



Jatta Kesseli

# Rakennusten lämmöneristävyyden parantaminen sisäpintoja pintakäsittelemällä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pinnoitetekniikka

Insinöörityö

03.05.2021

# Tiivistelmä

Tekijä:	Jatta Kesseli
Otsikko:	Rakennusten lämmöneristävyyden parantaminen sisäpintoja pintakäsittelemällä
Sivumäärä:	53 sivua
Aika:	03.05.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Arto Yli-Pentti Technology & IPR Manager Jani Rutanen

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Tikkurila Oyj:lle ja sen tavoitteena oli etsiä mahdollisia pintakäsittelymenetelmiä, kuten maalaamista, rakennusten sisäpintojen energiatehokkuuksien ja lämmöneristävyyksien parantamiseen. Lähtökohtana oli selvittää, voisiko pintakäsittely parantaa rakennuksien energiatehokkuutta ja löytyykö teknisiä argumentteja tuotekehitysprojektin käynnistämiseksi. Erityisesti vanhojen rakennusten energiatehokkuuksien parantaminen on kallista ja voi vaatia mittavia muutostöitä, joten teoriassa sisäpintojen pintakäsittely olisi helppoa, edullista sekä kuluttajaystävällistä.

Teoriaosiossa selvitettiin käytössä olevien pintakäsittelyteknologioiden ominaisuuksia ja toiminnallisuuksia suhteessa lämpöhäviöihin vaikuttaviin seikkoihin, kuten esimerkiksi lämmönjohtavuus ja kylmäsilat. Tarkastelussa on myös lämmöneristemateriaalit, yleisesti sekä lämmöneristemaaleissa käytettyinä.

Tutkimusosiossa on testisarja, joka sisältää viisi erilaista lämmöneristemateriaalia. Testisarja sisältää myös referenssinäytteen ja perusmaalin, joita verrataan lämmöneristemateriaaleihin. Jokaista näytettä valmistettiin neljä kappaletta, jotta saataisiin toisto- ja rinnakkaismittauksia. Testimenetelminä käytettiin olosuhdetestausta sekä infrapunalamppua lämpötilojen vaikutuksia varten.

Tutkimustulokset osoittivat sen, että kovin suuria eroavaisuuksia olosuhdetestauksessa ei saavutettu, mutta infrapunalampun avulla tehdyssä mittauksessa oli selkeä ero lämmöneristemateriaaleissa. Testausmenetelmää tulikin kehittää ja lisätä erilaisia tapoja mittaukseen. Pintakäsittelyn vaikutus sisätilojen energiankulutukseen on yksi merkittävimmistä teknisistä argumenteista. Mikäli tutkimustyötä ja sen kehitystä päätettäisiin jatkaa, suositeltavaa on, että testimenetelmää edelleen kehitetään luotettavien tuloksien aikaansaamiseksi.

Avainsanat: energiatehokkuus, maali, lämmöneriste, raaka-aine

## Abstract

Author: Jatta Kesseli  
Title: Improving the Thermal Insulations of Buildings by Interior Surface Treatments  
Number of Pages: 53 pages  
Date: 03.05.2021

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering  
Professional Major: Materials and Surface Engineering  
Supervisors: Arto Yli-Pentti, Lecturer  
Jani Rutanen, Technology & IPR Manager

---

This thesis was done for Tikkurila Oyj and its aim was to find possible and easy solutions to improve the energy efficiency, and thermal insulation of the interior surfaces, for example, by painting. The premise was to study whether this could be possible and to find background support for product development. It is expensive to improve the energy efficiency of old buildings and it will require extensive modifications; thus, in theory this would be easy, economical, and consumer-friendly solutions.

In the theoretical part, the properties, and functionalities of the used surface treatment technologies in relation to the factors influencing heat losses, such as thermal conductivity and convection, were studied. Thermal insulation materials, in general and used in thermal insulation paints, were also considered.

In the research part, there were test series that included five different thermal insulation materials. Test series also included a reference sample and a basic paint, which were compared to thermal insulation materials. Four samples were prepared from each sample to obtain repeat- and parallel measurements. The test methods used were condition testing and an infrared lamp, to study the effects on temperatures.

The results of the study showed that very large differences in the condition testing were not achieved, but there was a clear difference in the thermal insulation materials when measured with an infrared lamp. The testing methods had to be developed. The effects of surface treatments on interior energy consumptions are one of the most important technical arguments. If it is decided to continue the research and its development, it is recommended that the test methods should be further improved to obtain reliable results.

Keywords: energy efficiency, paint, thermal insulation, raw material

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Energiatehokkuus	2
2.1	E-luku	4
2.2	Energiatodistus	5
3	Euroopan komissio ja energiatehokkuus	7
4	Eri aikakausien rakennukset ja niiden rakenteet	11
4.1	1950–1960-luvun rakennukset	11
4.2	1960–1975-luvun rakennukset	12
4.3	1980–1990-luvun rakennukset	13
4.4	Nykyajan rakennukset	14
5	Lämmönjohtavuus ja -siirtyminen	14
5.1	Johtuminen	15
5.2	Säteily	15
5.3	Konvektio	16
6	Lämmöneristysmateriaalit	16
6.1	Lämmöneristysmaaleissa käytetyt raaka-aineet	17
6.1.1	Perliitti	17
6.1.2	Aerogeeli	19
6.1.3	Mikropallot	22
6.1.4	IR-heijastavat pigmentit	24
7	Rakenteiden eristeongelmat	26
7.1	Lämpövuodot	26
7.2	Kylmäsillat	26
8	Maalit ja niiden kemia	27

8.1	Maalin koostumus	27
8.1.1	Sideaineet	28
8.1.2	Pigmentit ja täyteaineet	28
8.1.3	Liutainaineet	29
8.1.4	Apuaineet	30
8.2	Maalien tehtävät	30
9	Kokeellinen osio	31
9.1	Näytteiden valmistaminen	32
9.2	Testattavat tuotteet	34
9.3	Testattavien tuotteiden mikroskooppirakenteet	35
9.4	Olosuhdetestaus	38
9.5	Testaus IR-lampun avulla	39
10	Tulokset ja pohdinnat	41
10.1	Olosuhdetestaus	41
10.2	IR-lamppu	46
10.3	Virhearviointi	46
11	Yhteenveto	47
	Lähteet	49

## Lyhenteet

$\lambda$	Lambda, kuvaa rakenteiden lämmönjohtavuutta.
CEN	Comité Européen de Normalisation, engl. European Committee for Standardization.
E-luku	Ilmaisee rakennuksen laskennallisen ostoenergian kulutuksen neliömetriä kohden, yksikkönä kWh/m <sup>2</sup> /vuosi.
ICI	Cone & Plate Viscosity, yksikkönä Poise. Nestemaalien viskositeetin mittausta.
ISO	International Organization for standardization. Kansainvälinen standardointiorganisaatio.
KU	Krebs Unit, nestemaalien viskositeetin mittausyksikkö.
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin, kuvaa eri rakennusosien lämmöneristyskykyä, yksikkönä W/m <sup>2</sup> K.
VOC	Volatile Organic Compound, haihtuva orgaaninen yhdiste.

# 1 Johdanto

Rakennuksien energiatehokkuus on nykypäivänä iso ja merkittävä asia, johon panostetaan jatkuvasti erilaisten säädöksiä ja lakien myötä, esimerkiksi Euroopan unionin puolelta. Nykypäivänä arvostetaan paljon energiatehokkaita rakennuksia ja myös ympäristöystävällisyyttä. Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää, onko rakennuksien energiatehokkuuksien ja lämmöneristävyyksien parantamista mahdollista toteuttaa helpoilla kuluttajaystävällisillä pintakäsittelyratkaisuilla, kuten pintojen maalaamisella. Yleensä korjausrakentaminen vaatii paljon muutostöitä, joissa rakenteita voidaan joutua muuttamaan, mutta maalaaminen on yleensä kuluttajille helppo ja nopea tapa uudistaa asuintiloja ja lisätä viihtyisyyttä. Maalaaminen ei lähtökohtaisesti kuitenkaan ole energiatehokkuutta parantava muutos- tai korjaustyö, mutta tässä työssä tutkitaan, voidaanko sitä näillä menetelmillä tehostaa. Insinööriyö kuului osaksi yrityksen tuotekehityksen innovaatiotoimintaa, ja työn tuloksia käytetään yhtenä tietolähteenä tuotekehitysprojektin käynnistämisen päätöksenteossa, eli valmista tuotetta tai ratkaisua tässä työssä ei ole haettu. Lähtökohtaisesti työssä on etsitty ja esiselvitetty idean teknisiä toteuttamismahdollisuuksia sekä toiminnallisuutta.

Tämän insinööriyön tavoitteena on tarkastella kirjallisuuskatsauksen osalta nykyisiä energiatehokkuuden muotoja ja säädöksiä sekä sitä, minkälaisia lämmöneristemateriaaleja ja raaka-aineita on markkinoilla. Tutkimusosiossa tavoitteena on valmistaa itse maalia, ja testata sitä yhdessä muiden näytteiden kanssa, jotka sisältävät lämmöneristemateriaalia. Testauksessa hyödynnetään olosuhdekaappia ja infrapunalamppua. Tarkoituksena oli myös selvittää, miten lämpöä eristävät ja heijastavat ominaisuudet mitataan ja kuinka mittavia testausmenetelmiä tulee hyödyntää luotettavien tuloksien saamiseksi. Testauksen aikana mitataan virrankulutusta, jota vertaillaan eri tuotteiden kesken, ja pyritään tuloksista analysoimaan vaikuttaako lämmöneristemateriaali virrankulutukseen tai lämpötilan muutoksiin. Eri tuotteissa on erilainen lämmöneristemateriaali, kuten esimerkiksi perliitti tai aerogeeli. Näitä erilaisia

lämmöneristemateriaaleja verrataan taas toisiinsa sekä referenssiin että perusmaaliin ja katsotaan, että onko niillä merkitystä tai vaikutusta lopputulokseen.

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Tikkurila Oyj:lle. Tikkurila Oyj on kotimainen maaleja ja lakkoja valmistava yritys niin kuluttajille kuin ammattilaisille teollisuuskäyttöön. Tikkurilan historia alkaa vuodesta 1862, jolloin alettiin valmistaa pellavaöljyä Keravanjoen varressa, jossa Tikkurila sijaitsee edelleen. Tikkurilasta on kasvanut vuosien saatossa suuri kansainvälinen brändi, ja sillä on suuret markkinat mm. Venäjällä, Puolassa sekä Baltiassa. [1.] Tällä hetkellä yrityskauppa on mahdollinen, sillä amerikkalainen PPG Industries on tehnyt joulukuussa 2020 ostotarjouksen Tikkurila Oyj:stä [2].

## **2 Energiatehokkuus**

Nykypäivänä arvostetaan ja halutaan kaiken olevan hyvin energiatehokasta, ympäristöystävällistä sekä hiilineutraalia. Yksi suurimmista huolenaiheista viime vuosina on ollutkin kasvihuonekaasupäästöt, ja sen myötä syntyvät ilmastovaikutukset. Tämän myötä myös energiatehokkuus on yksi ratkaiseva asia kotitalouksissa.

Energiatehokkuuden pääasiallisena tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen, joita rakennukset tuottavat vuosittain noin kolmanneksen kaikista päästöistä. Euroopan Unionin tärkein tavoite on pienentää välttämätöntä energiankulutusta, jonka vuoksi energiatehokkuusvaatimuksia ja -lainsäädöksiä on tiukennettu.



Energiatehokkuuksia voidaan kuvailla monesta eri näkökulmasta:

- taloudellisesta
- teknisestä
- energian laadusta
- päästö- ja ilmastovaikutuksista.

Energiatehokkuuteen taas voi vaikuttaa moni eri tekijä, kuten esimerkiksi:

- arkkitehtuuri, pääosin rakennuksen sijainti ja materiaalit
- rakennesuunnittelu, lähinnä rakenteiden lämpötekniiset ja kosteustekniiset ominaisuudet
- talotekniikka, kuten lämmitys-, ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmät. [3.]

Energiatehokkaan rakentamisen lähtökohtina ovat lämpöhäviöiden pienentäminen, sähkönkäytön tehostaminen, energiakulutuksen ohjaaminen sekä energiamuodon valinta.

Rakennuksien energiatehokkuuksia ohjaa joukko direktiivejä ja standardeja. Energiatehokkuusdirektiivi EPBD edellyttää, että kaikkien julkisten rakennuksien tulisi olla 31.12.2018 jälkeen lähes nollaenergiarakennuksia. Uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi, RES, rakennussäädöksissä ja -määräyksissä tarvittaessa edellytettävä uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian vähimmäistasoa uusissa, ja perusteellisesti kunnostettavissa olemassa olevissa rakennuksissa. Edellytys astui voimaan 31.12.2014. Energiatehokkuusdirektiivi EED taas edellyttää yleisimmin mm. strategiaa rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen koskien rakennusten peruskorjauksia. [4.]

Rakennuksien energiatehokkuuksien parantamisesta korjaus- ja muutostöissä säädetään ympäristöministeriön asetuksella (4/13), joka tuli voimaan kaikkien rakennuksien osalta 1.9.2013. Energiatehokkuuden parantamiseen annetaan asetuksessa kolme vaihtoehtoista tapaa, joista kiinteistön omistaja voi valita itselleen sopivimman. Ensimmäinen vaihtoehto on hoitaa asia rakennusosakohtaisesti. Silloin korjattujen tai uusittujen rakennusosien, kuten ulkoseinien, alapohjan, ikkunoiden ja ovien, lämmönpitävyyden tulee remontin jälkeen olla nykyvaatimuksien mukainen. Toinen tapa on pienentää rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta. Tällöin tarkasteltavana on rakennuksen vuosittainen normaalikäytön energiankulutus suhteessa rakennuksen pinta-alaan. Kolmannessa vaihtoehdossa lasketaan rakennukselle ominainen kokonaisenergian kulutus eli E-luku, jota pienennetään vaadittuun tasoon. [5.]

Yhtenä hyvänä esimerkkinä voidaan pitää sitä, että Helsingin kaupungilla on tavoitteena olla hiilineutraali vuonna 2035. Tämä tarkoittaa, että kaupunkialueella tuotettuja kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään ainakin 80 % vuodesta 1990. [6.]

## 2.1 E-luku

E-luku otettiin vuonna 2012 käyttöön, kun uudet rakennusmääräykset astuivat voimaan. E-lukua käytetään kuvaamaan rakennuksien kokonaisostoenergian kulutusta lämmitettyä nettoalaa kohden. Ostoenergiaan kuuluvat mm. sähköverkoista, kaukolämpöverkoista ja uusiutuvista/fossiilisista polttoaineista saatavat energiat. E-luvun laskentaa varten on määritelty eri kertoimia erilaisille ostoenergiamuodoille, kuten esimerkiksi sähköllä luku on 1,7 ja kaukolämmöllä 0,7 [3].

Uudisrakennuksen E-lukua parantavat muun muassa

- uusiutuvaa energiaa tai kaukolämpöä hyödyntävä vesikiertoinen lämmitys
- talon ulkovaipan hyvä lämmöneristävyys ja ilmatiiviys
- lämmintä käyttövetä säästävät ratkaisut
- vähän sähköä kuluttava, tehokas ilmanvaihtojärjestelmä [7].

## 2.2 Energiatodistus

Energiatodistus määrittää rakennuksen energiatehokkuuden. Energiatodistus perustuu EU:n direktiiviin, ja on ollut Suomessa käytössä vuodesta 2008 lähtien kaikessa uudisrakentamisessa. Energiatodistus tarvitaan myös vanhojen pientalojen myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Energiatodistusta ei tarvita mm. loma-asunnoille eikä myöskään suojelluille / pienille, alle 50m<sup>2</sup>:n kokoisille rakennuksille. [8.]

