

Minna Anttalainen

# Luonnonmukaisten lämmöneristeiden käyttö uudis- ja korjausrakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

24.1.2019

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Minna Anttalainen Luonnonmukaisten lämmöneristeiden käyttö uudis- ja korjausrakentamisessa 35 sivua + 1 liite 24.1.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Aarne Seppänen Projektipäällikkö Jukka Reinikainen
<p>Kiinnostus hengittäviä rakenteita kohtaan on lisääntynyt viime vuosina paljon ja luonnonmukaisten eristeiden käyttö rakentamisessa koetaan jälleen varteenotettavan vaihtoehtona epäorgaanisten eristeiden rinnalla. Opinnäytetyö toteutettiin IdeaStructura Oy:lle. Aihe valikoitui tarpeesta saada lisää tietoa luonnonmukaisten eristeiden käytöstä rakentamisessa, sekä omasta kiinnostuksestani aihetta kohtaan.</p> <p>Opinnäytetyön alussa tutkittiin luonnonmukaisten eristeiden eroja muihin Suomessa paljon käytettyihin eristeisiin nähden, sekä eroja hengittävän ja ei hengittävän rakenteen välillä. Tämän jälkeen tutustuttiin nykypäivänä eniten käytettyjen luonnonmukaisten lämmöneristeisiin ja niiden ominaisuuksiin, joita lopuksi vertailtiin keskenään.</p> <p>Työn loppuosassa keskityttiin tutkimaan hengittävien rakenteiden käyttömahdollisuuksia puurakenteisten pientalojen uudishankkeissa, sekä vanhojen puurakenteisten pientalojen korjauksissa, joissa on hengittävä rakenne jo ennestään. Eristeiden käyttömahdollisuuksia tutkittaessa keskityttiin ylä- ja alapohjien, sekä ulkoseinien eristämiseen.</p> <p>Tutkimusmenetelminä käytettiin pääasiassa kirjallisuus- ja internet-lähteitä.</p>	
Avainsanat	Lämmöneristeet, ekorakentaminen, hengittävä rakenne, pientalot

Author Title Number of Pages Date	Minna Anttalainen Use of Natural Thermal Insulation in New and Refurbishment Construction 35 pages + 1 appendice 24 January 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Aarne Seppänen, Senior Lecturer Jukka Reinikainen, Project Manager
<p>Interest for humidity regulating structures has grown in recent years a lot and the use of natural thermal insulations in building is once again considered as a worthy option alongside with inorganic thermal insulations. The present study was done for IdeaStructura Ltd. The topic was chosen for the need to get more information about natural thermal insulation usage in building.</p> <p>First, the different thermal insulations used in Finland were studied as to for example how breathable structures differ from non-breathable. Next, the most used thermal insulations and their features were studied and compared.</p> <p>In the end the focus was focus on studying the usage of humidity regulation structures in wooden single-family houses and how they are used in repairing old wooden single-family houses when there is already a breathable structure in place, focusing on insulating the attic and base floor and walls.</p> <p>The study was for the most part carried out as a literature research.</p>	
Keywords	Thermal Insulation, Natural Building, humidity regulating structure, single-family house

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämmöneristeiden erot	2
2.1	Orgaaniset eristeet	2
2.2	Mineraalivilla	3
2.3	Synteettiset lämmöneristeet	5
2.3.1	Polystyreeni	5
2.3.2	Polyuretaani	7
3	Hengittävä rakenne	9
4	Lämmöneristemateriaalit	10
4.1	Puupohjaiset eristeet	10
4.1.1	Sahanpuru ja kutteri	11
4.1.2	EHTA-eriste	12
4.1.3	Huokoinen puukuitulevy	13
4.1.4	Puukuituvilla	14
4.1.5	Hunton Nativo	15
4.2	Hamppusilppukevytbetoni	17
4.3	Pellavaeriste	18
4.4	Lampaanvillaeriste	19
4.5	Olki	20
5	Lämmöneristeiden vertailu	23
5.1	Lämmönjohtavuus	23
5.2	Tiheys	25
5.3	Hinta	25
6	Lämmöneristeet uudisrakentamisessa	27
6.1	Yläpohjan lämmöneristys	27
6.2	Alapohjan lämmöneristys	28
6.3	Ulkoseinien lämmöneristys	28
7	Lämmöneristeet korjausrakentamisessa	30

7.1	Yläpohjan lämmöneristys	30
7.2	Alapohjan lämmöneristys	31
7.3	Ulkoseinien lämmöneristys	31
8	Yhteenveto	33
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Levymäisten lämmöneristeiden vertailu	

## Sanasto

### Diffuusio

Vesihöyryn diffuusio tarkoittaa vesihöyryn osapaine-erojen tasaantumista huoneilmassa tai rakenteen läpi. Suurempi paine pyrkii tasoittumaan pienempään paineeseen päin.

