 Isover OL-LAM .....	27
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	30
5.1 Isover OL-LAM -saumojen lämpötekniinen toiminta .....	30
5.2 Valkoisen kumibitumikermin vaikutus lämpötiloihin.....	30
6 POHDINTA.....	37
LÄHTEET .....	39
LIITTEET .....	40

# 1 JOHDANTO

Elämme historiallisia aikoja. Ilmastomme on muuttumassa ensimmäistä kertaa ihmisen toimesta. Vaikutus on maailmanlaajuinen ja useimmille meistä se on haitallinen. Niinpä maailman johtajat ovat kokoontuneet yhteen ja sopineet kasvihuonepäästöjen vähentämisestä ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi. Tämän toteutuakseen päästöleikkauksia on tehtävä niin energiantuotannosta, liikenteestä kuin rakentamisesta ja rakennuksien lämmitämisestä.

Päästöjen vähentämiseksi on jo monia välineitä, ja uusien innovaatioiden parissa työskennellään taukoamatta. Yritysten on kehitettävä uusia tuotteita ja menetelmiä vastaamaan asiakkaiden yhä tiukempia vaatimuksia ja nykyhetken tarpeita. Asian tiedostavat myös tämän opinnäytetyön tilaajayritykset Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy ja Katman Oy.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, alentaako valkoinen kumibitumikermi rakennuksen sisälämpötilaa ja ovatko Isover OL-LAM -eristeen saumat lämpötekniisesti tiiviitä. Tutkimus toteutettiin Oulun Ruskoon vasta valmistuneessa tuotanto- ja varistorakennuksessa. Katon lämmöneristys oli toteutettu Isoverin loivien kattojen valmispaketilla, mihin Isover OL-LAM -lämmöneriste keskeisesti kuuluu. Tutkimuksen kuluessa kohteeseen asennettiin myös valkoinen kumibitumikermi peittämään puolet koko katon pinta-alasta.

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy kuuluu Isover Saint-Gobain tuotemerkillään Suomen suurimpiin eristevalmistajiin. Hyvinkäällä ja Forssassa sijaitsevilla tehtailla valmistetaan vuosittain eristeitä noin 50 000 tonnia (Wikipedia. 2011, hakusana Isover). Isover Saint-Gobain on kehittänyt uuden lämmöneristeen, Isover OL-LAM, joka on suunniteltu erityisesti loiville katoille. Se on aiempaa paksumpi, mikä vähentää tehokkaasti lämmön siirtymistä ulkoilmaan. Se on myös kantavampi eriste, joten se sallii entistä suurempia kuormia (liite 2).

Katman Oy on puolestaan kattojen rakentamiseen, korjaamiseen ja huoltoon erikoistunut yritys. Yrityksellä on työkohteita laajasti Oulun ympäristössä, Helsingissä, sekä Rovaniemellä, mutta löytyypä jokunen myös rajan takaa Ruotsista. Katman Oy käyttää kattojen

vedeneristyksenä ja höyrynsulkuna Katepalin valmistamia kumibitumikermejä (Katman Oy.  
2011, linkit Yritys, Referenssit, Yhteistyökumppanit.)

## 2 LÄMPÖSÄTEILY

Lämpösäteily on johtumisen ja konvektion ohella yksi kolmesta lämmön siirtymismuodosta. Toisin kuin muut kaksi siirtymismuotoa, lämpösäteily ei tarvitse siirtyäkseen ollenkaan väliainetta. Itse asiassa kaikki aine, jonka lämpösäteily kohtaa, heikentää sen voimakkuutta (Björkholtz 1997, 12-13.)

Lämpösäteily syntyy aineen sisällä atomien ja molekyylien värähtelystä. Kaikki kappaleet, absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, lähettävät lämpösäteitä. Lämpösäteily muodostuu sähkömagneettisesta säteilystä, jonka aallonpituus vaihtelee 700 nm:n ja 1 mm:n välillä (Wikipedia. 2011, hakusana infrapunasäteily). Näkyvän valon aallonpituudet sijoittuvat suunnilleen välille 350-700 nm, joten ihmissilmä ei erota lämpösäteilyä (Wikipedia. 2011, hakusana valo). Koska valo on suurimmilla aallonpituuksilla väriltään punaista, tästä pidempiä aaltoja nimitetään myös infrapunasäteiksi. Asian havainnollistamiseksi ajatellaan paljasta keittolevyä. Kun levy käännetään päälle ja odotetaan hetki, voidaan käsin koskematta havaita, kuinka lämpötila alkaa nousta lieden yllä. Keittolevyn yhä kuumetessa tullaan lopulta pisteeseen, jossa levy alkaa hehkua punaisena kuumuudesta. Liesi lähettää siis alkuun pelkästään lämpösäteilyä eli infrapunasäteilyä ja myöhemmin, kun lämpöenergia on kasvanut tarpeeksi suureksi, myös punaista valoa (Inkinen - Tuohi 2002, 419.)

Lieden lisäksi elävästä ympäristöstä löytyy paljon muitakin esimerkkejä lämpösäteilijöistä. Näistä suurin ja voimakkain on tietysti aurinko. Auringossa lämpösäteily syntyy kuumassa plasmassa fuusioreaktioiden tuloksena. Myös auringossa, kuten keittolevyssä, lämpösäteily saa aikaan näkyvää valoa. Auringon säteilystä hieman yli puolet, 53 %, on lämpösäteilyä 39 % on näkyvää valoa ja loput 8 % ultraviolettisäteilyä (Wikipedia. 2011, hakusana infrapunasäteily). Muita tuttuja lämpösäteilijöitä ovat esimerkiksi takka, hehkulamppu tai vaikkapa leivänpaahdin (Inkinen - Tuohi 2002, 418.)

Lämpösäteilyn voimakkuus riippuu paitsi kappaleen lämpötilasta myös pinnan kyvystä lähettää säteilyä eli pinnan emissiivisyydestä. Emissiivisyyttä kuvaa suhdeluku  $\epsilon$  välillä 0-1. Se ilmaisee, kuinka paljon säteilyä kyseinen pinta lähettää verrattuna täydelliseen mustaan kappaleeseen. Täysin mustan kappaleen emissiivisyys on siten 1. Toisesta päästä asteikkoa löytyy heijastavia pintoja, kuten kiillotettu alumiini ja ruostumaton teräs, joiden emissii-



visyys on 0,1 (Inkinen - Tuohi 2002, 419.) Useimmat rakennusmateriaalit kuuluvat emissiivisyyden alueelle 0,85-0,95 (Paloniitty - Kauppinen 2006, 16-17.)

Kaikki kappaleet ottavat myös vastaan eli absorboivat ympäristön sähkömagneettista säteilyä. Absorptiosuhdetta kuvaava luku on käytännössä yhtäsuuri kuin emissiivisyys (Björkholtz 1997, 13.) Musta pinta toimii siis myös tehokkaana lämmön vastaan ottajana. Kappale absorboi ympäristön säteilyä sitä voimakkaammin mitä suurempi kappaleen ja ympäristön välisen lämpötilan erotus on (Inkinen - Tuohi 2002, 420.)

Joskus sähkömagneettisen säteilyn osuessa aineen pintaan suurin osa säteilystä heijastuu suoraan pois. Samaan tapaan kuin emissiivisyyden ja absorptio kohdalla, heijastuvuus määritetään asteikolla 0-1, jossa 1 vastaa täyttä heijastusta. Voimakkainta heijastuvuus on valkoiseksi maalatuilla pinnoilla 0,7 ja vasta sataneella lumella jopa 0,9 sekä heikointa asfaltilla ja tummalla kattohuovalla molemmilla 0,1 (Wikipedia. 2011, hakusana albedo). Säteily voi kulkea myös suoraan materiaalin läpi, esimerkiksi lasissa. Kun kappaleen absorptiosuhde, heijastuvuus ja läpäisevyys lasketaan yhteen, summaksi tulee aina 1. (Björkholtz 1997, 13.)

### 3 LÄMPÖKUVAUKSEN PERIAATTEET JA LÄMPÖANTUREIDEN ASENTAMINEN TUTKIMUSKOHTEESEEN

Tutkimuksen kohteena oli kesällä 2010 valmistunut tuotanto- ja varistorakennus, joka sijaitsee Ruskon teollisuusalueella noin 6 km:n päässä Oulun keskustasta (kuva 1). Rakennus on laajuudeltaan noin 250 m<sup>2</sup>, ja sen jakaa kaksi yritystä. Pihalta katsottuna vasemmasta päädyistä rakennusta löytyy ilmastointi- ja kylmälaitteisiin erikoistunut Carrier Oy, toimisto matalassa ja varasto korkeassa osassa. Korkean halliosan jakaa keskeltä väliseinä, jonka toisella puolella on Teollisuuden KPP Oy:n toimitilat. Suunnikkaan muotoisen rakennuksen pitkä sivu on lähes luode-kaakko-suuntainen, minkä johdosta suuret ikkunapinnat ja nosto-ovet avautuvat kohti lounasta.

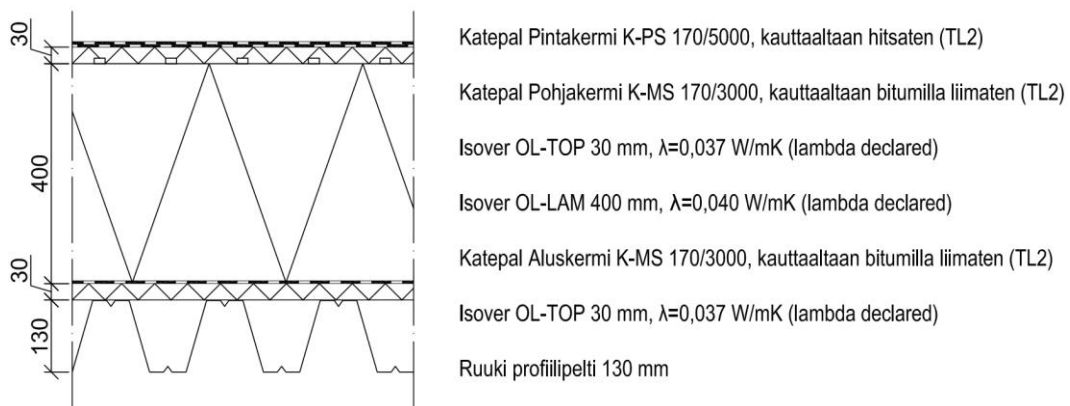


*KUVA 1. Carrier Oy:n ja Teollisuuden KPP Oy:n toimitilat*

Rakennuksen rungon muodostavat teräspilarit ja -palkit sekä teräsristikot, jotka antavat katolle loivan harjakaton muodon. Ristikoiden päällä on Ruukin 130 mm korkea teräsprofiilipelti, joka ottaa vastaan kattoon kohdistuvat ulkoiset kuormitukset sekä katon oman painonsa.

Katon lämmöneristyksestä vastaa Isoverin loiville katoille suunnittelema valmis kokonaisuus. Tähän ratkaisuun kuuluu alimpana 30 mm paksu Isover OL-TOP -eristelevy, joka soveltuu niin betonilaattojen, kevytbetonilaattojen kuin profiilipeltien päälle asennettavaksi (kuva 2, liite 1). Jäykkä eristelevy muodostaa katolle tasaisen alustan, johon on helppo asentaa höyrynsulku. Isover OL-TOP -lämmönjohtavuutta kuvaava lambda declared -arvo

on 0,037 W/mK ja kuormitusta se kestää 60 kPa (Isover Saint-Gobain. 2011, linkit Tuotteet -> Rakennuseristeet -> Loivien kattojen eristeet -> ISOVER OL-TOP.)



KUVA 2. Katon rakenneleikkaus

Höyrynsulun päälle tulee Isover OL-LAM, jonka paksuus on kokonaiset 400 mm (liite 2). Se on uusi eriste, joka on suunniteltu kattojen eristeeksi ja erityisesti loiville katoille. Valmistuksessa Isover OL-LAM leikataan lamellivilloiksi, jonka ansiosta eristepaksuutta voidaan kasvattaa. Toinen merkittävä etu, mikä menetelmästä saadaan, on eristeen suurempi kantavuus. Isover OL-LAM lämmönjohtavuus on 0,040 W/mK, lambda declared -arvo ja kantavuus 50 kPa. Eristepalat ovat kooltaan 250 x 1500 x 400 mm ja painavat noin 10 kg kappaleelta. Asentaminen aloitetaan puolikkaalla Isover OL-LAM -palalla ja jatketaan aina täydellä palalla. Toinen rivi aloitetaan täydellä palalla ja seuraava taas puolikkaalla. Tällä tavoin eristekerrokseen ei muodostu pitkiä saumalinjoja (Isover Saint-Gobain. 2011, linkit Tuotteet -> Rakennuseristeet -> Loivien kattojen eristeet -> ISOVER OL-LAM.)