Energiatodistus on laskennallinen, ja se laaditaan siten, että siitä selviää seuraavanlaiset laskelmat: rakennuksen pinta-alat, rakennusosien U-arvot, ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet, lämpökuormat sekä uusiutuvan energian osuus. Energiatodistuksen mukaisesti laskelmissa otetaan huomioon energiankulutuksen lisäksi myös energialähteiden laatu. Tavoitteena on säästää energiaa, joten rakennuksen E-lukua laskettaessa pienin ja paras kerroin on rakennuksessa käytettävillä uusiutuvilla energialähteillä sekä kaukolämmöllä (0,5) ja suurin sähköllä (1,2). Laskennallinen E-luku määrittää rakennuksen energiatehokkuusluokan välille A–G. [6.]

Uusien rakennuksien rakennuslupien liitteinä tulee olla energiaselvitys. Selvitys on laaja, ja se sisältää seuraavat osat:

- selvitys siitä, että rakennuksen lämpöhäviöt ovat määräysten mukaiset
- ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta
- arvio rakennuksen lämmitystehontarpeesta
- arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta (ja tarvittaessa jäähdytystehon tarve)
- arvio rakennuksen todellisesta energiankulutuksesta
- energiatodistus. [9.]

	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
<b>Lämpimät tilat</b>									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,40	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maavarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0

Kuva 1 U-arvojen kehitys vuosikymmenten kuluessa [10].

Kuten yllä olevasta kuvasta (kuva 1) voidaan katsoa, niin vuosikymmenten saatossa rakennuksien U-arvojen kehitys on huomattavasti parantunut. Esimerkiksi ulkoseinän U-arvo, eli lämmönläpäisykerroin, vuodelta 1969 on ollut 0,81 kun taas vuoden 2012 jälkeen kyseinen arvo on alentunut lukuun 0,17. U-arvojen laskuun on paljon vaikuttanut nykysäädöksiensä ja -asetuksien

tiukentuminen, jonka myötä rakennuksien energiatehokkuudet ovat parantuneet merkittävästi.

U-arvon laskennassa käytetään standardin SFS-EN ISO 6946 mukaista laskentamenetelmää. Laskentamenetelmään perustuva mittaus voi aiheuttaa arvoihin suuria heittoja. Esimerkiksi Tampereen yliopisto on tehnyt yhteistyötä suomalaisten ja saksalaisten tutkimusorganisaatioiden kanssa ja kehittänyt uuden mittausmenetelmän, Rapid U:n, joka mahdollistaa kustannustehokkaan tavan mitata nopeasti U-arvoja. Arvojen mittaus kestää noin tunnin ajan ja samalla se voi tallentaa jopa 10–20 mittarin tulokset. Onnistuneena projektina se auttaa kiinteistöjen omistajia laadunvalvonnassa ja korjaustöiden suunnittelussa nopeilla, rakenteita rikkomattomilla U-arvojen mittauksilla. Muita käyttöalueita mittarilla ovat esimerkiksi energiatehokkuustodistukset ja kosteuden havaitseminen. [11.]

### **3 Euroopan komissio ja energiatehokkuus**

Tällä hetkellä maailmalla vellova COVID-19- pandemia on tuonut entistä kriittisempää ja yksityiskohtaisempaa ajattelua rakennuksia kohtaan, sillä kodeista on tullut pandemian ajan miljoonien eurooppalaisten jokapäiväisen elämän keskipiste. Kun kotona vietetään paljon aikaa, myös viihtyvyyteen halutaan panostaa, joten myös energiatehokkuusasiat ja korjausrakentamiset voivat olla ajankohtaisia. Jotkin pandemian vaikutuksista voivat jatkua pidempäänkin, mikä luo uusia vaatimuksia rakennuksille ja niiden energia- ja resurssiprofiileille ja lisää entisestään tarvetta rakennuksien laajamittaisille perusparannuksille. Kun pandemia on ohi, perusparannukset tarjoavat tilaisuuden nykyaikaistaa ja suunnitella uudelleen rakennuksia, jotta ne sopisivat vihreämpään ja digitaaliseen yhteiskuntaa ja ylläpitävät myös talouden elpymistä.

Lokakuussa 2020 Euroopan komissio esitteli peruskorjausstrategiansa, A Renovation Wave for Europe, osana Euroopan vihreää sopimusta. Strategia sisältää toimintasuunnitelman, jossa on esimerkiksi konkreettisia sääntely- ja

rahoitusmenetelmiä sekä toimenpiteitä rakennuksien kunnostamisten edistämiseksi. Sen tavoitteena on vähintään kaksinkertaistaa rakennuksien vuotuiset energiankorjausasteet vuoteen 2030 mennessä, ja edistää peruskorjauksia. Nämä uudistukset parantavat rakennuksissa asuvien ja niitä käyttävien ihmisten elämänlaatuja, vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä ja luovat jopa tuhansia uusia vihreitä työpaikkoja rakennusalalle. Lähes 34 miljoonalla eurooppalaisella ei ole varaa pitää kotiaan riittävän lämpimänä, joten peruskorjaus on tärkeä vastatoimi energiaköyhyyteen. Strategia perustuu Puhdasta energiaa kaikille eurooppalaisille- säädöspakettiin, jonka mukaan jokaiselle EU-maalle on julkaistava pitkäaikainen rakennuksien kunnostamisstrategia. [12.]

Rakennuksien energiatehokkuusdirektiivien tarkistus on olennainen osa peruskorjausstrategiaa, koska siinä keskitytään keskeisiin tavoitteisiin ja samalla myös edistetään vähentämään rakennuksien hiilidioksidipäästöjä Euroopan Vihreän sopimuksen mukaisesti. Esimerkiksi tällä hetkellä noin 35 % EU:n rakennuksista on yli 50 vuotta vanhoja, ja lähes 75 % rakennuksista on energiatehottomia. Nykyaikaisten rakennuksien kunnostaminen voisi johtaa merkittäviin energiasäästöihin, koska se voi vähentää EU:n kokonaisenergiankulutusta 5–6 % ja vähentää hiilidioksidipäästöjä n. 5 %. Samaan aikaan kuitenkin vain noin 1 % rakennuksista kunnostetaan vuosittain. Tällä tahdilla hiilidioksidipäästöjen vähentäminen nollatasolle veisi vuosisatoja. [13.] Esimerkiksi Saksan energiaviraston mukaan koko maassa on noin 16 miljoonaa rakennusta, joiden energiankulutus neliometriä kohden on erityisen suuri. Varsinkin 1950–1970 luvuilla rakennetuilla rakennuksilla, jotka on rakennettu ennen ensimmäisiä määräyksiä koskien lämmöneristävyyttä, on yleensä huono energiataso. Tehokkaan eristämisen ja nykyaikaisen lämmitystekniikan tulisi muodostaa keskeinen rakennuspalikka tehokkaaseen kunnostukseen. [14.]

Jos ilmastotavoitesuunnitelman mukaan 55 %:n päästövähennykset onnistuisivat vuoteen 2030 mennessä, kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 60 %, niiden energian loppukulutusta 14 % ja lämmityksen sekä jäähdytyksen energiankulutusta 18 %. EU:n on keskityttävä siihen, miten rakennuksistamme saadaan energiatehokkaampia, enemmän hiilineutraaleiksi koko elinkaaren aikana sekä ympäristöystävällisempiä. [13.]

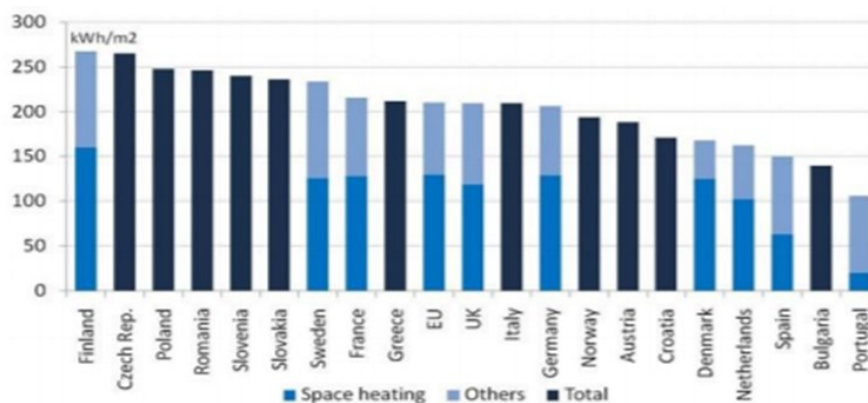
Perusparannusten keskeisiä periaatteita ovat esimerkiksi:

- energiatehokkuuden sijoittaminen etusijalle
- hiilestä irtautuminen ja uusiutuvien energialähteiden integrointi
- elinkaariajattelu ja kiertotalous
- korkeat terveys- ja ympäristönormit.

Perusparannuksien periaatteisiin kuuluu rakennuksien muuttaminen hiilinieluisi edistämällä vihreää infrastruktuuria ja käyttämällä hiiltä sitovia luonnonmukaisia rakennusmateriaaleja. Myös terveysnormeihin kuuluu, että hyvä vesihuolto ja ilmanlaatu, sekä asbestin ja radonin kaltaisten haitallisten aineiden poistaminen ja niiltä suojautuminen kuuluvat perusparannuksien periaatteisiin. [12.]

Alla olevassa kuvassa (kuva 2) on esitetty Euroopan maiden mukaiset energiankulutukset rakennuksissa.

*Figure 1: Energy consumption in building (kWh/m<sup>2</sup>)*



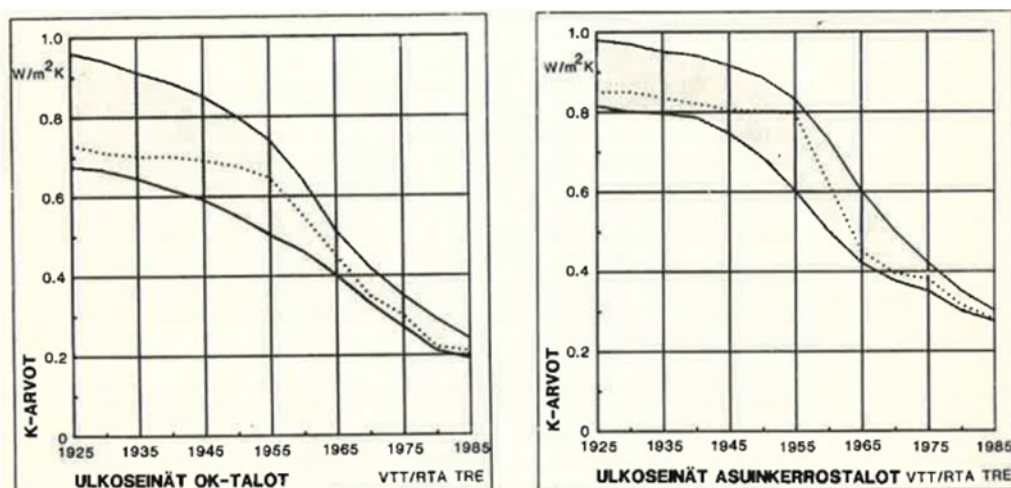
Kuva 2 Energiankulutus maittain Euroopassa [15].

Kuten yllä olevasta kuvasta voidaan tarkastella, Suomi on yllättäen sijalla 1. Tähän voi tietysti vaikuttaa maantieteellinen sijainti, sillä varsinkin talvikausilla erilaisia lämmitysmuotoja tarvitaan pitääkseen rakennukset lämpiminä.



## 4 Eri aikakausien rakennukset ja niiden rakenteet

Alla olevassa kuvassa (kuva 3) on esitetty rakennuksien ulkoseinien U-arvojen kehitys 1925- luvulta vuoteen 1985. U-arvojen laskemiseen on vaikuttaneet tiukentuneet energiatehokkuusdirektiivit sekä erilaisien teknologioiden kehitys kuten lämpöeristeiden käyttäminen ja rakennusmateriaalien kehitys.



Kuva 3 U-arvojen kehitys 1925- luvulta vuoteen 1985 [16].

Lämmöneristykseen vaikuttaa moni asia, kuten seinärakenteet, lämmöneristeet, lämmitysjärjestelmät sekä ilmanvaihto. Esimerkiksi valtaosassa 1960- luvun ja sen jälkeen rakennetuissa asuintaloissa on koneellinen poistoilmanvaihto, joka on energiataloudellisesti huono ratkaisu, sillä on se suuri lämmönkuluttaja. Kun rakennuksia eristetään ja tiivistetään, on ilmanvaihdon toimivuus varmistettava. [17.]

Alla olevissa luvuissa on esitelty tarkemmin eri aikakausien rakennuksista ja niiden ominaisuuksista.

### 4.1 1950–1960-luvun rakennukset

1950- luvulla rakennustekniikkana oli vielä paikallarakentaminen. Talojen rungot tehtiin yleensä puusta tai tiilestä. Vuonna 1956 rakennustarvikkeiden

säännöstelyn päätyttyä alkoi uudenlaisen rakennuslevyn, lastulevyn, valmistus Suomessa. Lämmöneristeinä alettiin käyttää yhä yleisemmin kevyitä sulasta lasi- tai kiviaineesta valmistettuja vuorivilloja. 1950- luvulla uutuutena tuli markkinoille myös muovit, ja ne toimivatkin pitkälti puun korvikkeina, myös nopeasti kuivuvat lateksimaalit valtasivat markkinoita. Tämän aikakauden rakenneongelmat liittyivät yleensä rakennusmateriaaleihin, joiden ominaisuuksia ei vielä osattu käyttää oikein.

#### 4.2 1960–1975-luvun rakennukset

1960- luvulla siirryttiin massatuotantoon ja talotyyppikin vaihtui huomattavasti verrattuna aiempaan vuosikymmeneen. Tällöin rakennettiin yksikerroksisia, matalia harjakattoisia taloja, ilman kellaria ja ullakkoa. Julkisivumateriaaliltaan talot olivat punatiilisiä, mutta myös mineriittilevyt olivat suosittuja. Koneellinen poistoilmanvaihto yleistyi painovoimaisen ilmanvaihdon rinnalla. Tällä vuosikymmenellä rakenteiden ongelmiaakin pitkälti riitti myöhemmin, esimerkiksi maanvaraisen betonilaatan päälle varustetut lämmöneristykset, joiden päälle koolattiin lattialaudoitus. Tämän rakenteen ongelmana on laatan yläpintaan tiivistyvä kosteus. Ensimmäisiä rakennuksien lämmöneristykseen koskevia normeja tuli voimaan vuonna 1962, jotka olivat tämän päivän määräyksiin verrattuna vaatimattomat.

1970-luvun rakentaminen oli ongelmallista. Talot madaltuivat entisestään, lattianpinta rakennettiin lähelle maanpintaa maanvaraiselle betonilaatalle kaksoisvalulla sekä kattorakenteena oli yleensä tasakatto. Tasakattojen ongelmana liittyi yleensä vedenpoistokaivoihin, jotka tukkiutuivat herkästi, kun vesi jää seisomaan katolle ja näin ollen myös tunkeutuu kattuhuovan alle. Näissä rakennuksissa onkin havaittu myöhemmin kosteusvaurioita juuri tästä syystä. Myös valesokkelirakenteet olivat yleisiä sekä räystäsrakenteet saattoivat olla liian lyhyitä tai puuttuivat jopa kokonaan. Höyrynsulkumuovit yleistyivät ja alkuun olivatkin melko heikkoja, ja on hyvin todennäköistä, että kaksikerroksisissa rakennuksissa ei ole tehty ulkoseinän höyrynsulkua yhtenäiseksi välipohjan kohdalla. Tämä ongelma mahdollistaa koko

liitosrakenteen suuren kylmäsillan, joka on aiheuttanut myöhemmin ongelmia korjauksien suhteen. Teknisesti 1970- luvulla merkittävä uudistus oli lämpöeristetyn ulko-oven käyttöönotto. [18.]

Lastulevyseinät olivat yleisiä, ja niissä akuuttina ongelmana oli liiman allergisia reaktioita aiheuttava formaldehydi. Myös asbesti oli tämän aikakauden rakenteissa yleinen materiaali. Rakennuksissa ehjät asbestipitoiset materiaalit eivät ole sinänsä vaarallisia, mutta rikkoutuessaan niistä vapautuu terveydelle vaarallista pölyä, joka aiheuttaa muun muassa asbestoosia, keuhkosityöpää ja muita hengityselinsairauksia. [19.] Asbestiin liittyviä asetuksia ja määräyksiä ei tosin tarvitse maalaamalla tai tapetoimalla ottaa huomioon, sillä ne eivät ole rakenteita rikkovia korjaustoimenpiteitä, ellei tarvitse rakenteisiin tehdä muutoksia.

#### 4.3 1980–1990-luvun rakennukset

1980- luvulla suoritettiin paljon korjausrakentamisia sekä energiatehokkuuteen alettiin kiinnittämään aiempaa enemmän huomiota. Tämän aikakauden rakenteissa tyypillisesti on havaittu paljon rakenteiden yläpohjissa kosteusvaurioita, sillä niissä saattoi olla puutteelliset tai jopa kokonaan puuttui aluskatteet. Kosteuden tiivistymisriski oli myös suuri vesikattojen ja lämmöneristeiden välissä oleva puutteellinen tuuletus. Höyrynsulku ja sen puutteellisuus vaikuttavat myös esimerkiksi lämpövuotoihin sekä kosteuden tiivistymiseen ja sitä myötä kosteusvaurioihin. [20.]

1990- luvulla taas alettiin kiinnittämään enemmän huomiota rakentamisen laatuun, ja myös edellisessä luvussa mainittu asbesti ja sen käyttö kiellettiin vuonna 1994 lopullisesti. Nykyään ennen korjaustöihin ryhtymistä tulee tehdä asbestikartoitus, jos kohde on rakennettu ennen vuotta 1994. Tämä laki astui voimaan vuonna 2016.

Suomen rakentamismääräyskokoelman uusittuihin määräyksiin ja ohjeisiin kuuluva RakMK C2 astui voimaan 1998 loppuvuodesta, joten 1990-luvun rakenteissa on havaittu paljon puutteita vesieristysten suhteen. Tämä rakentamisohje määrittelee yhä edelleen mm. märkätilojen rakentamiseen liittyvät määräykset ja ohjeet. [21.] Rakenteiden lämmöneristämisestä määrää RakMK C3- ja C4- ohjeistukset. Myös energiataloudesta on oma rakentamismääräys, RakMK D3. Rakentamismääräysohjeet määrittelevät mm. rakennusosakohtaiset lämmönläpäisykertoimet eri rakenneosille, kuten seinille ja ikkunoille.

#### 4.4 Nykyajan rakennukset

2000-luvun talot ovat jo erittäin energiatehokkaita ja uudet omakotitalot rakennetaan yhä useammin passiivi- tai nollaenergiatasoon. Myös rakenteiden lämmöneristävyyteen ja tiiveyteen kiinnitetään erityistä huomiota. Omakotitalojen julkisivumateriaaleina käytetään yleisimmin puu- tai tiiliverhoilua sekä rappausta. Ilmanvaihto toimii pääasiallisesti koneellisella ilmanvaihdolla, jossa on tehokas lämmön talteenotto. [21.]

Yleisimmät uusien pientalojen lämmitysmuodot ovat maa- ja kaukolämpö sekä erilaiset hybridilämmitysmuodot. Hieman vanhempien talojen sähkön kulutusta on haluttu myös 2000-luvulla parantaa lisälämmitysjärjestelmällä eli esimerkiksi asentamalla ilmalämpöpumppu tai hyödyntämällä aurinkoenergiaa. Nykyajan rakennuksissa voi tulla ongelmaksi myöhemmin se, että tekniikka kehittyy vauhdilla eikä ihmiset välttämättä keskity tekniikan tuomiin ongelmiin tai vikatiloihin. [21.]

## 5 Lämmönjohtavuus ja -siirtyminen

Lämpöä eristämällä pyritään esimerkiksi minimoimaan energiakustannuksia rajoittamalla lämpöhäviöitä, ja pitämään lämpötila käyttökäytännön vaatimuksien mukaisina. Lämmönjohtavuus  $\lambda$  kuvastaa sitä, miten hyvin

materiaali johtaa lämpöä. Mitä pienempi lukuarvo, sen parempi eristemateriaali on.

Lämpö siirtyy pääasiassa kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä tai konvektiolla eli kulkeutumalla.

## 5.1 Johtuminen

Lämpö kiihdyttää molekyylien liikettä, jolloin liike-energiaa siirtyy molekyylistä toiseen niiden törmäillessä. Tätä ilmiötä kutsutaan lämmön johtumiseksi. Johtumiseen ei liity minkäänlaista aineen siirtymistä, joten se on ominainen lämmön siirtymisen muoto varsinkin kiinteissä aineissa. Yleisesti ottaen hyvin sähköä johtavat aineet ovat myös hyviä lämmönjohteita. [22.]

Lämmönjohtavuus vaikuttaa suoraan siirtyvään lämpöenergiaan.

Lämmönjohtavuuden kaksinkertaistuessa myös siirtyvä lämpöenergia kaksinkertaistuu. Lämmönjohtavuuden vaihtelu eri rakennusmateriaaleilla on suuri. Esimerkiksi betonilla lämmönjohtavuus on n. 1,7 W/mK, mineraalivillalla n. 0,05 W/mK, teräksellä 50 W/mK, puulla 0,13 W/mK ja tiilellä 0,6 W/mK. Betoniseinän läpi menee noin 34 kertaa enemmän energiaa kuin vastaavan paksuisen mineraalivillaseinän. Rakenteissa ongelmia voivat aiheuttaa muuta rakennetta huomattavasti paremmin lämpöä johtavat kohdat ns. kylmäsilat. [23.]

## 5.2 Säteily

Lämmönsiirtymistapana säteily poikkeaa muista siirtymismuodoista siten, että se ei tarvitse väliainetta tapahtuakseen. Se on sähkömagneettinen ilmiö, joka levittyy lämpötilojen eron tuloksena.

Rakenteiden ulkopuolella yksi keskeisimmistä lämmönsiirtymismuodoista on säteily, esimerkiksi auringonsäteily. Rakenteiden ulkopinnoilta karkaava lämpösäteily voi vaikuttaa rakenteiden kosteustekniseen toimintaan alentamalla

sen lämpötilaa alle ulkoilman lämpötilan, jolloin kondenssiriski voi kasvaa. Energiaa siirtyy säteilynä myös rakennuksen sisällä, kuten väliseinistä ulkoseiniin tai lämmityslaitteen pinnalta ympäröivien rakenteiden pinnoille. Sisätiloissa lämpösäteilyn merkitys kosteusvaurioiden kannalta on yleensä säteilyn vaikutus rakenteiden pintalämpötiloihin. Mitä vähemmän lämpösäteily pinnalle absorboi, sitä kylmemmäksi pinta jää, ja kosteuden tiivistymisriski kasvaa. [23.]

### 5.3 Konvektio

Lämmön konvektiolla tarkoitetaan lämmön kulkeutumista kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Virtauksen muotoja ovat pakotettu ja luonnollinen konvektio. Pakotetussa konvektiossa lämpöä kuljettava neste tai kaasu on saatu liikkumaan jonkin ulkopuolisen voimanlähteen avulla, esimerkiksi pumppu. Hyvänä esimerkkinä pakotetusta konvektiosta voidaan pitää vesikiertoista lattialämmitystä, jossa lämmin vesi laitetaan virtaamaan pumpun avulla. Luonnollinen ja vapaa konvektio puolestaan saa alkunsa ilman lämpötilaeroista ja sen aiheuttamista poikkeamista ilman tiheydessä. [24.]

Kosteusvaurioiden kannalta ilman siirtämä lämpö on yleensä tärkein tarkastelukohde, sillä erityisesti rakenteiden sisällä tapahtuva kylmän ulkoilman virtaus voi alentaa sisäpinnan lämpötilaa ja näin ollen aiheuttaa rakenteeseen kondenssiriskin [23].

## 6 Lämmöneristysmateriaalit

Tärkeimmät eristemateriaalit luokitellaan kahteen luokkaan: orgaaniset ja epäorgaaniset materiaalit. Esimerkiksi suulakepuristettu polystyreeni XPS ja paisutettu polystyreeni EPS ovat orgaanista ja lasivilla on epäorgaanista. Rakennuksissa eniten käytetyt eristeet ovat mineraalivillasta, mutta myös

luonnonkuitupohjaiset materiaalit, muovikuidut sekä solumuovit ovat yleisiä eristemateriaaleja [25].

Mineraalivilla tuotetaan luonnonmukaisella periaatteella: vulkaaninen kivi, yleensä basaltti, gabro tai dolomiitti, sulatetaan 1500 asteessa ja kuidutetaan. Kivivillaeristeen teollisessa valmistusprosessissa lisätään pieni määrä (n. 2–4 %) orgaanista sideainetta pitämään kuidut paikoillaan. Nämä kuidut ja niiden väleissä pysyvä ilma tekee eristeestä kestävän, palamattoman ja hyvin lämpöä eristävän materiaalin. Kivivillan etuja ovat mm. kosteudenkestävyys, turvallisuus, energiatehokkuus sekä paloturvallisuus. [26.] Suomessa tunnetuimpia eristevalmistajia ovat Paroc Oy ja Isover Oy. Myös ympäristöstävällisyyteen pyrkivä Ekovilla Oy on hyvin tunnettu.

Mineraalivillan lämmöneristyskyky pohjautuu paikallaan pysyvän ilman alhaiseen lämmönjohtavuuteen, ja kuitujen väliin jäävän ilman osuus on noin 95 % tuotteen tilavuudesta. Tuotteesta riippuen mineraalivillan lämmönjohtavuus  $\lambda$  on 0,033–0,050 W/mK. [27.]

## 6.1 Lämmöneristysmaaleissa käytetyt raaka-aineet

Alla on esiteltyä, mitä lämmöneristysmaaleissa on käytetty materiaaleina ja raaka-aineina. Lämmöneristämiseen tarkoitettujen pinnotteiden ja maalien ei ole niin tunnettuja, kuin esim. edellä mainitut puukuitueristeet. Eristysmaalien kehitys on kuitenkin alkanut jo 1980- ja 1990-luvuilla nanoteknologian kehityksen myötä. Ulkomailla on kehitystyötä saatukin tehtyä niin, että markkinoilla on jo lämpöä eristäviä maaleja.

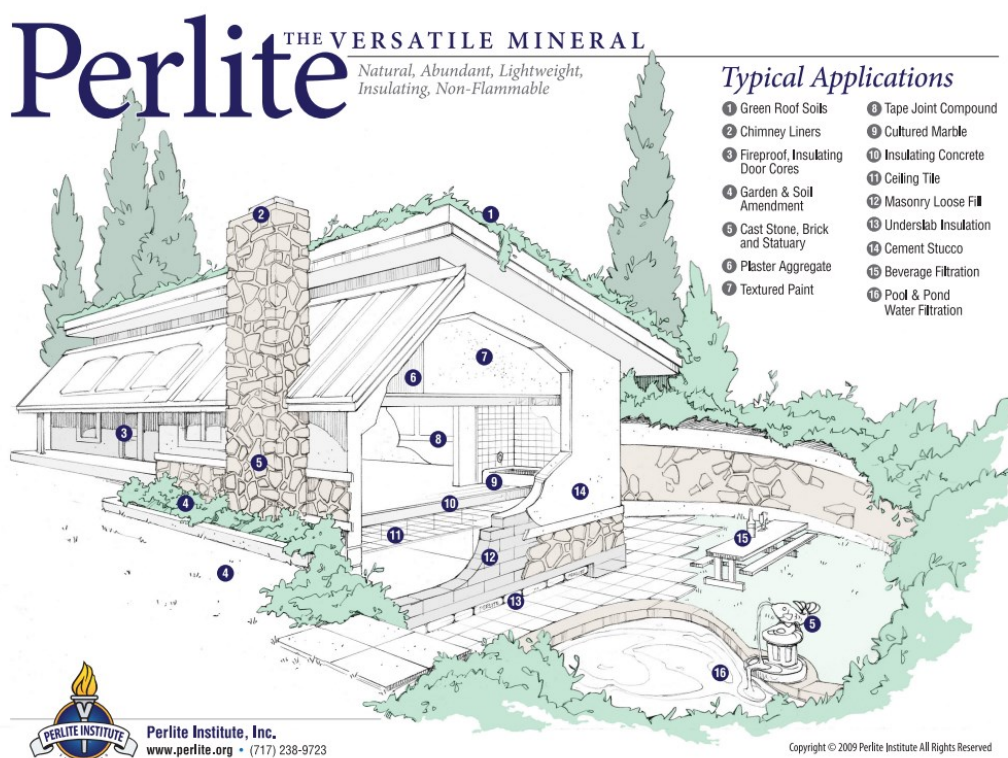
### 6.1.1 Perliitti

Perliitti on luonnossa esiintyvä vulkaaninen kivilaji. Ulkonäöltään se on valkoista pulverimaista ainetta, jonka raekoko on yleensä 1–5 mm. Perliittiä valmistetaan paisuttamalla luonnon perliittikiveä raemaiseen muotoon, ja lämmittämällä

korkeaan 1 100 °C:n lämpötilaan. Tämän vuoksi perliitti laajenee 20-kertaiseksi alkuperäisestä koostaan. [28.]

Perliitillä on monia käyttötarkoituksia. Suurimpina ovat rakennusteollisuudessa esimerkiksi eristysmateriaalina kattopinnoilla, putkien eristyksissä ja muurauslohkoissa. Pulverimaisen perliittieristeen lämmönjohtavuus on luokkaa 0,040 W/mK. Perliitti onkin ihanteellinen rakennustuote, sillä se on palamaton, ääntävaimentava ja myrkytön, joten se on erinomainen eristemateriaali ympäristölle. Kuluttajille perliitti voi olla tuttu puutarhaviljelystä ja teollisissa sovelluksissa sitä käytetään lähinnä lääketeollisuudessa.

Alla olevasta kuvasta voidaan katsoa, missä kaikkialla perliittiä voidaan käyttää, rakenteiden sisä- ja ulkopinnoilla sekä esimerkiksi puutarhassa.



Kuva 3. Perliitin monikäyttöisyys [29].

Perliittiä käytetäänkin siis paljon maaleissa ja pinnoitteissa lämmöneristysmateriaalina. Se on epäorgaaninen materiaali ja se voi säilyttää



ominaisuutensa korkeissakin lämpötiloissa. Se on erittäin kevyt materiaaliltaan, koska sen rakenteessa on paljon avoimia ja sulkeutuneita huokosia, jotka vaikuttavat erinomaiseen lämmöneristysominaisuuteen. Perliitti ei myöskään liukene veteen eikä hajoa. [30].

Syitä, miksi perliittiä käytetään paljon, ovat muun muassa:

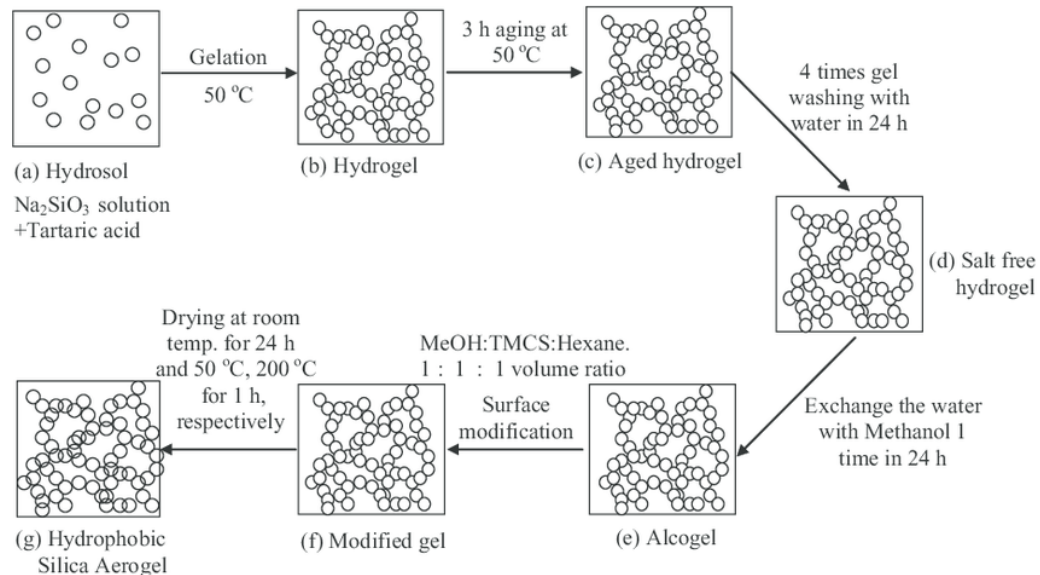
- vähäinen myrkyllisyys, ei aiheuta terveysriskejä kuten esimerkiksi asbesti tai lasikuitu
- perliitin pH on n. 7, eli se ei esimerkiksi syövytä putkistoja
- korkea paloluokitus
- äänenvaimennus ja kosteudenkestävä
- täysin luonnollinen, esimerkiksi USA:n energiaministeriö tukee perliittiä vihreänä rakennusmateriaalina.