Isover OL-LAM -eristeen päälle asennetaan vielä toinen kerros Isover OL-TOP -levyä tehden lopulliseksi lämmöneristepaksuudeksi 460 mm. Päälimmäisessä Isover OL-TOP -levyssä on lisäksi tuuletusurat eristeen alapinnassa. Ne poistavat rakennusaikana materiaaleihin jääneen kosteuden ja käyttöaikana varmistavat rakenteen kuivana pysymisen.

Kaikki mainitut Isover Saint-Gobainin lämmöneristeet valmistetaan epäorgaanisista ja kemiallisesti neutraaleista materiaaleista, eivätkä ne sisällä korroosiota aiheuttavia ainesosia. Tämä takaa sen, että eristeissä eivät kasva homesienet (liite 1 ja 2). Isoverin eristeissä käytetään pääraaka-aineena kierrätyslasia, jopa 80 %. Yhtiö on merkittävä kierrätyslasin käyttäjä Suomessa (Isover Saint-Gobain. 2011, linkit Yritys -> Isover.)

Katon höyrynsulun ja veden eristyksen takaavat Katmanin käyttämät Katepal-kumibitumikermit. Höyrynsulkuna rakenteessa toimii Katepal aluskermi, K-MS 170/3000, joka on kauttaaltaan liimattu bitumilla. Vedeneristyksen pohjana toimii Katepal pohjakermi, K-MS 170/3000, kauttaaltaan bitumilla liimattuna, jonka päälle on hitsaamalla kiinnitetty Katepal pintakermi, K-PS 170/5000. Kaikki bitumikermit täyttävät kattoliiton TL2 (tuoteluokka 2) vaatimukset.

Kattorakenteen tuuletus on varmistettu alipainetuulettimilla. Ne imevät ilman katon harjalla olevasta kokoojakanavasta, johon Isover OL-TOP -eristeen tuuletusurat ovat yhteydessä.

### **3.1 Rakennusten lämpökuvaus**

Lämpökuvaus on kuvausmenetelmä, jossa aineen lähettämä lämpösäteily muutetaan lämpökameran avulla lämpötilatiedoksi. Lämpökamera tuottaa lämpötilaeroista värikuvaa tai harmaasävykuvaa, joka näkyy reaaliajassa kameran näytöllä (Paloniitty - Kauppinen 2006, 15.)

Kamerateknikka uusimmissa lämpökameroissa perustuu matriisi-ilmaisimeen, jossa jokaisella kuvapisteellä on oma ilmaisimensa. Kuvauskohteen lämpösäteily kerätään kameran optiikan avulla ilmaisimelle, joka mittaa sähkövirran resistiivisen muutoksen. Ilmaisintyyppi on niin sanottu jäähdyttämätön mikrobolometri-ilmaisimena. Vaikka ilmaisimella päästään jopa 0,08 °C:n tarkkuuteen, käytännön tilanteissa lämpökameroiden mittaustarkkuudeksi hyväksytään  $\pm 2$  °C (Paloniitty - Kauppinen 2006, 19). Ilmaisimesta signaali siirtyy vahvistimelle ja edelleen kuvaprosessorille, missä tieto muutetaan lopulliseen muotoonsa eli näytöllä näkyväksi kuvaksi (Wikipedia. 2011, hakusana thermal imaging camera).

Vanhemmissa lämpökameroissa puhutaan skanneritekniikasta. Tässä tekniikassa matriisi-ilmaisimien pitää erikseen jäähdyttää -200 °C:een, tavallisesti nestemäisen tyypellä avulla, häiriöttömän mittauksen suorittamiseksi. Kyseisessä tekniikassa lämpökuva muodostetaan yhden ilmaisinpisteen avulla, skannaamalla kuvatta alue vaak- ja pystysuunnassa, kuvapiste kerrallaan. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 16.)

Rakennusten lämpökuvauksessa käytetään mittaavaa, tasapainotettua ja kuvantavaa lämpökameraa. Mittaavalla laitteella tarkoitetaan sitä, että kamerasta ilmenee suoraan aineen pintalämpötila. Tasapainotetun kameran mittaukseen ei puolestaan vaikuta itse kameran lämpötila. Kuvantava lämpökamera taas paljastaa koko kuvattavan alueen lämpötilajakauman. Vaikka kameran lämpötila ei vaikuttaisikaan mittauksiin, on hyvä odottaa muutama minuutti siirryttäessä sisätiloista ulkotiloihin. Tällöin kameralle jää aikaa tasapainottua, mikä vähentää virhemittauksien mahdollisuutta. Kylmien kohteiden kuvaamisessa suositellaan käytettäväksi pitkäaaltokameroita, jotka mittaavat infrapuna-aaltoja 8-12  $\mu\text{m}$ :n alueelta. Ne ovat tarkkoja ulkotiloissa, vaikka ympäristön lämpösäteily olisi heikkoa. Lämpökameroissa on tavallisesti mahdollisuus tallentaa kuvia ja käsitellä niitä ohjelmistolla jälkikäteen. Kameroita, joissa ei ole tallennusmahdollisuutta, voidaan käyttää esimerkiksi rakentamisen laadunvalvonnassa. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 19.)

Lämpökuvauksella voidaan selvittää rakenteiden kuntoa nopeasti ja melko tarkasti. Se on tutkimusmenetelmä, joka ei myöskään vaadi rakenteiden purkamista. Lämpökuvauksella saadaan selville epätasaisuudet rakenteiden pintalämpötiloissa. Tämä ei tarkoita suoraan, että kohdassa olisi puutteita tai vikaa. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 22.)

Lämpövuodot, joita aiheuttavat kylmäsilat ja eristeviat, havaitaan lämpökameran kuvissa selvästi ympäristöstään poikkeavina lämpötilaeroina. Kylmäsiltoja muodostuu luonnostaan lattianrajaan ja ulkonurkkiin, missä rakennuksen runko vie tilan lämmöneristeiltä. Kokonaan tai osittain puuttuva lämmöneristys, vaikka onkin melko harvinaista, nähdään lämpökuvissa selkeinä poikkeamina. Eristeiden ja rungon välisiä pieniä rakoja ei lämpökuvissa havaita, jos kohtaan ei synny selvää konvektiovirtausta. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 22, 33.)

Lämpökuvauksella löydetään myös ilmavuodot, joissa rakenteen läpi kulkee ilmavirtaus. Vuotojen havaitsemiseksi on ulko- ja sisätilan välillä oltava paine-ero. Ilmavutoja esiintyy ikkunoissa ja ovissa sekä niiden liittymissä, ulkoseinän ja lattian sekä ulkoseinän ja katon rajassa sekä katon läpivienneissä. Sisätilasta virtaava lämmin ilma aiheuttaa rakenteeseen ylimääräistä kosteusrasitusta, joka tiivistyessään voi saada aikaan mikrobikasvustoa. Eri-tyisesti märkätilojen ilmavuotoihin on suhtauduttava hyvin vakavasti. Ulkopuolelta tulevat kylmät ilmavirtaukset saavat aikaan vedontunnetta ja kylmien pintojen säteilyvetoa. Ilmavuodot myös lisäävät rakennusten energiankulutusta. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 22, 28.)

Lämpökuvauksella voidaan löytää lisäksi kastuneita rakennusmateriaaleja. Tämä on mahdollista riittävän voimakkaiden lämpötilanvaihteluiden yhteydessä, sillä märät materiaalit reagoivat kuivia hitaammin lämpötilan muutoksiin. Menetelmä on enemmän suuntaa antava, mutta sitä voidaan käyttää osana kosteuskartoituksia ja vesivahinkoja tutkiessa. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 22, 34-35.)

Jotta lämpökameralla saataisiin luotettavia kuvia, tulee kuvattaessa huomioida muutama tärkeä asia. Ensinnäkin lämpökameran asetuksista tulisi tarkistaa emissiivisyysarvo. Rakennusmateriaaleilla pintojen emissiivisyys vaihtelee tavallisesti välillä 0,85-0,95. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 17.)

Lämpökameralla kuvattaessa tulee emissiivisyyden lisäksi huomioida kuvauskulma. Kuvaus tulisi tehdä kohtisuoraan kuvattavaa pintaa vastaan. Kun kulma kohtisuorasta linjasta pintaa vastaan kasvaa yli 30°, taustan lämpösäteily alkaa vaikuttaa mittaustuloksiin ja mittaustarkkuus kärsii. Mittaustarkkuus riippuu myös kuvattavan kohteen etäisyydestä kameraan. Lämpökamerassa kuvapisteen rajaama pinta-ala kasvaa siirryttäessä kauemmaksi kuvattavasta kohteesta ja mahdollisuus virheisiin kasvaa. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 20.)

Lisäksi lämpökamera on oltava kalibroitu. Kamera tulee kalibroida uudestaan vähintään kahden vuoden välein valmistajalla, maahantuojalla tai kalibrointiin valtuutetulla laitoksella. Kuvaajan on tarvittaessa esitettävä todistus kalibroinnista. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 19.)

Rakennusten lämpökuvauksista on ohjeistettu rakennustietokortissa RT 14-10850. Kortissa kerrotaan laajemmin lämpökuvauksesta rakennusten kunnon- ja laadunarvioinnin välineenä. Kortissa tarkastellaan lämpökuvauksista myös tilaajan näkökulmasta.

### **3.2 Kattorakenteen lämpötilaseuranta**

Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittiin lämpötilan vaihteluita kattorakenteen sisällä ja itse rakennuksen sisällä. Erityisessä tarkkailussa olivat Isover OL-LAM -eristeen saumat ja nurkkapistet, joista etsittiin merkkejä lämpövuodoista. Valkoisen ja harmaan kumibitumikermin vertailu suoritettiin asentamalla valkoinen kermi KPP:n puolelle Carrierin pysyessä

harmaassa kermissä. Lämpötilaa mitattiin tiloista, katon rajasta sekä kattorakenteen sisältä samanaikaisesti.

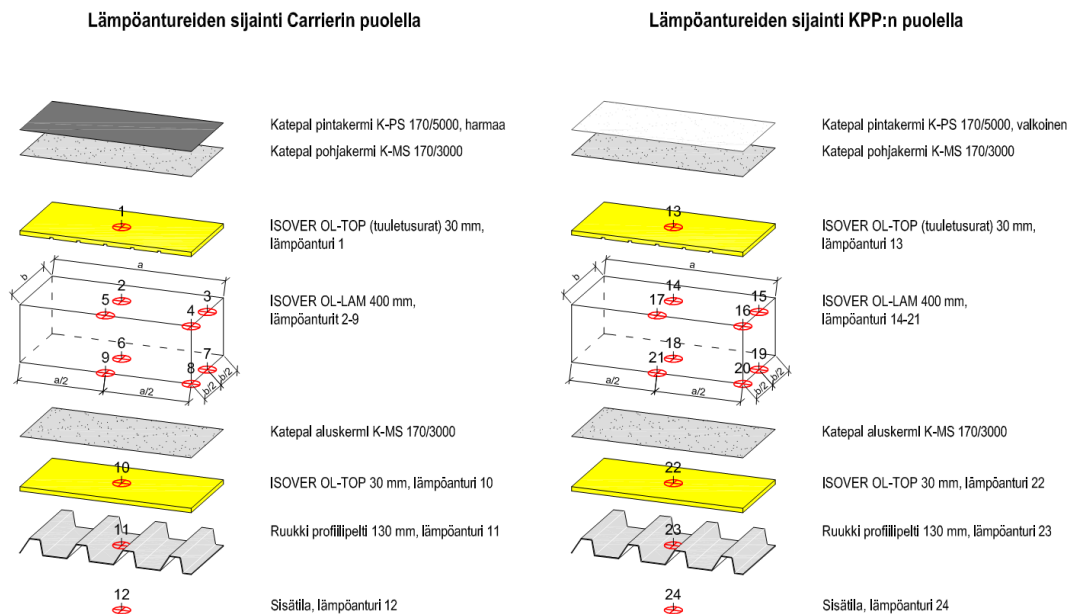
Lämpötilojen mittauksesta vastasi yhteensä 24 lämpötila-anturia, 12 kappaletta molemmilla puolilla. Lämpöanturit ovat elektronisia komponentteja, joiden mittaus perustuu jännitteen muutokseen. Nuppineulan kokoisten antureiden mittaustarkkuudeksi annetaan  $\pm 0,1$  °C. Lämpöantureiden lukemiseen ja tietojen tallentamiseen käytettiin kahta Grant 2040 Data Logger -laitetta, yksi kummallakin puolella. Dataloggeri mittaa lämpöantureiden jännitteen muutoksia 0,05 prosentin virhemarginaalilla, joten se on hyvin tarkka. Se toimii alkuasetusten antamisen ja käynnistämisen jälkeen täysin automaattisesti jatkaen mittaamista niin pitkään, kuin laitteessa riittää virtaa tai muistissa on tyhjää tilaa. Lämpöanturit kytkettiin dataloggereihin eristetyillä johdoilla, jotka eivät johda lämpöä eivätkä näin vaikuttaneet myöskään mittaustuloksiin.

Lämpöantureiden asennuspäivänä, 31. toukokuuta, sää oli enimmäkseen puolipilvinen. Vaikka aamupäivällä muutama sadepilvi kulki hyvin läheltä työkohdetta, sadetta ei tullut ja työ saatiin valmiiksi saman päivän aikana. Antureita varten katto jouduttiin aukaisemaan tilapäisesti, jotta mittalaitteet saataisiin niille suunnitelluille paikoille (kuva 3). Aluksi pinta- ja pohjakermistä leikattiin noin 1,5 m x 1,5 m:n kokoinen pala pois. Samoin meneteltiin ylimpänä olevan Isover OL-TOP -pintavillan kanssa ennen kuin yletyttiin Isover OL-LAM -eristeeseen. Suuren kokonsa ja painonsa vuoksi Isover OL-LAM -eristepalat leikattiin poikki pituussuunnassa puolivälistä ennen niiden nostamista ylös. Höyrynsulkuna toimi-vaan aluskermiin tehtiin myös aukko, jonka alapuolelta poistettiin vielä pala jäykkää Isover OL-TOP -eristelevyä. Teräsprofiilipeltiin tarvittiin jo hieman voimatyökaluja ennen kuin johdinliittimen mentävä aukko saatiin syntymään.



KUVA 3. Kattorakenne aukaistuna

Lämpöantureiden sijoituksessa noudatettiin ennalta laadittua suunnitelmaa (kuva 4), joka oli tarkastettu yhdessä opinnäytetyön tilaajan ja -ohjaajan kanssa. Anturit kiinnitettiin alustaansa bitumiliimamassalla, jos voitiin, ja johdot pujotettiin profiilipeltiin tehdystä aukosta sisätilaan.

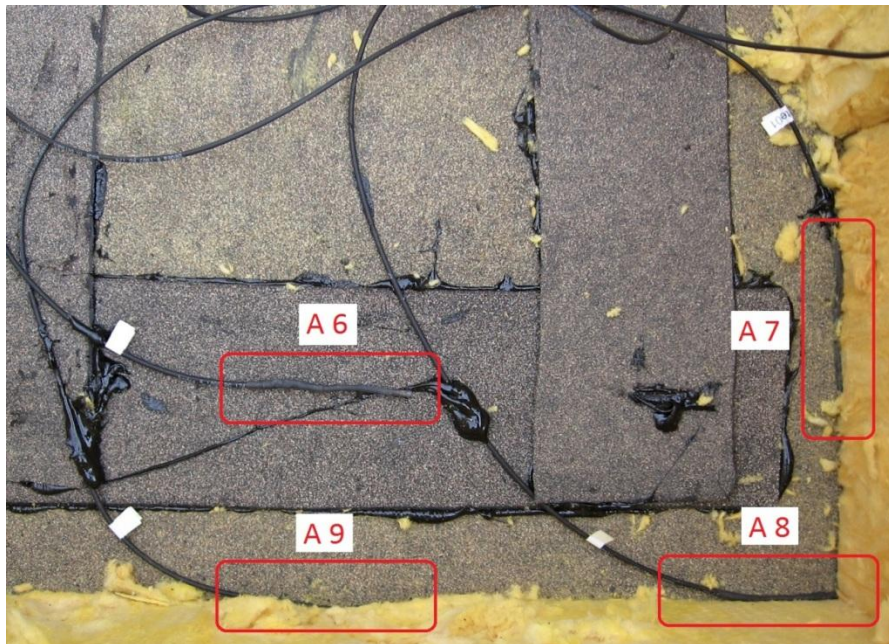


KUVA 4. Lämpöantureiden sijainti ja numerointi

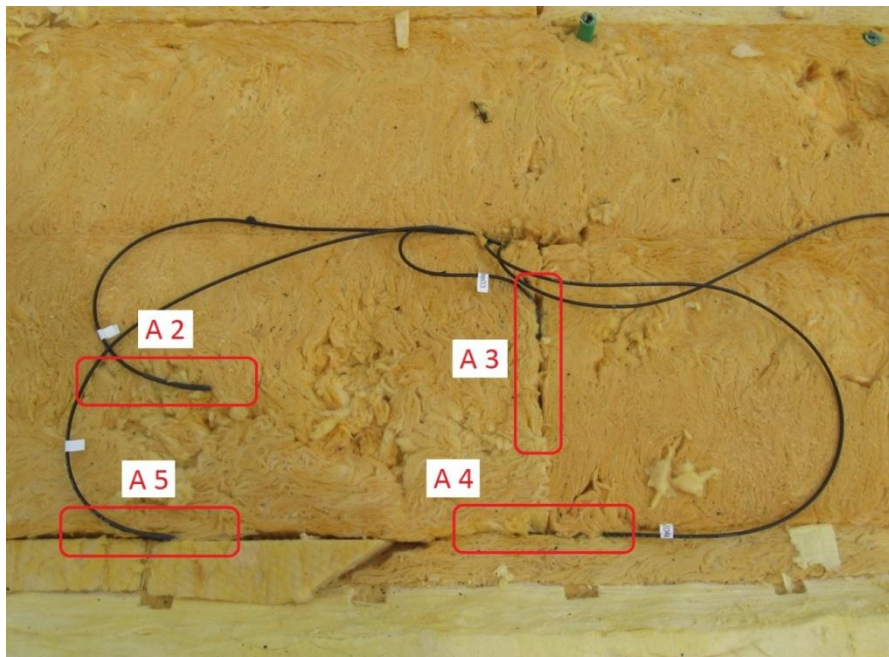
Pienen kokonsa ansiosta lämpöanturit saatiin helposti sijoitettua haluttuihin kohtiin niin, etteivät ne häirinneet toistensa mittauksia (kuvat 5 ja 6). Ylimääräinen osa johdoista työnnettiin aukosta sisälle tai asetettiin siististi tasoon, kuitenkin kulkematta toisten antureiden päältä. Asennuksen edetessä poistetut eristepalat asetettiin takaisin paikoilleen ja



höyrynsulkukermi paikattiin asianmukaisin menetelmin. Kun kaikki anturit ja eristeet oli saatu paikoilleen, suljettiin kattorakenne pintakermillä ammattimiehen toimesta.



*KUVA 5. Anturit 6-9 asennettu höyrynsulun päälle*



*KUVA 6. Anturit 2-5 asennettu Isover OL-LAM päälle*

Sisällä dataloggerit kiinnitettiin ilmastointiteipillä katonrajassa olevaan palkkiin ja katosta roikkuvat lämpöanturien johdot dataloggeriin (kuva 7). Loggerin sijoituksen ansiosta kaikki

johdot ylsivät kiinni laitteeseen. Lämpötilaseurannan tuloksien lataamista helpottamaan laitteeseen kiinnitettiin pitkä USB-johdot, joka ylsi lähes hallin lattialle asti.



*KUVA 7. Data Logger 2040 kiinnitettynä katonrajaan*

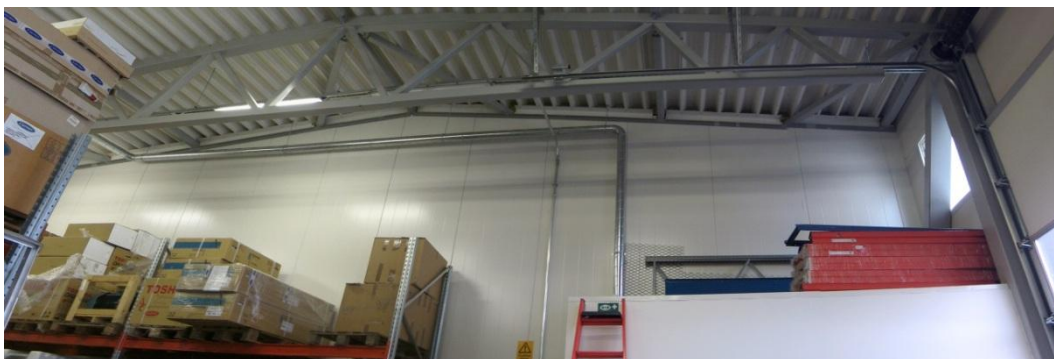
Tutkittavaan kattoon asennettiin kaksi dataloggeria, yksi Carrierin varastotilaan ja toinen KPP:n työtilan puolelle. Näin tutkimuksen kohteena olevan valkoisen kumibitumikermin synnyttämiä lämpötilaeroja voitiin tarkastella harmaan kermin kanssa samanaikaisesti ja samoissa olosuhteissa. Lämpötilan mittauskohdat valittiin katon aurinkoiselta puolelta, lappeen puolivälistä. Mittaamalla varmistettiin, että molemmat mittausalueet tulivat yhtä etäälle räystäslinjasta.

## 4 LÄMPÖKUVAUKSEN SUORITTAMINEN JA LÄMPÖTILASEURANNAN TULOKSET

### 4.1 Carrierin ja KPP:n hallin lämpökuvaus

Carrierin ja KPP:n hallin lämpökuvausella pyrittiin selvittämään kattorakenteen ja erityisesti Isover OL-LAM -eristeen lämmöneristysominaisuuksia. Kuvaus suoritettiin aamulla 1. huhtikuuta 2011 noin kello 9.00. Kuvaushetkellä taivas oli pilvinen, lämpötila pakkasen puolella  $-5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja tuuli heikkoa.

Kuvaaminen aloitettiin sisätiloista, missä törmättiin heti ongelmiin katon pintamateriaalin kanssa (kuva 8). Teräsprofiilipellin heijastaessa voimakkaasti ympäristön lämpösäteilyä ei pinnan lämpötilaa ollut mahdollista määrittää.



KUVA 8. Carrier Oy:n varastohalli sisältä

Sisätilojen lämpökuvauksessa keskityttiinkin siten tarkastelemaan läpivientien kuntoa sekä seinien ja katon liittymäkohtia. Kuvien perusteella kaikki liittymät ja läpiviennit Carrierin ja KPP:n tiloissa olivat kunnossa. Päätyseinän yläreunassa lähes katon läpi ulottuva terästuki ei muodostanut merkittävää kylmäsiltaa kattorakenteeseen (kuva 9).



KUVA 9. Katon läpäisevä terästolppa palkin päässä

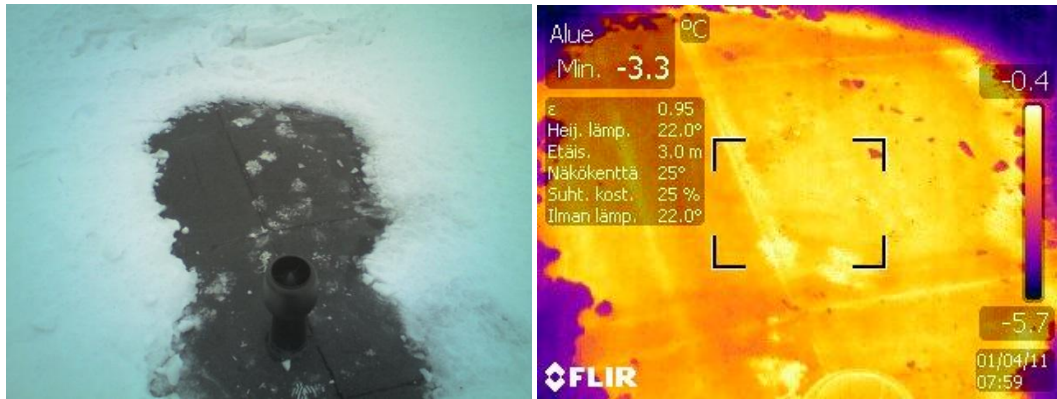
Kuvaamista jatkettiin ulkoa päin tutkimalla julkisivuja ja kattoa. Rakennuksen vasemmanpuoleisen nosto-oven oikeasta ylänurkasta kattoon kulkevassa saumassa ja saman sauman vieressä seinän ja katon liittymässä havaittiin pieni kylmäsilta (kuva 10).