Erään tutkimuksen mukaan tutkijat havaitsivat, että 8' tuuman betonilohkoseinän paloaika paranee kahdesta neljään tuntiin, kun lohkot ovat täytetty silikonilla käsitellyillä perliiteillä. [31.]

### 6.1.2 Aerogeeli

Geelimateriaalit koostuvat kiinteistä ja nestemäisistä faaseista, jotka ovat toisistaan riippumattomia. Aerogeeli on nanohuokoista kevyttä materiaalia, jonka valmistukseen käytetään geelimäisiä materiaaleja. Aerogeelin tiheys on tyypillisesti  $0,0011\text{--}0,5\text{ g/cm}^3$ , tyypillisen keskiarvon ollessa n.  $0,020\text{ g/cm}^3$ , eli aineellisesti on hyvin kevyttä. 1960-luvulla aerogeelia käytettiinkin NASAn astronauttien avaruuspuvuissa, mutta nykypäivänä aineesta on tullut yksi eristemateriaaleista. [32.] Aerogeeli on siis hyvin huokoinen materiaali, mutta itsessään sen huokoiset ovat hyvin pieniä, joita ei ihmissilmällä havaitse. Tämä tarkoittaa sitä, että ne hyötyvät paitsi huokosien sisäpuolella olevasta matalasta

lämmönjohtavuudesta, mutta myös siitä, ettei ilma niiden sisällä virtaa helposti, joten se parantaa kykyä toimia lämmöneristeenä. Tätä ilmiötä kutsutaan myös nimellä Knudsenin efekti. [33.]



Kuva 4. Aerogelin valmistusprosessia [34].

Yllä olevasta kuvasta (kuva 4) nähdään, minkälainen valmistusprosessi aerogelilla on.

Aerogeelejä on muutamia erilaisia, kuten esimerkiksi piidioksidia, metallioksidia, hybridi- ja komposiittiaerogeelejä. Näistä piidioksidigeeli on kaikista tutkituin ja tunnetuin muoto. [34.]

Rakentamiseen sovellettavat aerogelieristeet ovat komposiittimateriaaleja, eli ne koostuvat aerogelin lisäksi silikasta ja kuitumaisesta huopamateriaalista. Rakennusten lämmöneristämiseen käytettävien eristeiden lämmönjohtavuus,  $\lambda$ , on erittäin alhainen,  $0,014\text{--}0,015\text{ W/mK}$ . Kuitenkin lämmöneristämiseen tarkoitettuna aerogelin käyttäminen on suhteellisen vähäistä sen korkean hinnan vuoksi. Materiaalin markkinaosuus kolminkertaistui 83 miljoonaan dollariin vuonna 2008 ja viime vuonna arvioitiin sen saavuttavan 1,897 miljardin dollarin arvo. [34.] Siksi tutkimuksetkin kehittyvät edelleen ja uusia tekniikoita

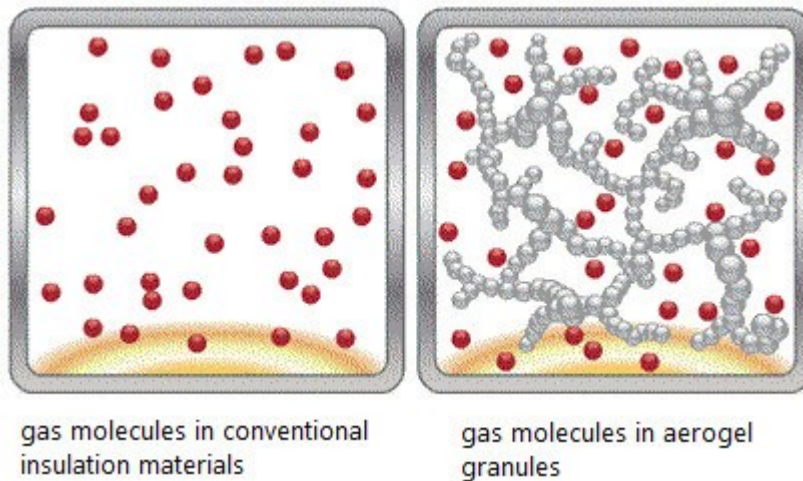
eristystehon parantamiseksi etsitään, jotta myös tuotantokustannuksia voidaan vähentää uusia menetelmiä etsiessä.

Vanhoissa rakennuksissa aerogeelia käytetäänkin lisälämmöneristeenä, ja uudiskohteissa lähinnä rakennetta täydentävänä eristeenä varsinaisen lämmöneristeen rinnalla. Sitä on käytetty ulkomaisten tutkimuksien mukaan menestyksekkäästi sen ominaisuuksien vuoksi, sillä aerogeeli esimerkiksi hidastaa palon leviämistä, sillä on matala lämmönjohtavuus ja pieni tiheys. [35.]

Insulation material	$\lambda$ [W/m.K]
Perlite	0,051-0,053
Wood fibre	0,033-0,043
Wool	0,034-0,042
Cellulose	0,030-0,040
Glass Mineral Wool	0,031-0,044
Expanded Polystyrene (EPS)	0,030-0,038
Extruded Polystyrene (XPS)	0,029-0,039
Polyurethane Foam	0,023-0,032
Aerogel	0,014-0,015

Kuva 5. Erilaisten eristemateriaalien lämmönjohtavuuksia [36].

Kuten yllä olevasta kuvasta (kuva 5) voidaan katsoa, aerogeeli on lämmönjohtavuusarvoltaan paras. Tutkimuksien mukaan aerogeeli onkin yksi tulevaisuuden isoimmista materiaaleista, joita lämmöneristelähteenä tullaan käyttämään. Tähän toki täytyy vielä isoimpana muutoksena alentaa raaka-aineen tuotantokustannuksia.



Kuva 6. Aerogeelin rakenne [36].

Yllä esitetystä kuvasta (kuva 6) on nähtävissä aerogeelin rakennetta, kuinka se jakautuu ja muodostuu. Aiemmin mainittu Knudsenin efekti näkyy myös kuvassa.

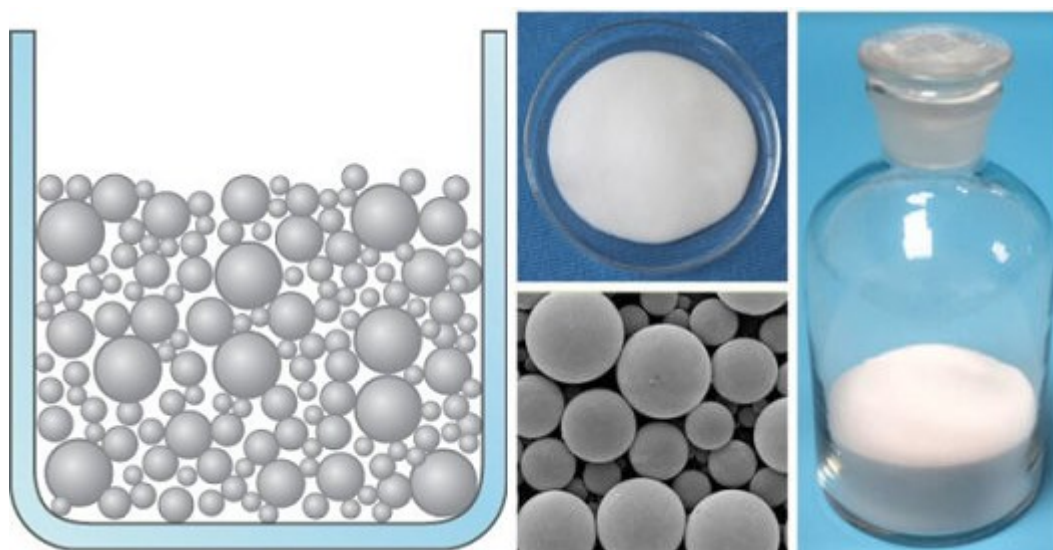
### 6.1.3 Mikropallot

Mikropalloilla on monenlainen käyttötarkoitus teollisuudessa; öljylähteiden porauksissa, kevytmuoveissa ilmailualalla ja kittausmateriaaleissa. Sitä on myös käytetty pinnoiteteollisuuden sovellutuksissa kuten lämmöneristeenä. Orgaaniset ontot mikropallot koostuvat enimmäkseen polystyreenistä, polyakrylinitriilistä tai fenolimateriaaleista, kun taas epäorgaaniset mikropallot ovat joko lasia, keraamisia tai niitä on voitu valmistaa myös lämpövoimaloiden ns. lentotuhkasta. Maaleissa ja pinnoitteissa käytetyt kiinteät tai ontot lasimikropallot yleensä valmistetaan borosilikaattilasista. Yleisiä käyttökohteita ovat epoksipohjamaalit, jauhemaalit ja lentokoneissa käytetyt pinnoitteet. Onttoja lasimikropalloja käytetään lämmöneristyspinnoitteena rakennusmateriaaleissa ja eristyspinnoitteissa, kuten esimerkiksi sisäseinämaaleissa. [37.]

Ontot lasikuulat vievät vähemmän pinta-alaa sekä ne dispergoituvat tasaisesti seokseen. Onttoja lasimikropalloja voidaankin lisätä tutkimuksien mukaan

pinnoitteisiin parantaakseen esimerkiksi kulutuksenkestoa ja lämmöneristävyyttä, joten maalinvalmistajat voivat vähentää esimerkiksi  $\text{TiO}_2$ :n käyttöä ilman suorituskyvyn heikkenemistä. [37.]

Lasikuulien tiheys on yleensä  $0,20\text{--}0,60\text{ g/cm}^3$  ja lämmönjohtavuudeltaan on  $0,05\text{--}0,2\text{ W/mK}$ . Lasikuulat ovat erittäin lujia, kemiallisesti stabiileja ja niitä voidaan sisällyttää laajaan joukkoon polymeerejä tiheyksien vähentämiseksi. [38.]

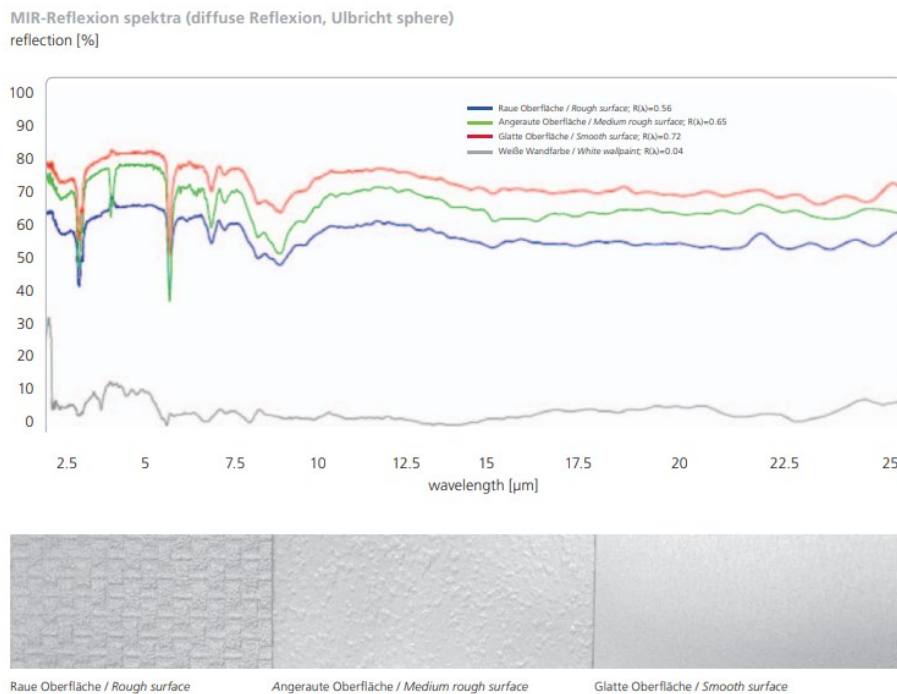


Kuva 7. Lasikuulien rakenne ja ulkomuoto [39 ja 40].

Yllä olevassa kuvassa on esitetty lasikuulien rakennetta, josta huomaa miten niiden partikkelikoko vaihtelee. Oikealla olevassa kuvasarjassa näkyy myös miltä lasikuulat näyttävät myös ihmissilmälle. Testauksessa oli mukana lasikuulaeriste, siitä tarkempi läpileikkauskuva löytyy kuvasta 15.

### 6.1.4 IR-heijastavat pigmentit

Heijastavan alumiinipigmentin ensisijainen tarkoitus on heijastaa infrapunasäteilyä ja pitää esineet viileämpinä kuin tavallisilla pigmenteillä. Vaikka pigmentti ja siten pinnoitteen infrapunaominaisuudet eivät ole näkyvissä ihmissilmälle, ne voivat vaikuttaa paljon käytettävyyteen ja kestävyys. Alumiinipigmentillä on tutkimuksien mukaan yksi korkeimmista infrapunaheijastavuuksista, ja pigmenttejä voidaankin käyttää esim. lakoissa ja seinämaaleissa. Riippuen käyttötarkoituksesta, niitä voidaan käyttää joko lämmöneristeenä tai lämpöä alentavana materiaalina. [41.]

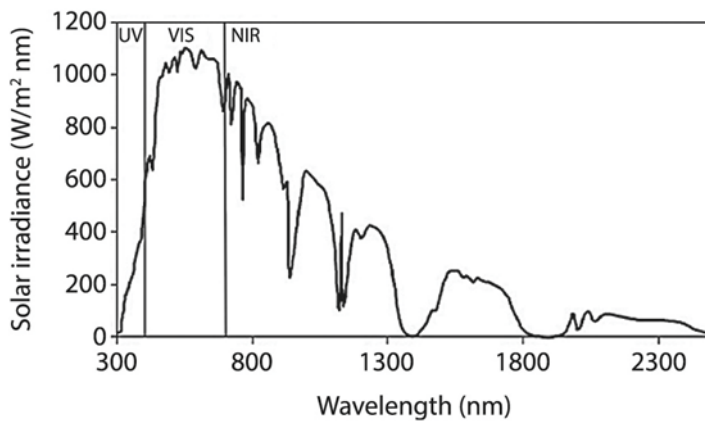


Kuva 8. Tutkimustuloksia heijastavan ja tavallisten pinnoitteiden välillä [41].

Yllä olevassa kuvassa on erään tutkimuksen mukaan testattu alumiinipigmenttiä sekä tavallisia maaleja. Riippuen hieman alustasta ja pigmentistä, heijastusarvot voivat olla jopa yli 50 %. Vertailuna valkoiset tavalliset sisäseinämaalit heijastavat tavallisesti enintään 5 %. [41.]

Säteily luokitellaan kolmeen luokitukseen: ultravioletti, näkyvä sekä infrapuna.

Ultravioletin (295-400 nm) säteilyssä UV-alue alkaa 295 nm:stä, jossa ilmakehän raja-arvo tapahtuu. UV:n osuus on vain noin 5 % auringon energiasta, joka saavuttaa maapallon. UV on merkittävä tekijä esimerkiksi päällysteiden hajoamisessa. Näkyvässä (400-700 nm) säteilyssä noin 50 % auringon energia muodostaa aallonpituudet, joka antavat meille käsityksen näkyvistä väreistä. Infrapunasäteilyssä (700-2500 nm) on 45 prosenttia aurinkoenergiasta infrapuna-alueella. [42].