KUVA 10. Kylmäsilta Carrier Oy:n nosto-oven yläpuolella

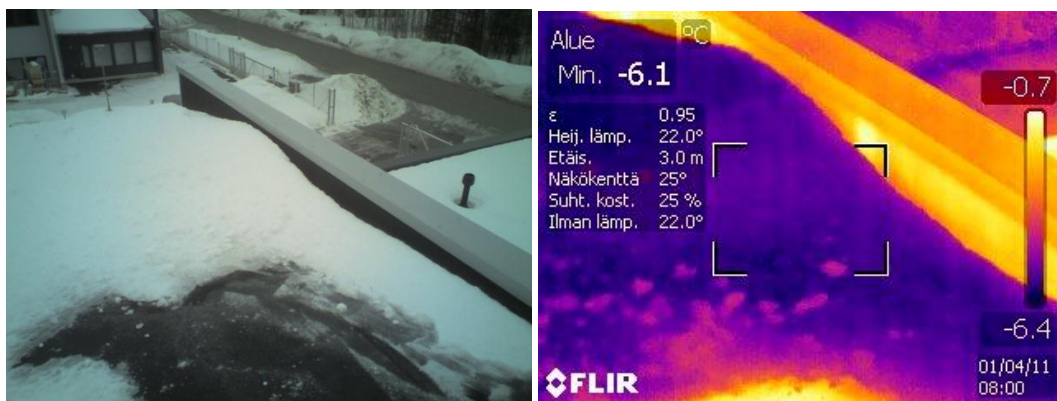
Katolta oli viikkoja aikaisemmin lapioitu alue lumesta kuvaamista varten, muuten katolla oli lunta noin 30 cm. Kermin pinta oli lakaistu ja puhdas lumesta, joten siitä saatiin helposti häiriöttömiä lämpökuvia. Kuvista erottuvat selvästi pienetkin lämpötilan muutokset, kuten pintakermin saumakohtat, katon pinnassa (kuva 11).





KUVA 11. Pintalämpötiloja kumibitumikermin pinnasta

Alipainetuulettimet, jotka ovat yhteydessä tuuletuskanavaan, loistivat luonnollisesti ympäristöönsä lämpimämpinä. Päätuseinän teräksiset tukitolpat, jotka kiinnittyivät sisällä olevaan teräsristikkoon (kuva 9), olivat juuri ja juuri havaittavissa ulkopuolelta (kuva 12).



KUVA 12. Terästolpan aiheuttama pieni lämpötilaero keskellä seinää

Syvälle kattorakenteen sisälle lämpökamerakuvauksella ei päästä, joten Isoverin OL-LAM:n eristyskykyä ei tällä menetelmällä voitu tutkia. Kaiken kaikkiaan kuvatuissa rakenteissa ei lämpövuotoja havaittu ja terästolppienkin aiheuttamat kylmäsilat olivat hyvin vähäisiä.

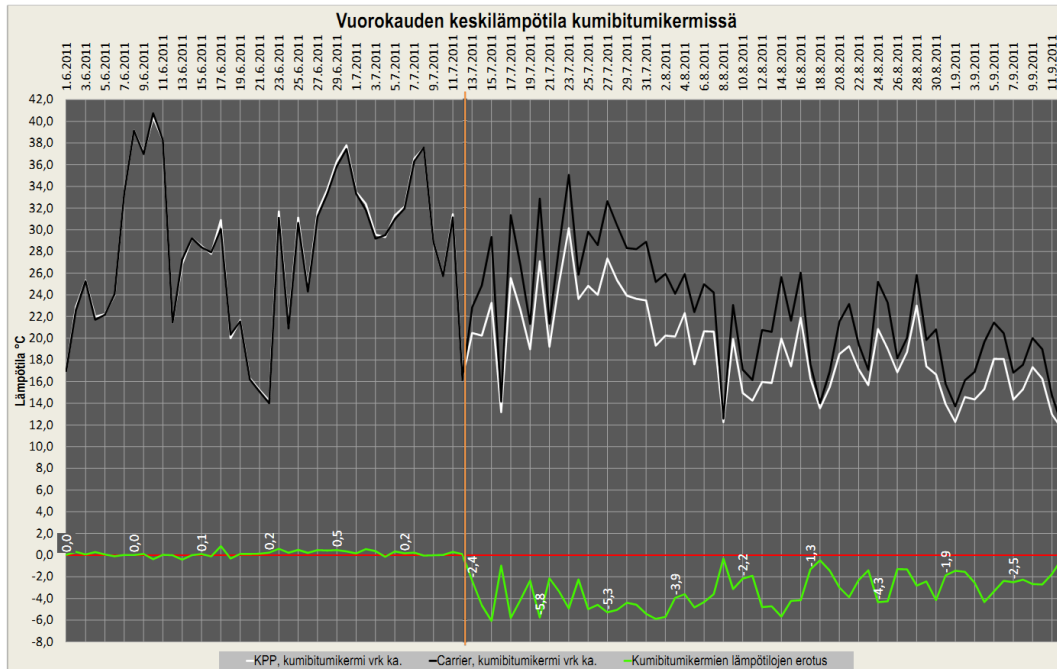
## 4.2 Lämpötilaseurannan tulokset

### 4.2.1 Valkoinen kumibitumikermi

Kattorakenteen lämpötiloja seurattiin kesäkuun 1. päivästä 2011 syyskuun 12. päivään. Kesän lämpöennätys tehtiin Oulussa heti kesäkuun alussa, kun lämpötila kävi lähellä +32 °C:ta. Hellepäiviä riitti kesäkuun alusta aina elokuun loppuun asti. Kesä oli kokonaisuudessaan harvinaisen lämmin koko Suomessa, sillä keskilämpötilat kesä-elokuussa olivat kaksi astetta korkeammat verrattuna pitkäaikaiseen keskiarvoon (Ilmatieteenlaitos. 2011, linkit Tiedotearkisto -> Kesä 2011 harvinaisen lämmin). Korkeat lämpötilat tarjosivat myös ihanneolosuhteet valkean ja harmaan kumibitumikermin vertailuun.

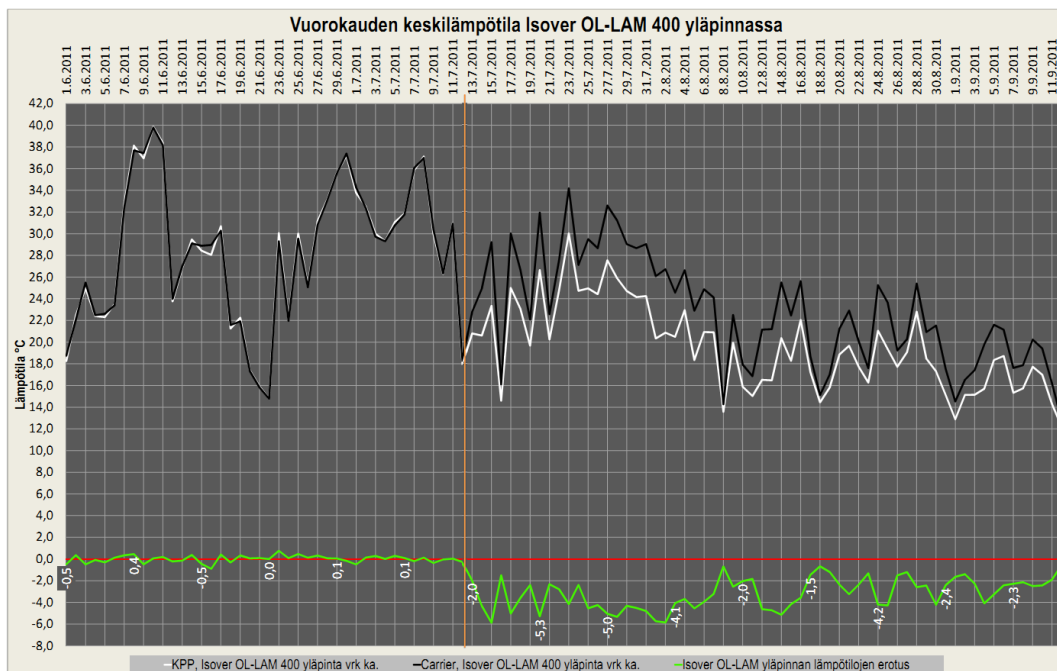
Lämpötilavaihteluista koottiin kuvaajia, joissa laskettiin vuorokauden keskiarvolämpötiloja ja verrattiin niiden välistä erotusta (kuvat 13-16, sivuilla 23-25). Kuvaajissa musta väri edustaa Carrierin puoleista mittausaluetta eli harmaan kumibitumikermin alta mitattuja lämpötiloja. Valkoinen väri taas kertoo KPP:n puoleisista, valkoisen kermin, mittaustuloksista. Mustan ja valkoisen kuvaajan ero tulee tarkemmin esille vihreästä viivasta, joka on laskettu tuloksien erotuksesta. Vihreän kuvaajan negatiiviset arvot tarkoittavat, että valkoisen kermin puoleiset lämpötilat ovat alhaisempia kuin mustan. Kuvaajia tarkastellessa on myös huomioitava, että KPP:n puoli katettiin valkoisella bitumikermillä vasta heinäkuun 12. päivä. Kyseinen ajankohta on merkattu graafeihin oranssilla pystyviivalla.

Kumibitumikermin alapinnasta lasketuissa vuorokauden keskiarvolämpötiloissa on nähtävissä selvä muutos (kuva 13). Valkoisen kermin keskilämpötilat ovat pudonneet keskimäärin 3,3 °C ja enimmillään 6,1 °C. Kuvaajien alkupäästä huomataan myös, että keskiarvolämpötiloissa ei ole juurikaan eroa, kun molempia mittauspisteitä peittää harmaa kumibitumikermi.



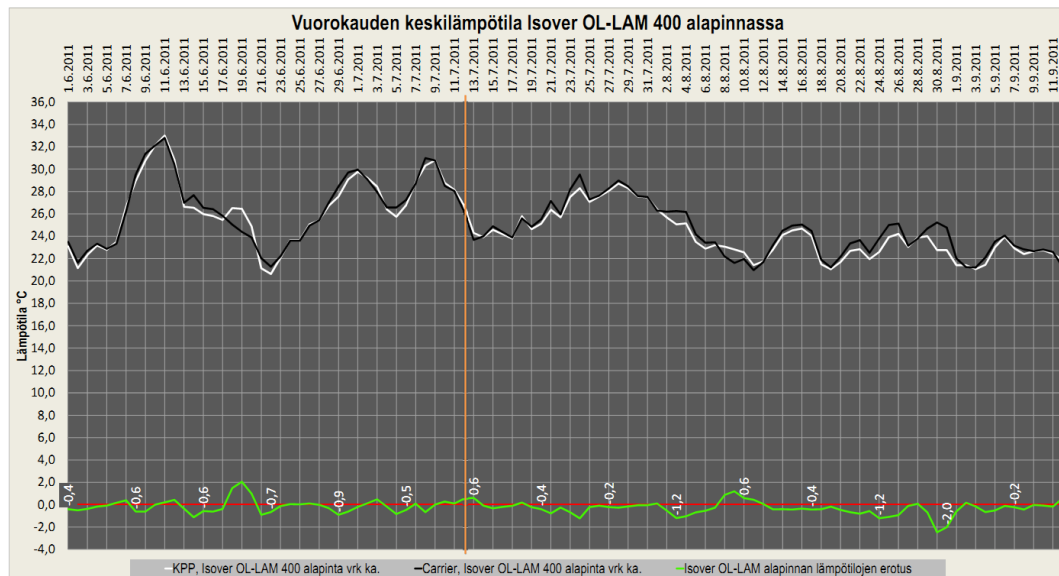
KUVA 13. Vuorokauden keskilämpötila kumibitumikermissä

Yhtä selvä lasku havaitaan Isover OL-LAM -eristeen yläpinnassa (kuva 14). Vuorokauden keskimääräinen lämpötila on alentunut valkoisen kermin vaikutuksesta keskimäärin 3,2 °C ja suurimmillaan 5,9 °C. Alueiden lämpötilat ovat jälleen hyvin vertailukelpoisia, siitä todistena lähes luotsuora erotuskuvaaja ennen oranssia viivaa eli valkoisen kermin asennusta.



KUVA 14. Vuorokauden keskilämpötila Isover OL-LAM 400 mm yläpinnassa

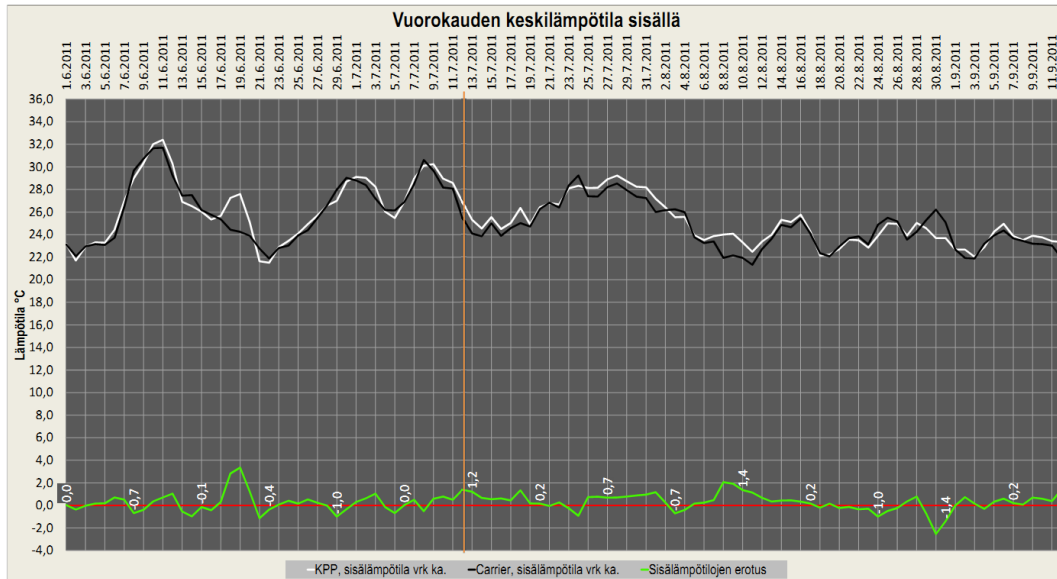
Siirryttäessä Isover OL-LAM -eristeen toiselle puolelle lämpötilassa ei ole enää selvää muutosta ennen ja jälkeen valkean kumibitumikermin asennusta (kuva 15). Vuorokauden keskimääräiset lämpötilat KPP:n mittauspisteessä ovat keskimäärin 0,2 °C alhaisempia verrattuna Carrierin lukemiin ennen valkoisen kermin lisäystä. Asennuksesta eteenpäin KPP:n lukemat ovat keskimäärin 0,3 °C Carrieria alhaisempia.



KUVA 15. Vuorokauden keskilämpötila Isover OL-LAM 400 mm alapinnassa

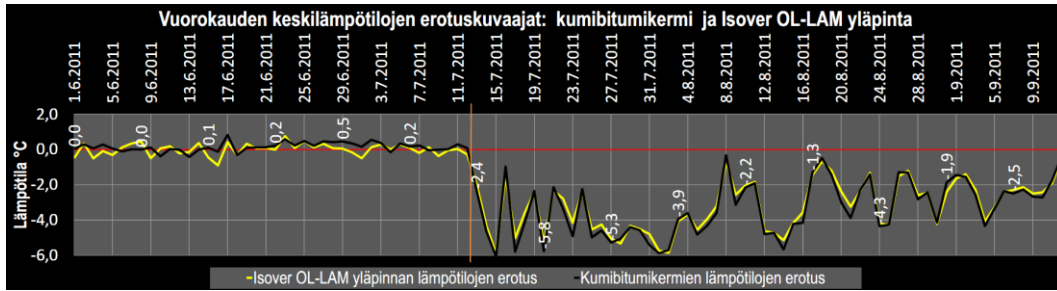
Saman johtopäätöksen kuin Isover OL-LAM -eristeen alapinnasta voi tehdä sisälämpötilan muutoksista. Valkoisen kumibitumikermin asentamisen jälkeen ei nähdä selvää sisälämpötilojen alenemista (kuva 16). Sisälämpötilan vuorokautinen keskilämpötila on Carrierin varastotiloissa 0,1 °C lämpimämpi verrattuna KPP:n työpajaan, harmaan kermin peittäessä molempia tiloja. Valkoinen kermi ei muuta tilannetta, vaan itse asiassa lämpötilat vielä nousevat vaihdoksen jälkeen hieman. Nyt KPP:n tila on keskimäärin 0,3 °C lämpimämpi kuin Carrierin tila. KPP:n sisälämpötilassa nähdään outo poikkeama päivämäärien 18. ja 19. kesäkuuta kohdalla. Koska kyseinen ajankohta sijoittuu viikonloppuun, jatkuva lämpötilan nousu viittaa mahdollisesti ilmanvaihdon toimintakatkokseen.





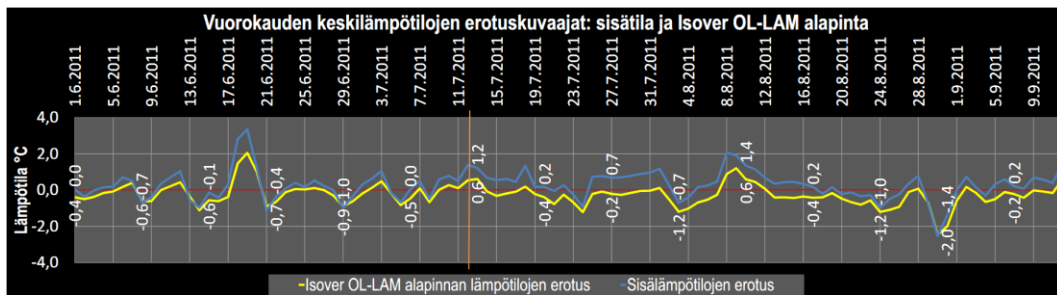
KUVA 16. Vuorokauden keskilämpötila sisällä

Kuvaajista on lisäksi poimittu rakenteen lämpötilojen erotusta kuvaavat viivat ja yhdistetty ne kahteen uuteen kuvaajaan. Toisessa graafissa on tarkemmassa tarkastelussa harmaan ja valkean kumibitumikermin lämpötilaeroista koostettu erotuskuvaaja ja Isover OL-LAM -eristeen yläpinnan lämpötilojen erotuskuvaaja (kuva 17). Muutokset kyseisissä kerroksissa ovat lähes täsmälleen yhtä suuria ja samansuuntaisia.



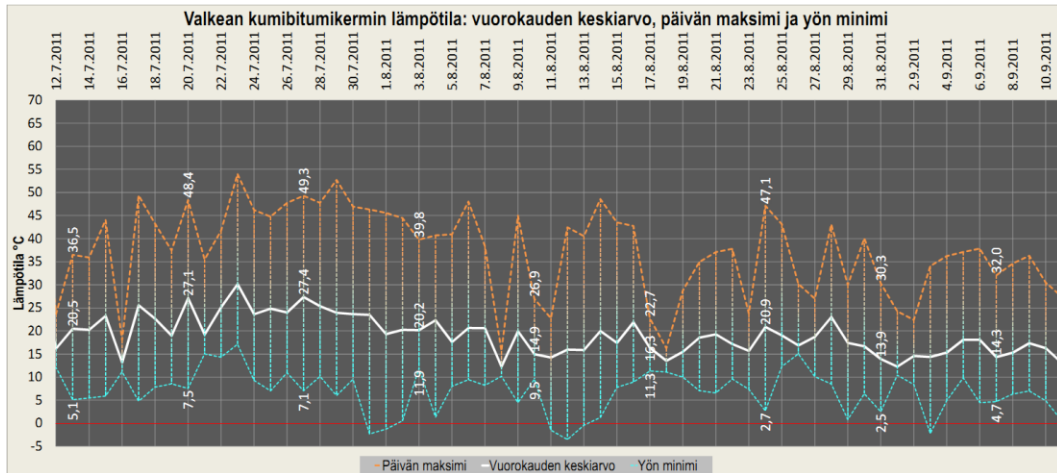
KUVA 17. Yhdistetyt keskilämpötilojen erotuskuvaajat: kumibitumikermi ja Isover OL-LAM yläpinta

Myös Isover OL-LAM -eristeen alapintojen lämpötilaerotuskuvaajasta ja sisälämpötilojen erotuskuvaajasta muodostetusta graafista nähdään yhteisiä piirteitä (kuva 18). Sisälämpötilan muutokset peilautuvat lämpötilan muutoksiin Isover OL-LAM -eristeen alapinnassa ja toisinpäin.

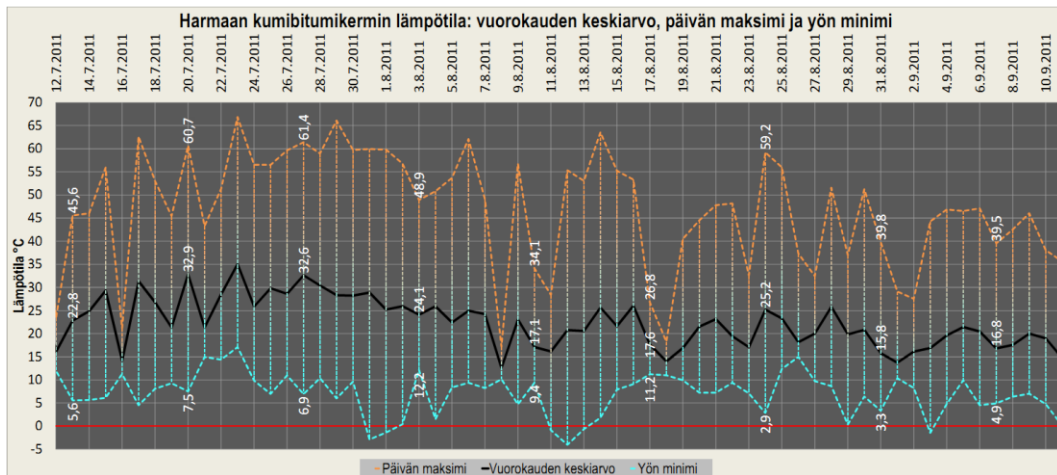


KUVA 18. Yhdistetyt keskilämpötilojen erotuskuvaajat: sisätila ja Isover OL-LAM alapinta

Lämpötilan vaihtelun laajuus päivällä ja yöllä riippuu paljon kermin väristä. Vuorokauden keskilämpötilaa sekä yön alinta ja päivän korkeinta mittaustuloksesta verrattiin valkoisen ja harmaan kumibitumikermin osalta erillisissä kuvaajissa (kuvat 19 ja 20). Vertailujakson aikana valkoisen kermin päivän maksimilämpötilat ovat keskimäärin 5,0 °C ja suurimmillaan 15 °C harmaata kermiä alhaisemmat. Keskilämpötiloihin tuli laskua, kuten aikaisemmin jo mainittiin, keskimäärin 3,3 °C ja enimmillään 6,1 °C. Yön alimmat lämpötilat ovat lähes samanlaisia väristä riippumatta. Valkoisen kermin yölämpötilat ovat keskimäärin 0,1 °C ja enimmillään 1,2 °C alhaisempia kuin harmaan kermin. Kesän aikana kumibitumikermin lämpötila laski kolmena yönä pakkasen puolelle.



KUVA 19. Lämpötilan vaihtelu valkeassa kumibitumikermissä



KUVA 20. Lämpötilan vaihtelu harmaassa kumibitumikermissä

#### 4.2.2 Isover OL-LAM

Lämpötilamittauksia tehtiin kahdesta kohdasta kattorakennetta valkean ja harmaan kumibitumikermin kanssa (kuva 4, s.16). Saumojen ja nurkkien lämpötilaa verrattiin samassa tasossa Isover OL-LAM -eristeen keskellä olevan lämpötila-anturin lukemaan, poikkeuksena vertailu eristeen yläpinnan lämpötiloista Carrierin puolella, jossa vertailu suoritettiin lyhyessä saumassa olevaan lämpöanturiin. Lämpötilojen erotuksesta otettiin itseisarvot koko seuranta-ajalta, joista laskettiin keskiarvo kuhunkin saumaan ja nurkkaan.

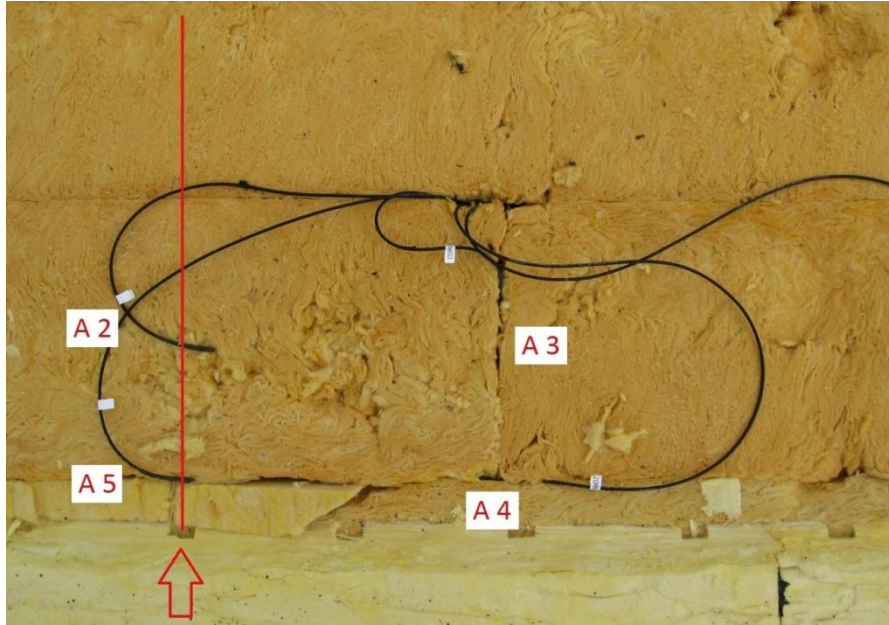
Carrierin puolella Isover OL-LAM -eristeen alapinnasta mitatuista lukemista nähtiin, että lämpötilaero pitkän sauman ja eristeen keskikohdan välillä oli 0,14 °C (kuva 21). Samassa kohdassa KPP:n puolella eroa oli 0,12 °C. Edelleen eristeen alapinnassa, päätysaumassa

Carrierin puolella, muutos oli vain 0,10 °C, kun KPP:n puolella se oli 0,20 °C. Saumojen leikkauskohdassa, alanurkassa, erotus lämpötiloissa oli Carrierilla 0,14 °C ja KPP:llä 0,20 °C.