Kuva 9. Säteily ja sen aallonpituus [42].

Heijastavien alumiinipigmenttien etuina ovat mm. pidemmät elinkaaret, vähemmän lämpöhajoamista ja kattopinnoilla vähemmän lämpöä siirtyy rakennuksiin. Alumiinipigmentit myös vähentävät ns. urban heat island-vaikutusta eli kaupunkien lämpösaareke-ilmiötä ja ilmastointien energiantarve vähenee etenkin päiväntasaajan alueella. Alumiinipigmenteistä tehdyt kattopinnoitteet ovat erittäin kestäviä ja ne voivat kestää jopa 25 vuotta. [43.]

Erään tutkimuksen mukaan sisäseinämaalien, jossa on mukana alumiinipigmenttiä, heijastavuusarvon nousu johtaa huomattavaan energiansäästöön. Koska energiansäästö riippuu myös ulkoseinien pintalämpötiloista, rakennuksien eristys on tärkeä tekijä. Weimarin Bauhaus-yliopiston tekemän tutkimuksen tulokset korostavat suurta potentiaalista energiansäästöä ja sen mahdollisuuksia alumiinipigmenteillä, erityisesti

vanhojen rakennusten osalta. Mitä huonompi rakennuksen lämmöneristävyys on, sitä enemmän voidaan säästää energiaa kyseisellä alumiinipigmentillä. [44.]

## 7 Rakenteiden eristeongelmat

### 7.1 Lämpövuodot

Lämpövuoto tarkoittaa sitä, että jossain rakenteen osassa olevassa kohdassa lämmönsiirtyminen on suurempaa kuin ympäröivässä rakenneosassa. Tämä yleensä johtuu puutteellisista lämmöneristeistä tai huonosti tiivistetyistä elementtisaumoista. Lämpövuotoja voidaan tarkkailla lämpökamerakuvauksella, joka havaitsee missä kohti lämpövuoto sijaitsee. Kuvaus on nopea katsaus rakenteisiin, ollen samalla myös taloudellinen ja rakenteita rikkomaton tapa etsiä rakennuksesta puuttuvat eristeet ja jo aiemmin mainitut kylmäsillat. Lämpökamera havainnollistaa myös esimerkiksi pattereiden ja vesiputkien toimivuudet. [45.]

Ilmavuotojen seuraukset voivat olla merkittäviä. Sisäilman laatu voi heikentyä, asumismukavuus heikentyy, epäpuhtaudet ja hajut kulkeutuvat asuntoon. Kosteuden vaikutuksesta myös mikrobit alkavat muodostamaan rakenteisiin homekasvustoa, josta taas voi seurata merkittäviä terveysongelmia ja -haittoja. [46.]

### 7.2 Kylmäsillat

Kylmäsillat ovat rakenteiden yksittäisiä kohtia, joista löytyy suurempia lämpöhäviöitä. Kylmäsillojen seurauksina voivat olla esimerkiksi mahdolliset suuremmat lämpöhäviöt rakenteissa sekä kondenssiveden kertyminen rakenteisiin, mikä voi johtaa kosteus- sekä homevaurioihin. Nämä taas voivat aiheuttaa vakavia terveysriskejä kuten allergiaa. Kylmäsillat mahdollistavat suurempia lämpöhäviöitä, joten myös asumismukavuus voi heikentyä huomattavasti kylmäsillojen vaikutuksista. Kylmäsilloja on erilaisia, kuten geometrisiä sekä rakenteellisia. Geometrinen kylmäsilta tarkoittaa sitä, että



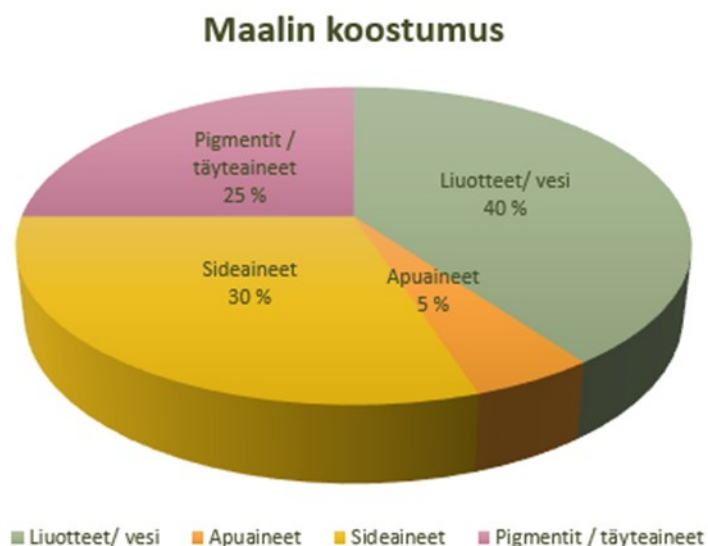
lämpöä luovuttava pinta on huomattavasti suurempi kuin lämpöä vastaanottava pinta. Yleensä geometriset kylmäsillat sijaitsevat rakenteiden nurkissa. Rakenteellinen kylmäsilta taas tarkoittaa sitä, että lämmönjohtavuudeltaan erilaisia komponentteja liitetään yhteen, esimerkiksi eristekerroksien läpäisevät ankkurit, jolloin ankkurien kautta lämpöä virtaa enemmän kuin ympäröivän eristeen kautta. [47.]

Kylmäsillan laskemisen tavoite on selvittää rakenteiden todelliset lämpöhäviöt, jotta voidaan ilmaista todellisen rakenteen ja normirakenteen ero, eli kylmäsillan  $\Psi_k$  -arvo. Kylmäsillojen laskentatapa määritellään normissa EN ISO 10211. Laskemalla kylmäsillojen vaikutukset voidaan paremmin arvioida rakennusten energiankulutusta ja kohdentaa energiankulutuksen kannalta tärkeät rakenteet. [47.]

## **8 Maalit ja niiden kemia**

### **8.1 Maalin koostumus**

Maali on yleensä levitettäessä nestemäistä tuotetta, joka levitettynä muodostaa alustaan tarttuvan ja peittävän kalvon. Maalit ja lakat koostuvat useista erilaisista raaka-aineista, joita on vuosien saatossa myös kehitelty ja muunneltu ympäristöystävällisempään suuntaan. Tärkeimpinä raaka-aineina maaleissa ovat sideaineet, pigmentit ja täyteaineet, liuotteet ja apuaineet. Näillä kaikilla on omat merkityksensä, ja yhdessä ne muodostavat maalin. Alla olevassa kuvassa (kuva 10) on kaavio, josta nähdään prosenttiosuuksin, kuinka paljon mitäänkin raaka-ainetta maali sisältää prosentteina. Suurin osa on siis sideainetta ja liuotetta, mutta myös pigmenteilla on suuri merkitys.



Kuva 10. Maalin koostumus [48].

### 8.1.1 Sideaineet

Sideaine on aine, joka pitää maalikalvon koossa ja kiinnittää sen alustaansa. Sideaineet ovat joko kiinteitä tai nestemäisiä polymeerejä.

Maalien jaottelu perustuu yleensä sideainetyyppiin, esimerkiksi alkydimaalit ja epoksimaalit. Myös sideaineen kuivumistavan mukaan maaleja jaotellaan kolmeen ryhmään: fysikaalisesti kuivuvat, hapettumalla kuivuvat sekä reaktiomaalit. Sideainetyyppejä ovat muun muassa polymeeridispersiot, kaliumvesilasi, silikonihartsit sekä öljyt. [49, s. 5–6]

### 8.1.2 Pigmentit ja täyteaineet

Pigmenttien tehtävä on tuoda maalille peittokyky sekä värisävy. Pigmentti tuo aina tuotteelle UV-säteilyä vastaan suojaa, ja tietyt pigmentit voivat myös tuoda maaleihin korroosionestosuojaa ruostetta vastaan. Valkoisessa maalissa pigmenttinä käytetään yleensä titaanidioksidia ( $\text{TiO}_2$ ). Sitä on käytetty paljon myös kosmetiikassa, esimerkiksi hammastahnoissa. Titaanioksidin käytön ongelmana on sen valmistukseen vaadittava suuri energiamäärä sekä sen

valmistuksesta aiheutuvat ympäristö- ja jäteongelmat, kuten rikkidioksidin, sulfaattien ja klooriyhdisteiden syntyminen.

Pigmentit jaotellaan yleensä orgaanisiin sekä epäorgaanisiin pigmentteihin. Epäorgaanisia ovat esimerkiksi rautaoksidit kuten punamulta ja titaanioksidi. Näiden peittokyky on yleensä hyvä, mutta värjäysvoima ei ole niin hyvä kuin orgaanisilla pigmenteillä. Orgaanisia pigmenttejä ovat esimerkiksi ftalonsiniset ja vihreät, ne ovatkin kirkkaampia kuin epäorgaaniset. Värillisistä pigmenteistä valmistetaan sävytyspastoja, joita käytetään maalien sävytykseen tehtailla ja maalikaupoissa. [49, s. 7].

Täyteaineilla taas on heikompi peittokyky kuin valkoisilla ja värillisillä pigmenteillä. Kuivana täyteaineet ovat yleensä valkoisia, mutta sideaineilla kostutettuina niistä tulee läpinäkyviä. Täyteaineilla säädellään maalin viskositeettia, maalikalvon kovuutta, kiiltoa ja mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Yleisimmin käytetyt täyteaineet ovat kalsiumkarbonaatti, kaoliini ja talkki. [49, s. 7.]

### 8.1.3 Liuotinaineet

Liuotinaineet, joita maaleissa käytetään, jaotellaan yleensä liuotteisiin ja ohenteisiin. Nämä ovat yleensä helposti sekoitettavissa toisiinsa, vaikka molemmilla on omat tehtävänsä maalien suhteen. Liuottimen tehtävänä on tehdä maalista juoksevaa ja helposti levitettävää. Ohenteen tehtävänä taas on vain alentaa maalin viskositeettia, ja yleensä maalit jaotellaankin ohenteen mukaisesti vesi- ja liuotinohenteisiin maaleihin. Orgaanisia liuotteita ovat mm. hiilivedyt, alkoholit, esterit ja ketonit, epäorgaanisia taas vesi. [50.]

Nykypäivänä tuotekehitys on mennyt siihen suuntaan, että vesiohenteisien maalien valmistus ja myynti on kasvanut runsaasti. Vesiohenteisien maalien käytöissä on omia etuja, kuten esimerkiksi nopeampi kuivuminen. Vesiohenteiset maalit ovat myös miellyttäviä työstää mietohajuisuuden takia.

Suurimmalle osasta vesiohenteisista maaleista on myönnetty M1-luokitus, eli tuotteesta ei haihdu juuri lainkaan liuotteita sisäilmaan. Orgaaniset liuotteet ovat haihtuvia yhdisteitä, eli VOC-yhdisteitä, ne haihtuvat maalien kuivuessa ja voivat myös lisätä ilmakehässä otsonin muodostumista. Tässäkin asiassa Euroopan unioni säätelee VOC-päästöjen enimmäismääriä direktiiveillä, eli tiukat rajoitteet ovat myös maaleissa, kuten myös energiatehokkuuksien ja korjausrakentamisen säädöksissä. Sisämaaleissa kuluttajat yleensä tekevät ympäristöystävällisiä valintoja, kuten valitsevat vesiohenteisiä maaleja ja myös arvostavat tuotteiden M1- luokitusta tai muita ympäristömerkkejä.

#### 8.1.4 Apuaineet

Apuaineita on maaleissa yleisesti käytetty todella vähän, vesiohenteisissa maaleissa jopa alle 1 %, mutta käytettäessä ne parantavat maalien ominaisuuksia, kuten maalien säilyvyyttä ja levitysominaisuuksia. Yleisimpiä apuaineita ovat kuivikkeet, paksuntajat, dispergointiaineet, vaahdonestäjät sekä säilöntäaineet. Alkydimaaleissa tarvitaan kuivikkeita, vesiohenteisissa taas säilöntäaineita estämään esim. bakteerien kasvua maalipurkeissa. [49, s. 8.]

## 8.2 Maalien tehtävät

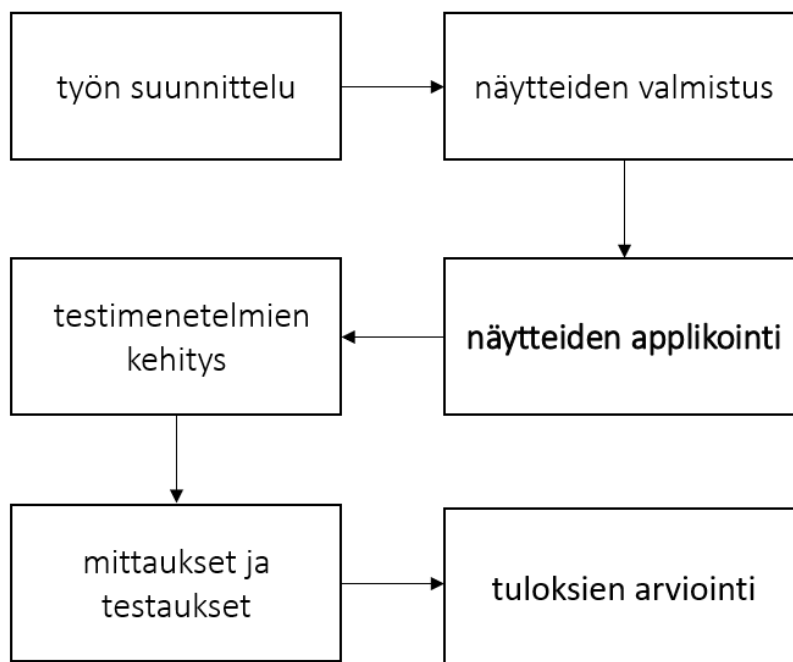
Pintojen maalaamisella pyritään moninasiin erilaisiin tavoitteisiin. Maaleilla on muutamia erilaisia tehtäviä, jotka jaotellaan seuraavanlaisesti:

- suojaustehtävät: maali suojaa laholta, korroosiolta, likaantumiselta sekä rasituksilta
- esteettiset tehtävät: miellyttävä ulkonäkö sekä sellainen värisävy kuin halutaan
- taloudelliset tehtävät: säästetään huolto-, puhdistus – ja hoitokustannuksissa

- eristystehtävät: voidaan eristää kosteutta, säteilyä, tulipaloa sekä kaasuja. [49, s. 8.]

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin tarkastelemaan lämmöneristemateriaalin taloudellisuutta, esteettisyyttä ja eristävyttä. Eristystehtävillä tutkitaan, voidaanko eristää ja sitoa lämpöä erilaisilla materiaaleilla ja taas taloudellisuustehtävissä pohditaan, voitaisiinko näillä ratkaisulla säästää esimerkiksi energiakustannuksissa. Esteettisyyskin on yleensä pääosassa maalien sävyjen kannalta, kuluttajat kun valitsevat yleensä itseään miellyttäviä värisävyjä niin maaleissa kuin tapeteissakin ja panostavat myös visuaalisuuteen.

## 9 Kokeellinen osio



Yllä olevan kaavion pohjalta ryhdyttiin suorittamaan kokeellista osiota. Ensimmäiseksi suunniteltiin kokonaiskuva työstä, jonka jälkeen paneuduttiin näytteiden valmistukseen ja applikointiin. Koska valmista testimenetelmää ei tässä työssä ollut, täytyi sellainen kehittää ja miettiä, minkälainen olisi tässä

tapauksessa toimiva. Lopuksi mitattuja tuloksia arvioitiin, kuinka tässä on onnistuttu.

Kokeellisessa osiossa valmistettiin ensin valmiista maalikaavasta lakkamainen pohja, joka jaettiin kahteen osaan, joihin molempiin lisättiin erilaiset lämpöä eristävät pigmentit jälkilisäyksillä. Lämpöä eristävien pigmenttien raaka-aineet, joita tässä työssä käytettiin, oli versiossa 1 aerogeeli ja versiossa 2 heijastava alumiinipigmentti. Materiaaleina oli myös perliitti kahdessa eri muodossa sekä ontot lasikuulat. Näistä lasikuulat lisättiin jo tuotannossa olevaan valmiiseen maaliin, ja perliitti saatiin valmiina tuotteena.