ISOVER OL-LAM saumojen ja nurkkien lämpötilamittaukset			
Lämpötilaerot, Carrierin puoli:			
<u>Alapinta</u>			
Lyhyt sauma	A 7	0,10 °C	
Pitkä sauma	A 9	0,14 °C	
Nurkkasauma	A 8	0,14 °C	
<u>Yläpinta (vertailu lyhyeen saumaan, A3)</u>			
Keskipiste	A 2	0,98 °C	** Huom!
Pitkä sauma	A 5	0,98 °C	** Huom!
Nurkkasauma	A 4	0,19 °C	
Lämpötilaerot, KPP:n puoli:			
<u>Alapinta</u>			
Lyhyt sauma	A 19	0,20 °C	
Pitkä sauma	A 21	0,12 °C	
Nurkkasauma	A 20	0,20 °C	
<u>Yläpinta</u>			
Lyhyt sauma	A 15	0,17 °C	
Pitkä sauma	A 17	0,18 °C	
Nurkkasauma	A 16	0,31 °C	
** anturit asennettu tuuletusuraan			

KUVA 21. Isover OL-LAM:n saumojen ja nurkkien lämpötilamittaukset

Isover OL-LAM -eristeen yläpinnassa Carrierin puoleisessa mittauksessa näytti aluksi löytyvän suurempia eroja saumoista. Asennuspäivän kuvia selatessa kuitenkin huomattiin, että kaksi anturia oli asennettu Isover OL-TOP -pintaeristelevyn tuuletusuriin (kuva 22). Näissä urissa ilmavirtaus kuljettaa lämmintä ilmaa koko katon alueelta ja vaikuttaa lukemiin niin paljon, ettei niitä voida verrata muihin tuloksiin.



KUVA 22. Lämpöanturit A 5 ja A 2 asennettu tuuletusuraan

KPP:n puolella Isover OL-LAM -eristeen yläpinnasta saatiin vertailukelpoisia lukemia. Jälleen vertailu suoritettiin keskikohdan ja sauman välisestä erotuksesta, josta itseisarvoja ynnäämällä saatiin laskettua keskimääräinen muutos lämpötilassa. Pitkässä saumassa muutosta oli tullut  $0,18\text{ °C}$ . Päätysaumassa tai lyhyessä saumassa eroa oli  $0,17\text{ °C}$  ja ylänurkassa  $0,31\text{ °C}$  (kuva 21).

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Isover OL-LAM:n saumojen lämpötekkinen toiminta

Isoverin uutta Isover OL-LAM eristettä tutkittiin sen lämmöneristysominaisuuksien kannalta. Erityisesti saumojen ja nurkkien tiiveydestä haluttiin tietoa käytännönoolosuhteissa. Kesän 2011 kestäneiden mittausten aikana saatiin selviä mittaustuloksia.

Opinnäytetyössä huomattiin, että lämpötilapoikkeamaa Isover OL-LAM -saumoissa ja nurkissa ei käytännössä ole. Saumoista ja nurkista mitatut lämpötilaerot eristeen keskikohtaan verrattuna olivat pääasiassa 0,10-0,20 °C (kuva 21). Kun tätä tulosta ajatellaan suhteessa lämpötila-antureiden tarkkuuteen  $\pm 0,1$  °C voidaan päätellä, että näin pienet lämpötilan muutokset kuuluvat mittaustarkkuuden normaalivaihteluun.

Isover OL-LAM -eristeen saumoista ja nurkista saatuja mittaustuloksia voidaan myös verrata Carrierin mittausasetelmassa Isover OL-TOP -levyn tuuletusuriin asennettujen antureiden lämpötiloista. Antureita ei ollut tarkoitus sijoittaa tuuletusurien kohdalle, mutta näin pääsi kuitenkin käymään. Tuuletusurien kohdalla löytyy selvä lämpötilaero, joka on suuruudeltaan noin 1,0 °C verrattuna eristeen päätysaumasta ja nurkasta saatuihin lämpöarvoihin (kuva 21). Ilmavirta siis aiheuttaa lämpötilaeron, joka on selvästi havaittavissa lämpöantureilla. Tulos vahvistaa päätelmän että eristeen saumoissa ja nurkkakohdissa ei ole lämpövuotoa.

### 5.2 Valkoisen kumibitumikermien vaikutus lämpötiloihin

Kumibitumikermien alkukesän mittaustuloksista, ennen valkoisen kermin asennusta, selvisi, miten kaksi eripuolilla rakennusta olevaa mittausaluetta vastasivat toisiaan. Arvot olivat hyvin lähellä toisiaan. Tämä muodosti pohjan tutkimuksen seuraavalle vaiheelle, jossa toinen puoli peitettäisiin valkoisella kumibitumikermillä.

Valkoisen kumibitumikermien vaikutus näkyy selvimmin rakenteen yläosassa, jossa lämpötila putoaa usealla asteella. Harmaa kumibitumikermin lämpiää auringossa päivän aikana jopa 15 °C kuumemmaksi kuin valkoinen (kuvat 19 ja 20, s.27). Lämpö säteilee kermin

pinnasta pintavillan läpi ja on selvästi havaittavissa Isover OL-LAM:n yläpinnassa (kuva 14, s.23).

Tilanne muuttuu siirryttäessä 400 mm paksun Isover OL-LAM:n toiselle puolelle, lähemmäs sisätilaa (kuva 15, s.24). Lämpötilaeroissa harmaan ja valkoisen kermin välillä ei ole muutosta, kun tarkastellaan tuloksia ennen ja jälkeen valkoisen kermin asennusta.

Sisälämpötiloissa on sama tilanne kuin Isover OL-LAM alapinnasta mitatuissa lukemissa (kuva 16, s.25). Sisälämmöt eivät laske selvästi valkoisen kermin vaikutuksesta. Lämpötila vaihtelee vuorokaudesta toiseen niin, että välillä KPP:n puolella on asteen lämpimämpää ja välillä asteen viileämpää. Koko mittausjakson ajalla KPP:n puoli on keskimäärin 0,5 °C lämpimämpi.

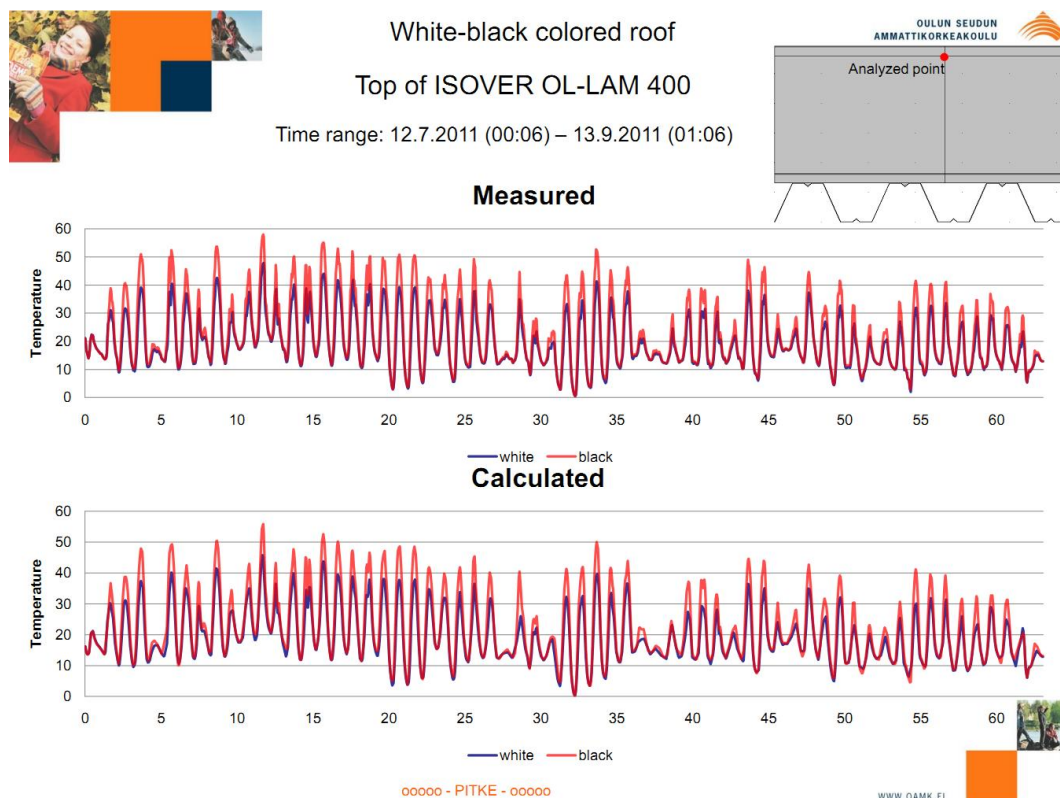
Vertailtaessa lämpötilojen erotuksista muodostettuja kuvaajia toisiinsa voidaan sanoa, että lämpötilan muutokset katon pinnassa eivät siirry rakennuksen sisälämpötiloihin (kuvat 17 ja 18, s.26). Edes erityisen suuret lämpötilapiikit kumibitumikermin kuvaajassa eivät peilaudu sisälämpötilan kuvaajaan. Sisällä vaikuttaakin enemmän muut lämmönlähteet kuin kattorakenteen läpi tuleva säteilylämpö.

Ulkoisia lämmönlähteitä syntyy muutamastakin tekijästä. Tilojen käyttö on hyvin erilaista. Carrierin puoli on pääasiassa varastokäytössä, kun KPP:n puolella taas on paljon koneita sekä niiden parissa työskenteleviä ihmisiä ympäri päivän. KPP:n puolella on kaksi nostovea verrattuna Carrierin yhteen. Ovien lasista pääsee enemmän auringon säteilylämpöä KPP:n sisätilaan. Lisäksi KPP:n tilassa sisälämpötila mitattiin kaksikerroksisen toimisto -ja sosiaalitalan yläpuolelta, missä toimiston katon ja profiilipellin väliin jäi suunnilleen puoli metriä ilmatilaa, kun Carrierin puolella vapaata ilmatilaa oli lähestulkoon lattiasta kattoon. Ilmavirta voi näissä kohdissa olla voimakkuudeltaan eri luokkaa, mikä taas vaikuttaa lämpötilamittaukseen. Myös erot ilmanvaihtotekniikassa ja laitteiden tehossa vaikuttavat mittauksiin. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta syntyvät pienet vaihtelut, joita nähdään sisätal-  
lan lämpötilakuvaajissa (kuva 16, s.25).

Todellisten lämpötilamittausten lisäksi kattorakenteen lämpötilamuutoksia on simuloitu teoreettisen laskentamallin avulla (Fedorik 2011). Mallin rakennusmateriaalit ja ainevahvuudet vastaavat todellista rakennetta sillä erotuksella, että harmaata kermiä on käsitelty

mustana ja päällimmäisenä olleet pinta ja -pohjakermi on korvattu yhdellä kermikerroksella. Myös rakennusaineiden fysikaaliset ominaisuudet, kuten lämmönjohtavuusarvot, ovat oikeita. Lähtötietoina mallissa on käytetty rakennuksen sisältä, profiilipellin ilmatilasta ja pintakermien alapinnasta mitattuja lämpötiloja. Näiden tietojen avulla on laskettu, minkälaisia lämpötilalukemia rakenteesta pitäisi löytyä.

Isover OL-LAM:n yläpinnasta laskentamalli antaa lukemia, jotka ovat hyvin samanlaisia todellisten mittaustulosten kanssa (kuva 23). Tarkastelujakso alkaa valkoisen kermin asennuspäivästä 12. heinäkuuta ja päättyy syyskuun 13. päivään. Measured-kuvaaja on muodostettu laskemalla vuorokauden jokaiselle tunnille keskiarvolämpötila. Taulukossa mittauspäivät on numeroitu ykkösestä aloittaen, jossa yksittäiset päivät voi erottaa toisistaan lämpötilapiikkien perusteella.