### 9.1 Näytteiden valmistaminen

Näytteet valmistettiin sisämaalilaboratoriossa. Alussa valmistettiin lakkamainen, kirkas pohja, joka jaettiin kahteen osaan. Toiseen osaan lisättiin aerogeeliä ja toiseen heijastavaa alumiinipigmenttiä. Molemmat eristemateriaalit olivat pulverimaisessa muodossa, joten ne dispergoituivat maalipohjaan. Seuraavassa erässä lisättiin pulverimainen lasikuula. Maalia valmistettiin jokaista yhteensä n. 0,9 l.

Alla olevassa kuvassa (kuva 11) on esiteltyinä sekoitusväline, dissolveri, jonka avulla jauhatettiin pigmentit maalien sekaan. Kyseinen dissolveri on sopiva pienien maalimäärien ja pigmenttien valmistamiseen ja jauhatukseen. Nämä pienemmät dissolverit mahdollistavat maalien valmistuksen ja tuotekehityksen pienemmässä laboratoriomittakaavassa.



Kuva 11. Maalin sekoittaja eli dissolveri

Näytteiden valmistuksissa oli muun muassa pH:n, KU:n sekä ICI:n säädöksissä oltava tarkkaavainen, sillä ne tulivat olla tiettyjen rajojen puitteissa. Maalien viskositeetteja mitataan viskosimetreillä, esimerkiksi Cone & Plate -viskometrillä mitataan nesteitä, joiden viskositeetti vaihtelee 0,2–100 Poisea. Tätä arvoa kutsutaan ICI:ksi. KU-arvoja nestemaaleista mitataan myös, joka antaa arvon Krebbs-yksikkönä. KU-arvon tulisi olla arvoltaan 40–141. [52.]

Maalien valmistusta helpotti se, että tutkijat olivat testanneet jo maalikaavat ja tienneet niiden olevan toimivia, joten kovin suuria muutoksia ei tarvinnut onneksi tehdä. Varastointia seurattiin parin viikon ajan, eikä kovin suuria muutoksia havaittu esimerkiksi pH:n suhteen.

Näytteet levitettiin 300 µm:n paksuisella applikaattorilla pahvilevyille, kooltaan 33 cm x 27,5 cm, ja annettiin kuivua vakiohuoneessa standardin SFS-ISO 3270 mukaisen minimiajan 2 viikkoa. Standardin SFS-ISO 3270 mukaan standardiolosuhteet, joita tulisi mahdollisuuksien mukaan aina käyttää, ovat  $23 \pm 2$  °C sekä suhteellinen kosteus  $50 \pm 5$  %. Näytteitä oli jokaisesta maalista kolme kappaletta rinnakkais- ja toistomittauksia varten, referenssimaaali sekä tyhjä alusta.

## 9.2 Testattavat tuotteet

Testattavina tuotteina oli alla olevan taulukon 1 mukaiset tuotteet, ja oikeassa sarakkeessa on tuotteessa oleva lämmöneristemateriaali.

Taulukko 1. Testiversiot ja niissä käytetyt lämmöneristeteknologiat

	<i>Lämmöneristemateriaali:</i>
Referenssi	
Valkoinen perusmaali	Titaanidioksidi, valkoisen pigmentin vaikutus
Perusmaali, versio 1	Aerogeeli
Perusmaali, versio 2	Heijastava alumiinipigmentti
Tuote 1	Perliitti
Tuote 2	Perliitti, paisutettu partikkelimuoto
Tuote 3	Borosilikaatista valmistettu ontto lasikuula





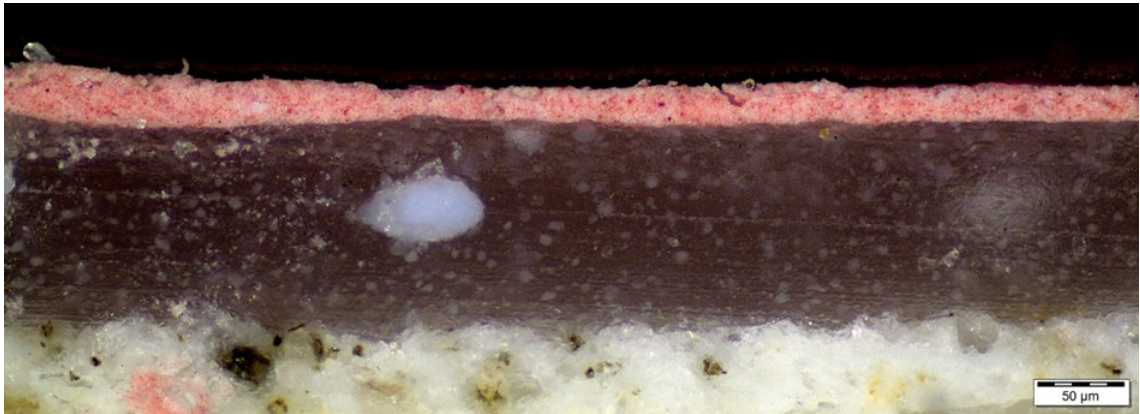
Kuva 12. Vasemmalla ir-pigmenttiä sisältävä maali ja oikealla perliittiä sisältävä maali

Yllä olevassa kuvassa (kuva 12) on esitetty miltä näytteet visuaalisesti näyttävät näytteiden applikointien ja kuivumisen jälkeen. Vasemmalla on heijastava alumiinipigmentti, johon saatiin helmiäishohtoinen sävy, ja oikealla taas on pinnoitemainen maali, joka sisältää perliittiä. Perliitti tekee hieman karkeampaa pintaa, jonka voi havaita mikroskooppikuvasta (kuva 16).

### 9.3 Testattavien tuotteiden mikroskooppirakenteet

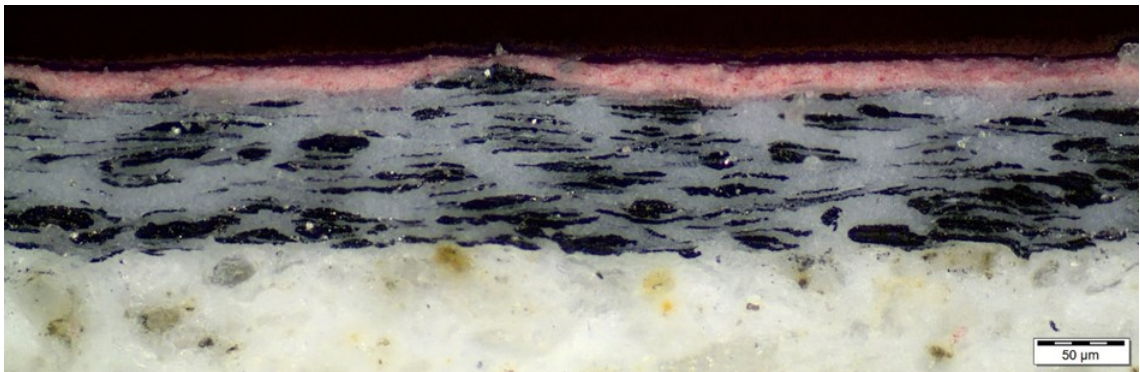
Alla on esitetty mikroskooppikuvat testattavien maalien rakenteesta. Kuvat otettiin 50  $\mu\text{m}$ :n suurennoksella. Kuvien tarkoituksena oli selvittää, ovatko lämmöneristemateriaalit maalin seassa ehjinä ja millä tavalla jakautuneena. Jos materiaalit olisivat vioittuneita, ei mittausmenetelmä ja -tulokset olisi todellisia, sillä materiaalin vaikutusta ei näin ollen voisi todentaa.

Alla olevista kuvista voidaan kuitenkin katsoa, että eristemateriaali on maalien joukossa hyvin sekoittuneena ja näin ollen eristemateriaalin pitäisi olla moitteeton ja toimiva.



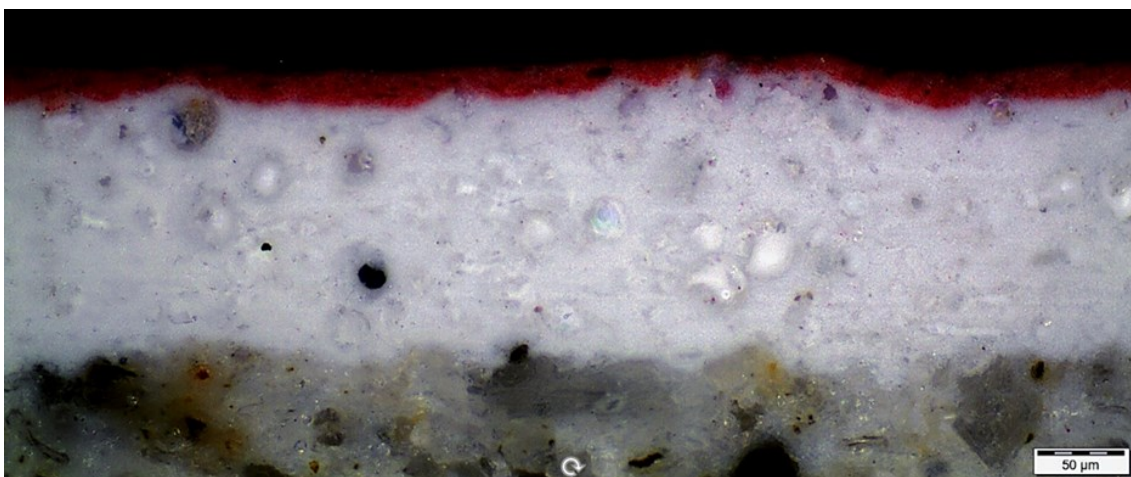
Kuva 13. Versio 1, aerogelin rakenne

Kuvassa 13 näkyy tuote, joka sisältää aerogelia. Aerogelin partikkelikoko vaihtelee 1–20 µm, vaihtuvuuden voi nähdä yllä olevasta kuvasta.



Kuva 14. Versio 2, IR- heijastava pigmentti

Kuvassa 14 on nähtävillä heijastavan alumiinipigmentin läpileikkauskuva. Alumiininen pigmentti näkyy kuvassa säikeisenä ja levymäisenä, joka on sille tyypillinen ominaisuus.



Kuva 15. Lasikuulat tuotteessa

Kuvassa 15 maalin seassa olevat lasikuulat erottuvat selkeästi.



Kuva 16. Perliittiä sisältävä näyte

Kuten yllä olevassa kuvassa näkyy, perliitin rakenne on hieman puuomainen ja tiivis.

## 9.4 Olosuhdetestaus

Sääolosuhdetestauksella voidaan mitata monenlaisia menetelmiä ja sillä saa todentuntuisia olosuhteita aikaiseksi, kuten uv-valoa, sadetusta ja kosteutta. Sääolosuhdekaapin avulla voidaankin testata erilaisia maaleja ja pinnoitteita nopeutetusti, ja näitä kaikkia arvoja voidaan säädellä halutunlaiseksi. Tässä työssä emme tarvinneet kuin lämpötilan säädöksiä, eli kaapin sisältö tuli saada vastaamaan ulkoilman -20 asteen pakkasilmaa. Mittauksen tarkoituksena olikin selvittää, vaikuttaako eristemateriaali virrankulutukseen, jotta voitaisiin mahdollisesti tutkia lämmöneristemateriaaleja tarkemmin ja paneutua jatkokehittämään ideaa. Ajatuksena oli siis saada jokaiselta eri materiaaalilta eri tuloksia, joita olisi verrattu keskenään. Testaus suoritettiin niin, että sääolosuhdekaapin sisälle sijoitettiin eristetty kylmälaukku, jonka sisällä oli tallentava lämpö- ja kosteusmittari, joka mittaa laukun sisällä tapahtuvat lämpötilojen muutokset. Laukun sisältö yritettiin saada vastaamaan normaalia huoneilmaa, n. +20 astetta, lämpöpuhaltimella. Laukun kannessa oli tiiviisti kiinnitetty koealusta, johon oli applikoituna testattava lämmöneristemateriaali. Virtamittari kiinnitettiin puhaltimeen ja näytöltä seurattiin lukemia. Tavoitteena oli saada virrankulutus tasaantumaan ja näin ollen vertailtua tuloksia myöhemmin. Testauksessa tehtiin toistomittauksia sekä rinnakkaisnäytteiden mittauksia.

Toisessa vaiheessa menetelmää muutettiin niin, että laukun sisällä oleva puhallin otettiin pois käytöstä ja seurattiin lämpötilan muuttumista, kun eristetty kylmälaukku tuodaan -20 asteen pakkasesta huoneilmaan, n. +23 asteeseen. Lämpömittari mittaa koko tämän ajan lämpötilan kehitystä ja laskua, että missä ajassa saavutetaan haluttu huoneilman lämpötila. Tällä menetelmällä saatiin myös verrattua, vaikuttaako lämmöneristemateriaali lämpötilan kehittymiseen ja millä aikavälillä. Tulokset luvussa 10.1.1.



Kuva 17. Arctest- sääkaappi ja oikealla eristetyt kylmälaukut

Yllä olevassa kuvassa vasemmalla on esitetty sääkaappi, jota käytettiin olosuhdetestaukseen ja oikealla näkyy eristetyt kylmälaukut. Eristetyt kylmälaukut oli teipattu vielä alumiiniteipillä tiiviiksi, minimoiden mahdolliset lämpöhäviöt. Lämpövuotojen minimoiseksi niitä tarkkailtiin vielä infrapunälämpömittarilla, eikä vuotoja havaittu.

### 9.5 Testaus IR-lampun avulla

Infrapunalamppun avulla mitataan yleensä alustan ja pinnoitteen lämpötilaa, sekä sen johdosta voidaan arvioida, kuinka paljon alustan värisävy heijastaa tai sitoo itseensä lämpötilaa. Vaaleissa väripigmenteissä lämpötila ei juuri kuumene, kun taas tummemmat väripigmentit sitovat lämpöä itseensä. Tämän menetelmän avulla yleensä testataan kattopinnoitteiden ja -maalien heijastavuutta ja lämmönsitoutumista.

Infrapunalamppu on sijoitettu vakioetäisyydelle, 20 cm, testattavasta alustasta, (kuva 18).



Kuva 18. IR-lampulla testausta

Alustalle asennettiin mitattava koelevy, ja koelevyn pinnasta mitattiin minuutin välein lämpötila ja arvot kirjattiin ylös taulukkoon 2. Tulokset luvussa 10.1.2.

Näytteiden ja alustan lämpötila on lähtötilanteessa normaali huonelämpö. Alustana testissä oli pahvilevy, ja yleensä testauksessa käytetään kiviaineslevyjä kuten Cembrit-levyjä. Voi olla, että vääränlainen alusta vaikutti testituloksiin. Cembrit-levyillä tehdään mittaukset 5, 15 ja 30 min testisarjoissa. Pahvi alustana oli hieman haastava, sillä se kuumentui enemmänkin verrattuna kiviainesalustaan, joten 30 minuutin täyttä mittausaikaa sitä ei uskaltanut testata.

Jos IR-testilampun mittaustuloksia verrataan esim. julkisuudessa oleviin samankaltaisiin testauksiin, voidaan huomata, että lämpötilat sijoittuvat samanlaisiin tuloksiin. Yleensä valkoiset pigmentit eivät kuumene juurikaan, sillä ne heijastavat lämpöä kattopinnoilla takaisin ylöspäin, kun taas tummat sävyt, kuten musta ja ruskea, imevät lämmön itseensä. Tässä testissä ei kuitenkaan ollut tummia sävyjä, ainoastaan vaaleita ja valkoisia, sekä heijastava alumiinipigmentti oli vaaleanharmaa.