KUVA 23. Isover OL-LAM:n yläpinnasta mitatut ja lasketut lämpötilat (Fedorik 2011)

Mitattuja ja laskettuja lämpötila-arvoja Isover OL-LAM:n yläpinnassa on vertailtu vähennyslaskun avulla kuvassa 24. Lämpötilatiedot lasketun ja mitatun välillä eroavat toisistaan vähän. Kuvaajan punainen viiva edustaa sinisestä kuvaajasta muodostettua keskiarvoa, joka on lähellä nolaa.

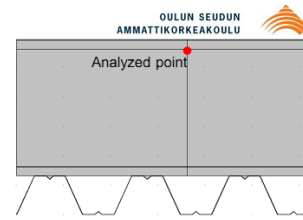




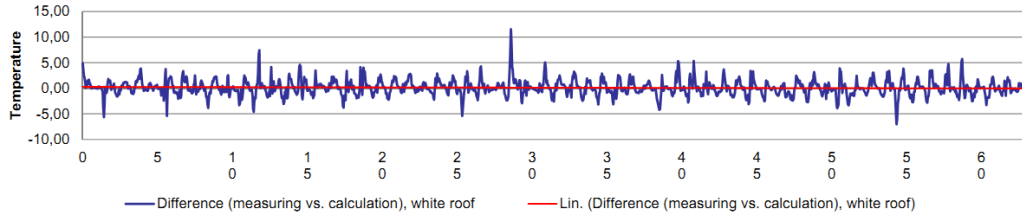
### White-black colored roof

Top of ISOVER OL-LAM 400

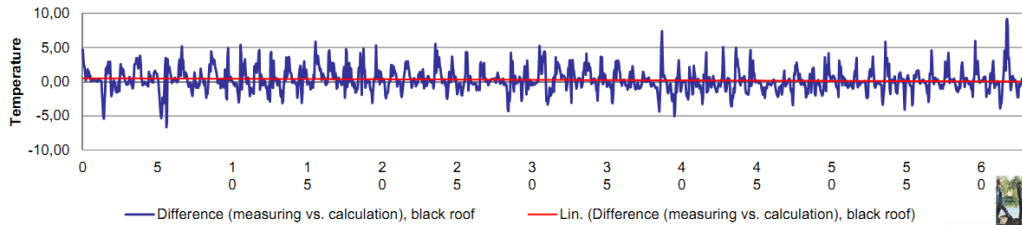
Time range: 12.7.2011 (00:06) – 13.9.2011 (01:06)



#### Difference (measuring vs. calculation), white roof



#### Difference (measuring vs. calculation), black roof



ooooo - PITKE - ooooo

WWW.OAMK.FI

KUVA 24. Isover OL-LAM:n yläpinnasta mitatun ja lasketun lämpötilan ero (Fedorik 2011)

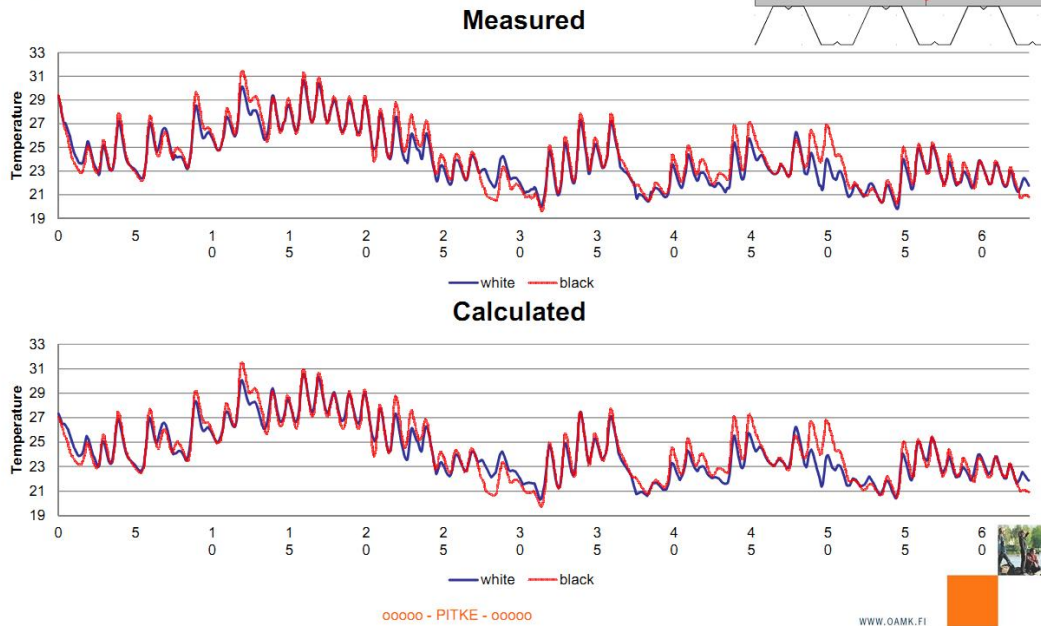
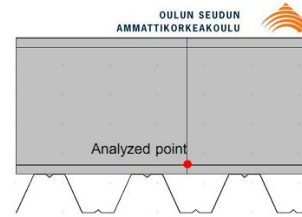
Seuraavassa kuvaajassa tarkastelussa on mittauspiste Isover OL-LAM:n alapinnassa. Tarkastelujakso on sama kuin edellisissä kuvaajissa. Kuvaajat muodostuvat tunnitaisista keskiarvolämpötiloista. (Kuva 25.)



### White-black colored roof

Under ISOVER OL-LAM 400

Time range: 12.7.2011 (00:06) – 13.9.2011 (01:06)



KUVA 25. Alemman Isover OL-TOP:n yläpinnasta mitatun ja lasketun lämpötilan ero (Fedorik 2011)

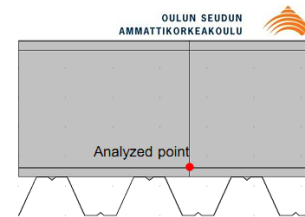
Isover OL-LAM:n alapinnassa ero laskentamallin ja mitattujen lämpötilojen välillä on entistä pienempi. Lasketut ja mitatut arvot poikkeavat toisistaan hyvin vähän. Sinisestä lämpötila-ero-kuvaajasta muodostettu punainen keskiarvo-kuvaaja on lähes nolla. (Kuva 26.)



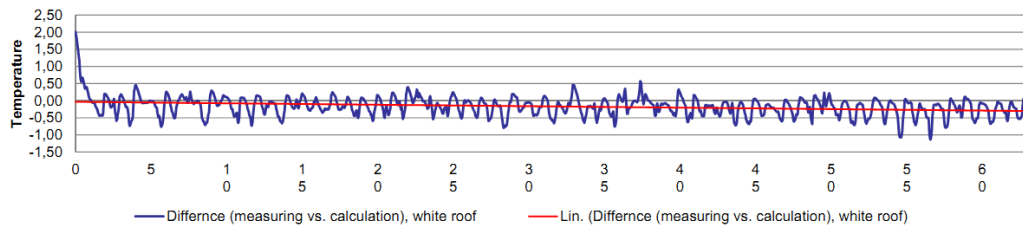
## White-black colored roof

Under ISOVER OL-LAM 400

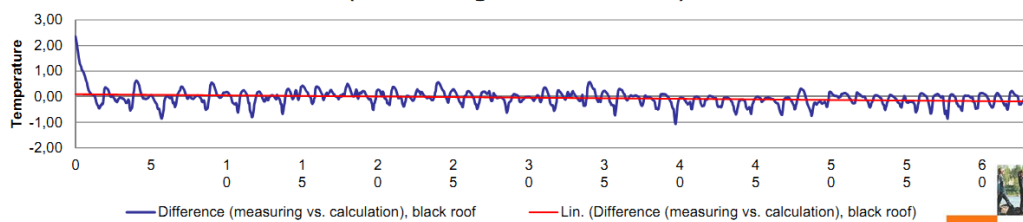
Time range: 12.7.2011 (00:06) – 13.9.2011 (01:06)



### Difference (measuring vs. calculation), white roof



### Difference (measuring vs. calculation), black roof

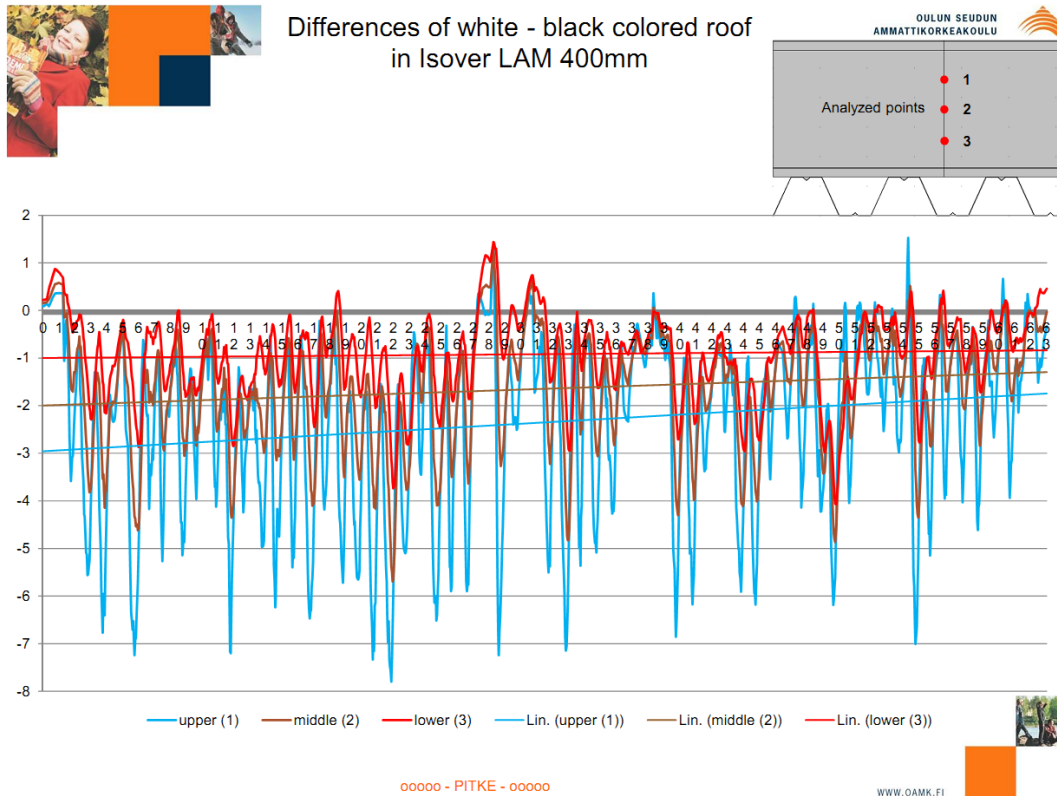


ooooo - PITKE - ooooo

WWW.OAMK.FI

KUVA 26. Isover OL-LAM:n alapinnasta mitatun ja lasketun lämpötilan ero (Fedorik 2011)

Laskelmissa on selvitetty myös lämpötilaa Isover OL-LAM -eristeen sisällä. Tutkittavina pisteinä on käytetty eristeen keskipistettä ja neljännespisteitä keskikohdan molemmin puolin. Kuvaajista sininen edustaa ylintä tarkastelupistettä (piste 1), ruskea keskimmäistä pistettä (piste 2) ja punainen alinta pistettä (piste 3). Kuvaajista on lisäksi muodostettu keskiarvokuvaajat (suorat viivat), joiden värit vastaavat tarkastelupisteitä. Suurin ero valkoisen ja harmaan kumibitumikermin välillä nähdään lähimpänä rakenteen yläpintaa, jossa valkoinen väri pitää lämpötilan 2-3 °C viileämpänä. Vaikutus lämpötilaan Isover OL-LAM -eristeen keskellä on 1,5-2 °C eli noin asteen vähemmän kuin ylemmässä pisteessä. Lähimpänä sisätilaa olevassa pisteessä 3 valkoisen kermin viilentävä vaikutus on enää noin 1 °C. Kuvaajien perusteella voidaan sanoa, että valkoisesta pintakermistä syntyvä lämpötilaero vaikuttaa selvästi eristeen yläosissa, mutta ero kutistuu merkityksettömäksi siirryttäessä kohti Isover OL-LAM:n alapintaa. (Kuva 27.)



KUVA 27. Lämpötilaerot harmaan ja valkoisen bitumikermien välillä Isover OL-LAM:n sisällä (Fedorik 2011)

Laskelmat siis tukevat mitattujen lämpötilojen paikkansapitävyyttä. Tämän perusteella laskentamalli vahvistaa sen johtopäätöksen, että valkoinen kumibitumikermin ei alenna rakennuksen sisälämpötilaa.

Valkoisen kumibitumikermien potentiaali on ehdottomasti kuumissa kesäpäivissä. Ne laskevat lämpötilaa katon pinnassa hetkittäin yli kymmenellä asteella rajoittaen näin katon kuumenemista. Vaikka tässä tutkimuksessa ei löydetty vaikutusta sisälämpötiloihin, valkoisella kumibitumikermillä voi olla merkitystä toisenlaisessa rakenteessa käytettäessä selvästi pienempiä eristepaksuuksia. Toisaalta voidaan miettiä, tulisiko Suomen ilmastossa rakennuksien päinvastoin kerätä eikä heijastaa ympäristön lämpöä mahdollisimman tehokkaasti. Tällöin rakennuksen pintamateriaaleissa tulisi suosia tummia sävyjä lämpösäteilyn absorboimisen maksimoimiseksi. Tämä asia on kuitenkin niin laaja, että se taitaa vaatia jo kokonaan uuden tutkimuksen.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutkittiin Isover OL-LAM:n lämpötekniistä toimintaa ja verrattiin harmaan ja valkoisen kumibitumikermin vaikutusta rakennuksen sisälämpötilaan. Tavoitteena oli varmistaa, ettei Isover OL-LAM:n saumoihin synny lämpövuotoa. Harmaan ja valkoisen bitumikermin vertailussa haluttiin selvittää onko värillä vaikutusta sisälämpötiloihin.

Tutkimuksessa seurattiin kattorakenteen ja sisätilan lämpötilaa kahdessa kohdassa ja kahdessa tilassa, joista toinen oli päällystetty harmaalla ja toinen valkoisella kumibitumikermillä. Molemmissa kohdissa oli useita lämpöantureita mittaamassa lämpötilaa rakenteen eri kerroksissa. Erityisen tarkkaan tutkittiin kattorakenteen Isover OL-LAM -lämmöneristeen saumoja, joista mitattuja lämpötiloja verrattiin samassa tasossa eristeen keskeltä mitattuihin lämpötiloihin. Tutkimuksissa käytettiin apuna myös lämpökamerakuvausta, millä pyrittiin hankkimaan lisätietoa katon lämpöloista.

Isover OL-LAM -lämmöneristeen saumat osoittautuivat hyvin toimiviksi. Lämpötilaero saumojen ja eristeen keskikohdan välillä oli hyvin pieni. Lämpöantureiden mittaustarkkuus huomioituina ero on vielä pienempi. Virheellisesti asennetut kaksi lämpöanturia antoivat lisäksi tietoa siitä, kuinka suuri lämpötilaero syntyy liikkuvan ilman vaikutuksesta. Valkoisen kumibitumikermin ei todettu alentavan lämpötilaa rakennuksen sisäpuolella. Suurimmat erot valkoisen ja harmaan kumibitumikermin lämpötiloissa nähdään kattorakenteen yläosassa, missä vuorokauden keskilämpötila on alentunut keskimäärin noin 3 °C. Lämpökuvauksessa ei havaittu lämpövuotoa katon eristyksessä päältäpäin tarkasteltuna.

Lämpötilaseuranta kesti kaikkiaan noin kolme ja puoli kuukautta. Seurannassa valkoista ja harmaata kumibitumikermiä vertailtiin rinnakkain noin kahden ja puolen kuukauden ajan. Koko tutkimusajalle riitti lämpimiä päiviä, joilta saatiin hyviä mittaustuloksia. Isover OL-LAM:n saumoista saatiin myös selkeitä lukemia. Tilojen erilaisen käyttötavan vuoksi sisälämpötilan mittaustuloksiin liittyi monia epävarmuustekijöitä, joiden täyttä vaikutusta oli vaikea arvioida kokonaisuuden kannalta. Vaikka tilat eivät olleetkaan täysin identtisiä, voidaan tuloksia pitää riittävän luotettavina.

Jatkossa valkoisen ja harmaan kumibitumikermin vertailu tulisi suorittaa mahdollisimman samanlaisissa tiloissa, mikäli se on mahdollista. Lisäksi viilennyksen tarvetta voisi miettiä laajemmin, vuoden pituisella aikavälillä. Rakennusten kattopintojen lämmönkeräyskyky on hyödyllinen keväällä ja syksyllä, jolloin lumesta vapaa katto toimii tehokkaimmin tummalla kumibitumikermillä. Valkoinen kattopinta, vaikka sen viilennyskyky ei suuri olekaan, on taas paras kesähelteillä, ainakin Välimeren rannoilla. Viilennyksen ja lämmityksen keskinäistä suhdetta tulisi miettiä ja valita Suomen ilmastoon sopivin ratkaisu.

## LÄHTEET

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus: rakennusfysiikka. 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Fedorik, F. 2011. Black-White Colored Roof.pdf.

Ilmatieteenlaitos. 2011. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi> . Hakupäivä 11.10.2011.

Inkinen, P. - Tuohi, J. 2002. Momentti 1, Insinöörifysiikka. 2. painos. Helsinki: Otava.

Isover Saint-Gobain. 2011. Saatavissa: <http://www.isover.fi/> . Hakupäivä 7.11.2011.

Katman Oy. 2011. Saatavissa: <http://www.katman.fi/> . Hakupäivä 7.11.2011.

Paloniitty, S. - Kauppinen, T. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.

Wikipedia. 2011. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa suomeksi: <http://fi.wikipedia.org> ja englanniksi: <http://en.wikipedia.org> . Hakupäivä 11.10.2011.

# ISOVER OL-TOP

Päivitetty 25.08.2011 Tulostettu 30.10.2011

Isover OL-TOP on loivien kattojen eristämiseen tarkoitettu kuormitusta kestävä eristyslevy. ISOVER OL-TOP on pitkiltä sivuilta pontattu ja lasikuituhuovalla pinnoitettu. OL-TOP:lla on erinomainen kuormituskesto, paksuudesta riippuen 60-70 kPa. Suuri puristuslujuus takaa jämään rakenteen, joka kestää hyvin painumatta katolla vallitsevia rasituksia. OL-TOP on valmistettu epäorgaanisesta ja kemiallisesti neutraalista materiaalista, eikä se sisällä korroosiota aiheuttavia ainesosia. OL-TOP on lahoamaton ja hajuton tuote eikä se tarjoa homesienille otollista kasvualustaa.



<b>Lämmönjohtavuus</b>	0,037 W/mK, Lambda Declared arvo
<b>Palo-ominaisuus</b>	A2 - s1,d0 - Europaloluokka
<b>CE:n mukainen suunnittelukoodi</b>	MW-EN13162-T3- MU1



## Käyttö

OL-TOP sopii erityisesti kohteisiin, joissa tarvitaan hyvää lämmöneristystä ja erittäin suurta kuormituskestävyyttä. Työnaikana eristelevyt on suojattava jatkuvilta raskailta kuormituksilta esim. kulkuteiden osalta. Käyttökohteita ovat mm. loivien kattojen kermikatteiden ja vesikattojen vedeneristysten alustat ja niiden peruskorjaukset, kelluvat lattiarakenteet vaimennuskerros, yms. Eriste soveltuu betonilaattojen, kevytbetonilaattojen ja profiilipeltilevyjen kannattamille loiville katoille. Tuotetta on käytettävä kuormituskestävyyden sallimissa rajoissa suunnittelijan ohjeiden mukaan. 20-35mm paksuja tuotteita käytetään myös vesikattojen saneerauksissa.

## Asennus

Eriste on asennettava kuivissa olosuhteissa ja asennuksessa on noudatettava suunnittelijan ohjeita. Levyjä tulee asentaa vain alueelle, joka voidaan asentaa saman päivän aikana. Jos käytetään mekaanista kiinnitystä, kiinnikkeiden määrän on oltava 2 - 4 kpl/m<sup>2</sup>.

## Pakkaus

Muovipakkaus tai lavapakkaus

## Käsittely ja varastointi

Pakkauksia ja tuotteita käsiteltäessä tulee noudattaa pakkauksessa tai erillisessä käyttöohjeessa annettuja ohjeita.

<b>Korkein käyttölämpötila</b>	Peruslevylle 200 °C (riippuen käyttösovelluksesta)
<b>Lämmönjohtavuus (suunnitteluarvo)</b>	0.037 W/mK, lambda design arvo
<b>Kuormituskestävyys</b>	60 kPa (EN 826 10 %:n deformaatiolla, 20mm tuote 40kPa)
<b>Dynaaminen jäykkyys</b>	<20 MN/m <sup>3</sup>



**Kosteuskäyttäytyminen**

Tuote ei ole hygroskooppinen,  
Lyhytaikainen veden absorptio: < 1,0  
kg/m<sup>2</sup> (EN 1609)

**Pinnoite**

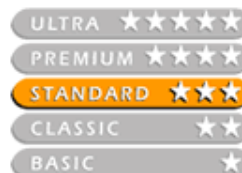
lasihuopa

**Käyttökohde**

Loivien kattoratkaisuiden pinta- ja  
pohjaeristelevy

**Paksuus**

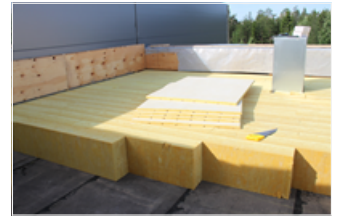
Paksuusjakauma 20 - 120mm



# ISOVER OL-LAM

Päivitetty 21.10.2011 Tulostettu 30.10.2011

ISOVER OL-LAM on lamellivilloiksi leikattua mineraalivillaa, jolla paksujenkin loivien kattojen eristekerrokset voidaan tehdä yhdellä kerralla pintavillaan saakka valmiiksi. OL-LAM eristekappaleiden koko on 250 mm x 1500 mm ja paksuus 400 mm. OL-LAM on valmistettu epäorgaanisesta ja kemiallisesti neutraalista materiaalista, eikä se sisällä korroosiota aiheuttavia ainesosia. OL-LAM on lahoamaton ja hajuton tuote eikä se tarjoa homesienille otollista kasvualustaa. ISOVER OL-LAM tuote täyttää rakennusmateriaalien päästöluokan M1.



<b>Lämmönjohtavuus</b>	0,040 W/mK (Lambda Declared arvo)
<b>Palo-ominaisuus</b>	A2-s1, d0
<b>CE:n mukainen suunnittelukoodi</b>	MW-EN13162-T3-MU1



## Käyttö

ISOVER OL-LAM sopii erityisesti kohteisiin, joissa tarvitaan hyvää lämmöneristystä ja suurta

kuormituskestävyyttä. Työnaikana eristelevyt on suojattava jatkuvilta raskailta kuormituksilta esim. kulkuteiden osalta. Pääkäyttökohteet ovat paksujen loivien kattojen kermikatteiden ja vesikattojen lämmöneristykset. Eriste soveltuu betonilaattojen, kevytbetonilaattojen ja profiilipeltilevyjen kannattamille loiville katoille. Profiilipellin ja OL-LAM tuotteen välissä käytetään ISOVER

OL-TOP 30 mm tuotetta, jonka päälle asennetaan kumibitumikermi höyrynsuluksi.

Tuotetta on käytettävä kuormituskestävyyden sallimissa rajoissa suunnittelijan ohjeiden mukaan. Vesikatteen alapuolisen eristekerroksena käytetään uritettua OL-TOP tuotetta.

## Asennus

OL-LAM suositellaan asennettavaksi siten, että ristikkäissaumat eivät sijoitu samalle kohdalle. Ensimmäinen tuote katkaistaan keskeltä ja eristeiden ladonta aloitetaan sillä. Tämän jälkeen voidaan jatkaa täysillä kappaleilla eteenpäin ja myös seuraava rivi aloitetaan täydellä kappaleella. Joka toinen uusi rivi aloitetaan katkaistulla tuotteella.

Eriste on asennettava kuivissa olosuhteissa ja asennuksessa on noudatettava suunnittelijan ohjeita. Eriste tulee asentaa vain alueelle, joka voidaan vedeneristää saman päivän aikana. Jos käytetään mekaanista kiinnitystä on kiinnikkeiden määrän oltava 2 - 4 kpl/m<sup>2</sup>. OL-LAM mitat ovat 250x1500x400. Tuote asennetaan siten, että 400 mm on paksuus.

## Pakkaus

Kalvopakattu lavapakkaus

## Käsittely ja varastointi

Tuotteet tulee varastoida säältä suojattuna.

**Korkein käyttölämpötila**

Peruslevylle 200 °C (riippuen käyttösovelluksesta)

**Kuormituskestävyys**

50 kPa (EN 826 10 %:n deformaatiolla)

**Kosteuskäyttäytyminen**Tuote ei ole hygroskooppinen,  
Lyhytaikainen veden absorptio: < 1,0  
kg/m<sup>2</sup> (EN 1609)**Käyttökohde**

Loivien kattojen lämmöneriste