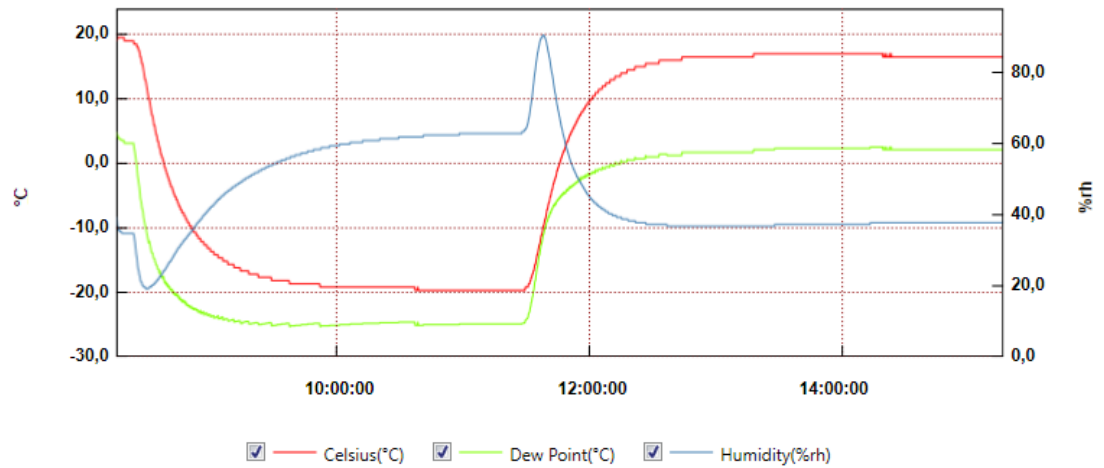
## 10 Tulokset ja pohdinnat

Testatut lämmöneristemateriaalit ovat hyvinkin potentiaalisia vaihtoehtoja energiatehokkuuksien pienentämiseksi, varsinkin kun luotettavia tutkimustuloksia ulkomaillakin on tehty. Tutkimustuloksia tukee myös markkinoilla jo olevat lämmöneristemattealit. Kuluttajat yleensä etsivät helpointa tapaa, ja näillä menetelmillä ei ole tarvetta ryhtyä mittaviin ja kalliisiin korjaus- ja rakentamistapoihin. Ristiriidassa toki on se, että kuinka paljon kuluttajat keskittyvät lämmöneristävyyksiin tai energiatehokkuuksiin itse, vai onko lämmöneristemateriaalien markkinarako isoilla työmailla kuten uudiskohteissa. Tällöin saataisiin varmasti myös tehokkaasti isoja määriä tuotettua.

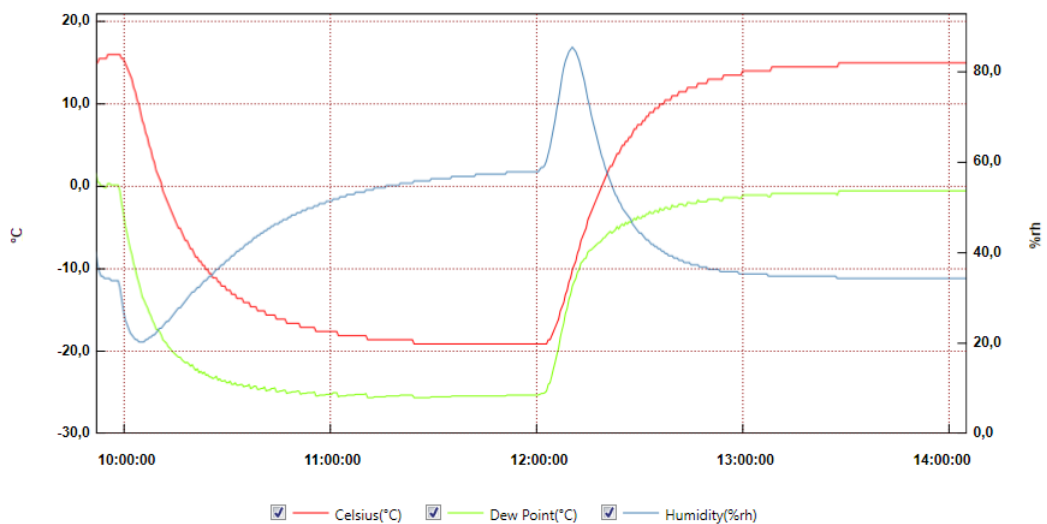
### 10.1 Olosuhdetestaus

Olosuhdetestauksen tuloksia ei oikeastaan voitu pitää tarkkoina, sillä virtamittarimme ei pystynyt mittaamaan niitä luotettavasti. Menetelmää tulikin aluksi etsiä ja miettiä, millä tavoin voitaisiin työ toteuttaa. Ensimmäisessä mittauksessa tehtiin toistomittauksia kahden samanlaisen eristemateriaalin kesken. Virtamittarin tulos pysyi koko mittauksien ajan lukemassa 2,4 W huolimatta siitä, vaihtuiko eristemateriaali. Rinnakkaismittauksissa eri materiaalien kesken lukemat olivat edelleen 2,4 W. Lukemien odotettiin nousevan ja sitä myötä tasaantuvan virrankulutuksen myötä, mutta näin ei valitettavasti tällä menetelmällä tapahtunut. Koska mitään standardia testaamiseen ei ollut, testimenetelmää tuli itse kehittää ja muuntaa tutkimuksen edetessä.

Alla olevissa kuvissa on esitetty graafisesti lämpötilojen muutokset siten, että materiaali on sijoitettu huoneenlämmöstä -20 asteen pakkaseen, ja kun saavutettiin haluttu lämpötila, se tuotiin takaisin huoneenlämpöön.

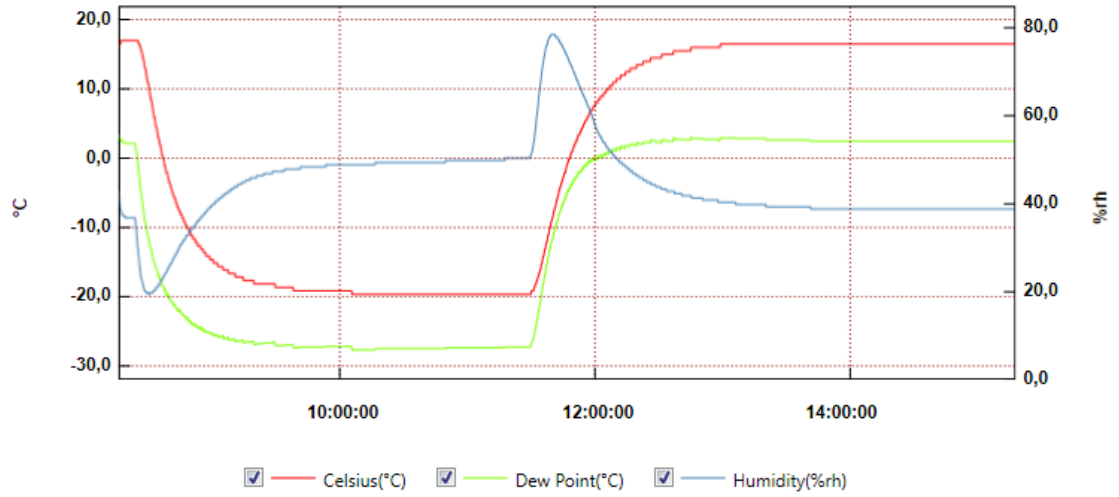


Kuva 19. Aerogelin lämpötilan muuttuminen +20 asteisesta -20 asteen kautta takaisin normaaliin huoneilmaan.

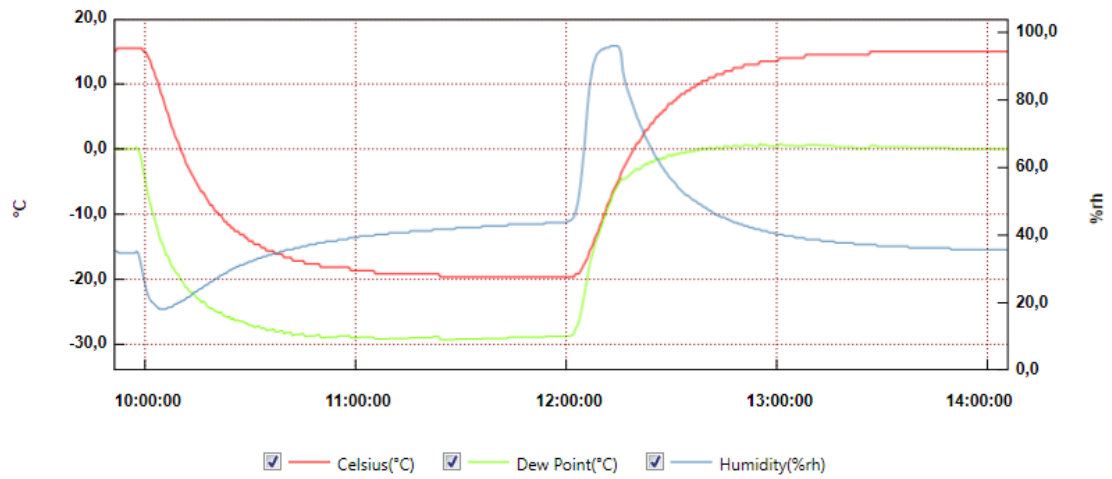


Kuva 20. Referenssimaalin lämpötilan muuttuminen

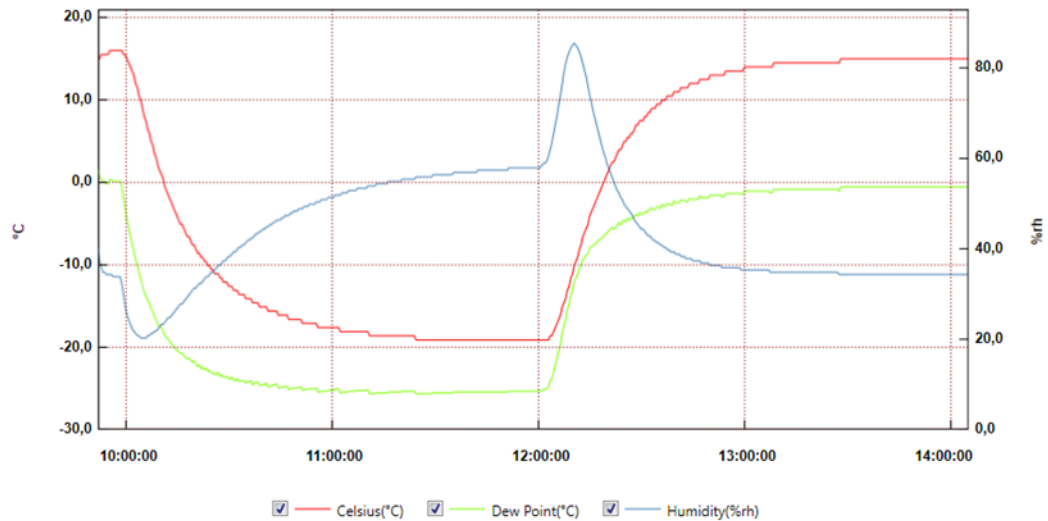




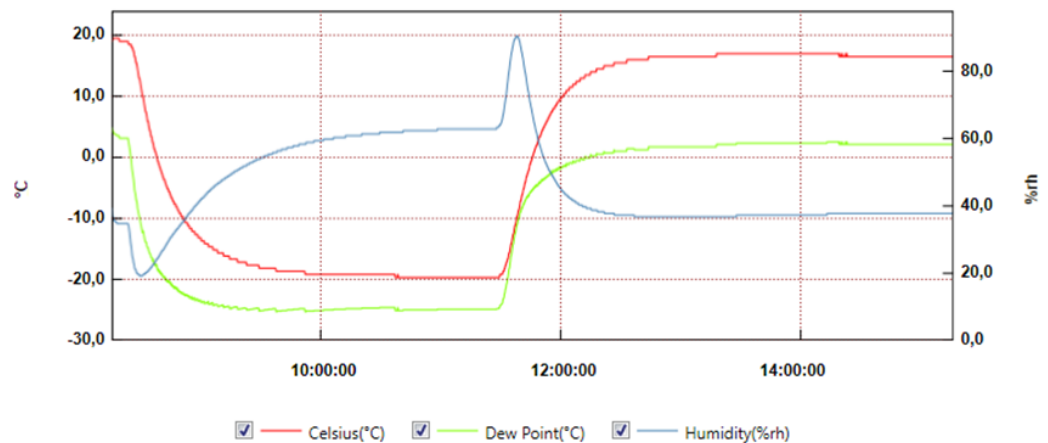
Kuva 21. Paisutettu perliitti, lämpötilan muuttuminen



Kuva 22. Perliitti, lämpötilan muuttuminen



Kuva 23. Alumiinipigmentin lämpötilän muutos

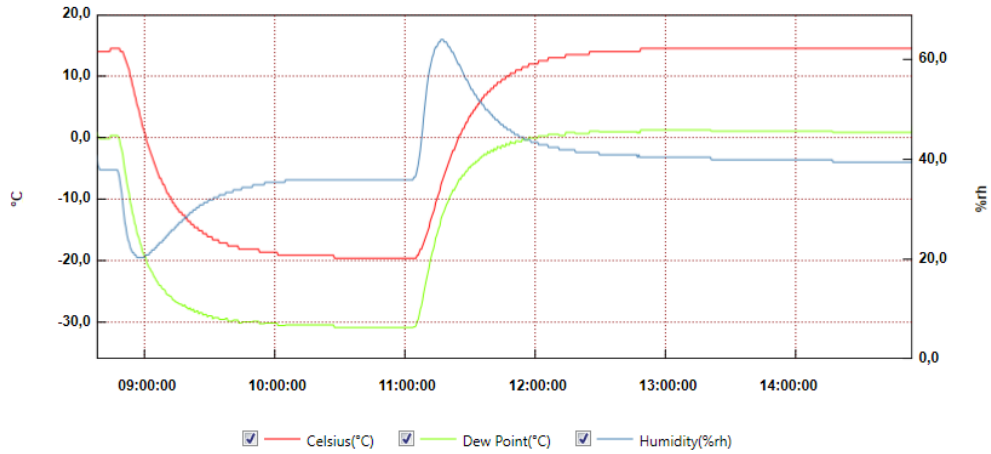


Kuva 24. Onttojen lasimikropallojen lämpötilän muutos

Kuten yllä olevista kuvista havaitaan, kovin suuria eroavaisuuksia ei testattavien materiaalien välillä ole, jotkin näyttävät jopa identtisiltä.

Vertailun vuoksi testisarjassa oli mukana tyhjä koelevy, käytettyjä alustoja paksumpi kappale (kuva 25). Tästäkin voidaan havaita, että materiaalilla ei ole suurta merkitystä lämpötilän puolesta, vaan ainoa ero syntyy kastepisteen osalta (vihreä käyrä) ja ilmankosteuden osalta (sininen käyrä). Tämä voi kertoa

siitä, että näytteiden ominaisuudet itsessään ovat erilaisia. Muutoin punainen lämpötiläkäyrä on melkein jokaisessa testauksessa samankaltainen, vaikka lämpötila oli se arvo, josta haluttiin eroavaisuuksia.



Kuva 25. Vertailuna paksukantinen koelevy

Lämpötilaa ja kosteutta mittaavan anturin asentamisessa oli pieni virhe, sillä toisella mittauskerralla anturi asennettiin mittaamaan 5 sekunnin välein dataa, kun taas toisessa testisarjassa anturi mittasi lukemaa 30 sekunnin välein.

Tämän vuoksi kuvaajia ei voinut loogisesti asettaa päällekkäin, jotta olisi nähnyt suoraan, onko lämpötiläkäyrissä kirjaimellisesti muutoksia.

## 10.2 IR-lamppu

Alla olevassa taulukossa on sijoitettu infrapunalamppun mittaustulokset.

Referenssinä toimi tyhjä, pinnoittamaton pahvialusta.

Taulukko 2. Mitattavan maalatun pinnan lämpötilan kehitys

	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
<i>Referenssi</i>	22.5 °C	60 °C	65 °C	68 °C	70 °C	70 °C
<i>Valkoinen perusmaali</i>	23.5 °C	66 °C	69 °C	69 °C	72 °C	74 °C
<i>Ontto lasikuula</i>	23 °C	56 °C	67 °C	68 °C	68 °C	68 °C
<i>Heijastava alumiinipigmentti</i>	25 °C	68 °C	74 °C	75 °C	76 °C	76 °C
<i>Suljettu perliitti</i>	23.5 °C	70 °C	74 °C	74 °C	75 °C	75 °C
<i>Laajennettu perliitti</i>	21 °C	72 °C	73 °C	75 °C	76 °C	76 °C
<i>Aerogeeli</i>	22.5 °C	66 °C	68 °C	72 °C	72 °C	74 °C

Kuten taulukosta 2 voidaan katsoa, kovin suuria eroja lopputuloksessa ei ollut. Tuloksia verrattiin tämän testisarjan standardiin, eli referenssiin, joka oli siis tyhjä, pinnoittamaton pahvialusta. Kuten aiemmin on mainittu, testialusta voi vaikuttaa tuloksiin myös. Alkutilanteessa näytteillä on melkein sama lämpötila, mutta minuutin aikana esimerkiksi onton lasikuulan ja aerogeelin lämpötilaero on huomattava, n. 10 astetta. Pelkästään tämän kyseisen tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että ontto lasimikropallo olisi muihin verrattuna parhain materiaali.

## 10.3 Virhearviointi

Virhetuloksia syntyi näytteiden valmistuksissa, sillä lämmöneristemateriaalit olivat hyvin puuterimaisia eivätkä ne liuenneet täysin ensimmäiseen maalipohjaan. Materiaali teki maalipohjasta karkeaa ja kuohkeaa, joten kaavaa muutettiin, jotta materiaalit saatiin ongelmitta maaleihin. Myös säädöksiä tuli tehdä, jotta saatiin pH ja viskositeetti kohdilleen. Jälkikäteen pohtiessa ilmiselviä

virheitä tässä ei ole kuitenkaan tehty, sillä kaiken saimme tehtyä, mutta tulokset eivät vain alkuun olleet toivotunlaiset. Sen vuoksi esimerkiksi näytteiden valmistuksien aiheuttamien epävarmuustekijöiden minimoimiseksi valmistetuista näytteistä otettiin mikroskooppikuvat.

Havaintoja virheistä tuli myös testausmenetelmissä. Käytössä ollut virtamittari ei antanut riittävän luotettavia tuloksia, joten mittauksien tulokset vaihtelivat rajusti eikä tästä saanut mitään konkreettista dataa virrankulutuksesta, vaikka lukemia seurattiin ja kirjattiin ylös.

## 11 Yhteenveto

Maali- ja pinnoiteteknologioiden käyttäminen lämmöneristävinä tuotteina tai energiansäästötarkoituksissa eivät ole vielä kovin tunnettuja Suomessa. Erilaiset tutkimukset, pääosin ulkomailta, osoittavatkin, että selkeä kysyntä ja markkinarako näillä kuitenkin on. Kehitystyötä kannattaa ehdottomasti harkita, sillä varsinkin Suomessa nämä ovat hyvin harvassa, toistaiseksi ainakin. Ulkopuolisissa rakenneosissa lämmöneristemaalit ja -materiaalit yleistyvät, mutta sisäpuoliset pinnat ovat jääneet hieman tuotekehityksissä jälkeen. Verrattuna korjausrakentamisiin ja mittavampiin toimenpiteisiin helpompi menetelmä tehostaa energiantehokkuuksia on pintakäsittelymenetelmät kuten maalaaminen. Maalaamisella ei tarvitse siis kajoata rakenteisiin tai niitä rikkoviin menetelmiin, joten sinänsä ei tarvitse ottaa huomioon esim. asbestikartoituksia. Toisaalta maalaamisella ei välttämättä päästä samaan energiatehokkuuteen kuin esimerkiksi lisälämmöneristämällä eikä maalaaminen poista korjaustarvetta, jos rakenteet sitä vaativat. Voidaan myös ajatella, kuinka monta maalikerrosta esimerkiksi aerogeelilla maalattua maalikalvoa vastaa todellisuudessa perinteistä mineraalivillaeristettä. Tässä työssä maalia applikoitiin 150 µm:n suuruudella, ja tavanomaisesti mineraalivillaeristeet ovat minimissään 50 mm:n paksuisia. Vertailuna voidaan ajatella, että lämmöneristemaalia saataisiin yhtä paksu kerros kuin mineraalivillaeristettä jos sillä maalattaisiin jopa 300 kerrosta.

Testimenetelmien etsiminen oli haastavaa, mutta toisaalta ideana tässä työssä ei ollutkaan tehdä valmiista ideasta markkinointikelpoista, vaan tutkia ja etsiä oikeaa tapaa ja sen pohjalta miettiä, antaako työ edellytyksiä tuotekehitystyön jatkamiselle. Tutkimuksen lopputulemana onkin se, että tutkimustyöt vaativat asiantuntemusta ja perehdytystä sekä myös investointeja erilaisiin testilaitteisiin luotettavien tuloksien aikaansaamiseksi.

Kirjallisuuskatsauksen tutkimuksien ja artikkeleiden perusteella oli mahdollista havainnoida, että aerogeeli ja ontot mikropallot olisivat näistä raaka-aineista tulevaisuuden tärkeimpiä eristemateriaaleista. Myös taulukon 2 mukaan tulokset viestivät, että kyseiset materiaalit pärjäisivät erinomaisesti jatkokehityksessä. Se, että miten näitä jatkossa ryhdytään hyödyntämään ja testaamaan, on vielä täysin auki. Yrityksen motiivina aiheen tutkimiseen on varmasti se, että tulevaisuudessa markkinoilla olisi myös ulkomaalaisten toimittajien lisäksi kotimaista, Suomessa kehitettyä tuotantoa.

## Lähteet

- 1 Tikkurila – lähes 160 vuotta kauneutta ja suojaa. Verkkoaineisto. Tikkurila Oyj. <<https://www.tikkurilagroup.com/fi/konserni/historia/>>.
- 2 PPG Industries, Inc. aloittaa Tikkurila Oyj:n hallituksen suositteleman vapaaehtoisen julkisen käteisostotarjouksen Tikkurila Oyj:n osakkeista. Verkkoaineisto. Tikkurila Oyj. <<https://www.tikkurilagroup.com/fi/node/2780/>>.
- 3 Koivula, Kim. 2016. Rakennuksen energiatehokkuus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 Rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/Energiatehokkuus-suunnitteluvaiheessa/>>. Luettu 18.8.2020.
- 5 Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinto. <[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Olemassa\\_olevan\\_rakennuksen\\_energiatehokkuus](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Olemassa_olevan_rakennuksen_energiatehokkuus)>. Luettu 18.8.2020.
- 6 Rakennusten energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/uudisrakentaminen/Energiatehokkuus/>>. Luettu 19.8.2020.
- 7 Energiaselvitys- ja todistus. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/uudisrakentaminen/energiatehokkuus/energiaselvitys-ja-todistus>>. Luettu 19.8.2020.
- 8 Rakennuksen energiatodistus. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinto. <[https://www.ymparisto.fi/fi-firakentaminen/rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Rakennuksen\\_energiatodistus](https://www.ymparisto.fi/fi-firakentaminen/rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus)>. Luettu 19.8.2020.
- 9 Energiaselvitys. Verkkoaineisto. Energiatehokas koti. <<https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/maaraykset/energiaselvitys>>. Luettu 21.8.2020.

- 10 Harju-Heikkilä, Kimmo. 2016. Omakotitalon rakenteiden ja U-arvojen muutokset. Opinnäytetyö. Theseus- tietokanta.
- 11 Rapid U. Verkkoaineisto. Tampere University. <<https://www.tuni.fi/en/research/rapid-u/>>. Luettu 13.10.2020.
- 12 Renovation wave. Verkkoaineisto. European Commission. <[https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave\\_en/](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en/)>. Luettu 22.3.2021.
- 13 A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. 2020. Verkkoaineisto. European Commission. Päivitetty 14.10.2020. Luettu 08.04.2021. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662/>>. Luettu 22.3.2021.
- 14 Europe starts “Renovation Wave”: Clear the renovation backlog in old buildings. Verkkoaineisto. 3M. Luettu 29.3.2021.
- 15 Rousselot, Marie. Energy efficiency trends in buildings. Verkkoaineisto. <<https://www.odyssee-mure.eu/publications/policy-brief/buildings-energy-efficiency-trends.html/>>. Luettu 29.3.2021.
- 16 Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Ympäristöministeriö. 2018.
- 17 Ilmanvaihto ja energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Ympäristöhallinnon verkkopalvelu. <<https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/energiatehokkuus/energiankulutus/Ilmanvaihto/>>. Luettu 02.05.2021
- 18 Lukander, Minna. 2017. Pientalojen rakenteet 1940–1970. Verkkoaineisto. Kulttuuriympäristömme. <[https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Rakennusperinnon\\_hoito/Viisaita\\_korjausperiaatteita/Pientalojen\\_rakenteet\\_19401970\(37826\)/](https://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Rakennusperinnon_hoito/Viisaita_korjausperiaatteita/Pientalojen_rakenteet_19401970(37826)/)>. Luettu 22.9.2020.
- 19 Asbesti. Verkkoaineisto. bestLab. <<https://www.bestlab.fi/asbesti/#Terveyshaitat/>>. Luettu 23.2.2021.
- 20 Kinnunen, Joonas. 2013. 1960–1980-luvun omakotitalojen rakennusvirheet ja niiden korjaus. Opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 21 Suomalaiset talot vuosina 1990–2017. Verkkoaineisto. Raksystems. <<https://www.raksystems.fi/ajankohtaista/suomalaiset-talot-vuosina-1990-2017//>>. Luettu 22.9.2020.



- 22 Honkala, Tomi. 2013. Parvekekannattimen aiheuttama kylmäsilta. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 23 Rakenteiden lämpötekniikka. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka/>>. Luettu 23.2.2021.
- 24 Rakennusten lämpö- ja kosteusteknisiä näkökohtia. Verkkoaineisto.
- 25 Lähdesmäki, Kimmo. 2013. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Verkkoaineisto. RIL 255-2013. <[https://www.ril.fi/media/luku-9\\_rakennusmateriaalit\\_28062013.pdf/](https://www.ril.fi/media/luku-9_rakennusmateriaalit_28062013.pdf/)>. Luettu 19.8.2020.
- 26 PAROC- kivivilla – luonnollisen kestävä eriste. Verkkoaineisto. Paroc. <<https://www.paroc.fi/miksi-kivivilla/>>. Luettu 23.2.2021.
- 27 Walli, Mats. Lamellieristeen hyödyntäminen loivissa kattorakenteissa. 2012. Opinnäytetyö. Theseus- tietokanta.
- 28 Teollisuuden tekninen eristys & energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden\\_tekninen\\_eristys\\_energiatehokkuus.pdf/](https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden_tekninen_eristys_energiatehokkuus.pdf/)>. Luettu 22.8.2020.
- 29 Perlite Institute. 2009. Typical applications. Verkkoaineisto. <<https://www.perlite.org/wp-content/uploads/2018/03/perlite-house.pdf/>>. Luettu 24.2.2021.
- 30 Investigating the use of raw perlite to produce monolithic thermal insulation material, verkkodokumentti. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820326799/>>. Luettu 14.10.2020.
- 31 Gromicko, Nick. Perlite for Insulation. <<https://www.nachi.org/perlite.htm/>>. Luettu 14.10.2020.
- 32 Thomas, Gary. 2012. What is aerogel? Theory, properties and applications. Verkkoaineisto. <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6499/>>. Luettu 14.10.2020.
- 33 Jaakkola, Tomi. Turvalliset ja toimivat julkisivut korkeissa rakennuksissa. 2017. Opinnäytetyö. Theseus- tietokanta.
- 34 Bangi, Uzma K H. A new route for preparation of sodium-silicate-based hydrophobic silica aerogels via ambient-pressure drying. 2008. Verkkoaineisto. ResearchGate.

- <[https://www.researchgate.net/figure/Preparation-of-the-hydrophobic-silica-aerogels\\_fig1\\_258304825/](https://www.researchgate.net/figure/Preparation-of-the-hydrophobic-silica-aerogels_fig1_258304825/)>. Luettu 9.11.2020.
- 35 Croitoru, Cristiana; Melita, Larisa. Aerogel, a high-performance material for thermal insulation - A brief overview of the building applications. 2019. Verkkoaineisto. <[https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/37/e3sconf\\_clima2019\\_06069.pdf/](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/37/e3sconf_clima2019_06069.pdf/)>. Luettu 9.11.2020.
  - 36 Kirilmi, Elis. 2017. Aerogel Technology in Construction Business. Verkkoaineisto. LinkedIn. <<https://www.linkedin.com/pulse/aerogel-technology-construction-business-elis-k%C4%B1r%C4%B1ml%C4%B1/>>. Luettu 16.2.2021.
  - 37 Gade, Sagar. 2011. Application of Hollow Microspheres in Coatings. Verkkoaineisto. PCI Paint and Coatings Industry. <<https://www.pcimag.com/articles/93074-application-of-hollow-microspheres-in-coatings/>>. Luettu 10.3.2021.
  - 38 3M™ Glass Bubbles. Product Information. Verkkoaineisto. <<https://multimedia.3m.com/mws/media/91049O/3m-glass-bubbles-k-s-and-im-series.pdf/>>. Luettu 11.3.2021.
  - 39 3M™ Glass Bubbles. <[https://www.3m.com/3M/en\\_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Glass-Bubbles-S38XHS/?N=5751+4294875826&rt=d/](https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/3M-Glass-Bubbles-S38XHS/?N=5751+4294875826&rt=d/)>. Luettu 17.3.2021.
  - 40 Made in China, Ultra-Light Hollow Glass Microspheres in Epoxies. <<https://www.made-in-china.com/showroom/glass-microsphere/product-detailbvcJKrRuJPYg/China-Ultra-Light-Hollow-Glass-Microspheres-in-Epoxies.html/>>. Luettu 17.3.2021.
  - 41 Off-White Aluminium Pigments for IR-Reflective Paints. Verkkoaineisto. Eckart Effect Pigments. <[http://www.chemcam.it/eckart\\_ireflex.pdf/](http://www.chemcam.it/eckart_ireflex.pdf/)>. Luettu 20.8.2020.
  - 42 Introduction to IR-Reflective Pigments. 2005. Verkkoaineisto. PCI Paint and Coatings Industry. <<https://www.pcimag.com/articles/83468-introduction-to-ir-reflective-pigments/>>. Luettu 17.11.2020.
  - 43 Bendiganavale, Ashwini; Malshe Vinod C. 2008. Infrared Reflective Inorganic Pigments. Verkkoaineisto. Recent Patents on Chemical Engineering. <[http://busseiqanda.la.coocan.jp/Infrared\\_reflecting\\_pigment.pdf/](http://busseiqanda.la.coocan.jp/Infrared_reflecting_pigment.pdf/)>. Luettu 8.3.2021.

- 44 Maul, Robert. 2012. IR-reflective pigment helps conserve energy. Verkkoaineisto. PCI Paint & Coatings Industry. <<https://www.pcimag.com/articles/96268-ir-reflective-pigment-helps-conserve-energy/>>. Luettu 17.11.2020.
- 45 Rakennuksen lämpökuvaus on puolueeton tutkimus. Verkkoaineisto. Raksystems. <<https://www.raksystems.fi/ajankohtaista/rakennuksen-lampokuvaus-on-puolueeton-tutkimus/>>. Luettu 18.11.2020.
- 46 Sarja, Asko. Rakennuksen tiiviys. Verkkodokumentti.
- 47 Schoeck, Rakennusfysiikan käsikirja, rakennusten kylmäsillat. 2015.
- 48 Metropolia Ammattikorkeakoulu, oppituntimateriaali – Maalikemia.
- 49 Tikkurila Paints, Maalit ja Värit. 1999. Tikkurila Paints Oy. Vantaa.
- 50 Lapinkangas, Suvi. Vesiohenteisista maaleista peräisin olevan maalisakan hyödyntäminen. 2020. Pro gradu- tutkielma. Oulun yliopisto.
- 51 Ahonen, Taisto. 1991. Maalaustyöt 1. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 52 Räihä, Mikael. 2015. Nestemaalituotannon laadunvalvonnan parantaminen. Opinnäytetyö. Theseus- tietokanta.