### Johtuminen

Johtumisessa lämpö siirtyy liike-energian edetessä molekyylistä toiseen. Esimerkkinä metallikappale jota lämmitetään toisesta päästä, kuumenee johtumisen takia myös kappaleen toinen pää.

### Kondensoituminen

Vesihöyryn kondensoitumisella tarkoitetaan ilman vesihöyryn tiivistymistä nesteeksi. Tiivistyminen alkaa lämpötilan mennessä ympäröivän ilman kastepisteen alapuolelle, jolloin ilman suhteellinen kosteus on 100 %.

### Konvektio

Konvektio tarkoittaa lämmön liikkumista liikkuvan aineen, kuten ilman tai veden virtauksen mukana. Konvektio voi olla pakotettua tai luonnollista. Pakotetussa konvektiossa lämpö liikkuu jonkin muun voiman, kuten tuulen vaikutuksesta. Luonnollinen konvektio johtuu molekyylien tiheyseroista. Kun molekyylit lämpenevät, niiden tilavuus kasvaa ollen kevyempiä kuin viileämmät molekyylit. Tämän takia lämpimämmät molekyylit nousevat ylöspäin. Konvektio tarkoittaa myös vesihöyryn konvektiota. Siinä vesihöyry siirtyy ilmavirran mukana rakenteen eripuolilla vallitsevan paineerojen vaikutuksesta. Paine-eroihin vaikuttaa esimerkiksi lämpötilaerot, tuuli ja ilmanvaihto. Vesihöyryn konvektiota voi tapahtua raoissa ja huokoisissa materiaaleissa.

## Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuus kuvaa materiaalin kykyä johtaa lämpöä. Lämmönjohtavuuden tunnus on  $\lambda$  ja yksikkö  $W/(m \cdot ^\circ C)$ . Mitä pienempi materiaalin  $\lambda$ -arvo on, sitä huonommin se johtaa lämpöä.

## Lämmönvastus

Lämmönvastus on lämmönjohtavuuden käänteisarvo, joka on kerrottu materiaalin paksuudella. Lämmönvastuksen tunnus on  $R$  ja yksikkö  $W/(\text{^\circ C} \cdot m^2)$ .

## Säteily

Säteilyssä lämpö siirtyy lämpösäteilyn eli sähkömagneettisen säteilyn avulla kappaleeseen. Esimerkiksi takan lämpö kulkeutuu ihmiseen pääasiassa säteilemällä.

## U-arvo

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin kuvaa neliömetrin suuruisen rakenteen läpi kulkevaa lämpövirtaa rakenteen lämpötilan ollessa  $1 \text{ }^\circ C$ . U-arvo on rakennekerrosten lämmönvastusten käänteislukujen summa. Mitä pienempi U-arvo, sitä parempi lämmöneristävyys rakenteella on. Lämmönläpäisykerroimen yksikkö on  $(\text{^\circ C} \cdot m^2)/W$ . U-arvoa edelsi K-arvo, jonka lascutapa oli hieman erilainen.

## 1 Johdanto

Kiinnostus luonnollisia lämmöneristeitä kohtaan kasvaa koko ajan. Vanhoja taloja halutaan nykyään korjata ja lisäeristää perinnemateriaaleja käyttäen tai nykyaikaisemmillä luonnonmukaisilla tuotteilla, jotta rakennuksen hengittävä rakenne säilyisi. Samaan aikaan uudiskohteita rakennetaan ekomateriaaleista. Tähän löytyy monia syitä: osa ihmisistä haluaa rakentaa kotinsa materiaaleista, jotka kuormittavat mahdollisimman vähän luontoa. Osalle ihmisistä rakennusmateriaalien hengittävyys on pääasia materiaalien valinnassa. Myös sisäilmaoireista kärsivät ihmiset ovat viime aikoina rakentaneet tai rakennuttaneet taloja luonnollisia materiaaleja käyttäen.

Hengittävän ja hengittämättömän rakenteen hyödyt ja haitat jakavat mielipiteitä voimakkaasti. Osa ihmisistä luottaa moderneihin, hengittämättömiin materiaaleihin, kun samaan aikaan osa ihmisistä haluaa rakentaa mahdollisimman perinteisillä materiaaleilla.

Opinnäytetyö on toteutettu IdeaStructura Oy:lle, joka on suomalainen, vuonna 2011 perustettu rakentamisen asiantuntijapalveluita tarjoava yritys. Opinnäytetyön aihe valikoitui yrityksen tarpeesta saada lisätietoa markkinoilla olevista luonnollisista raaka-aineista valmistetuista lämmöneristeistä ja niiden käyttömahdollisuuksista, sekä omasta kiinnostuksestani ekorakentamista kohtaan.

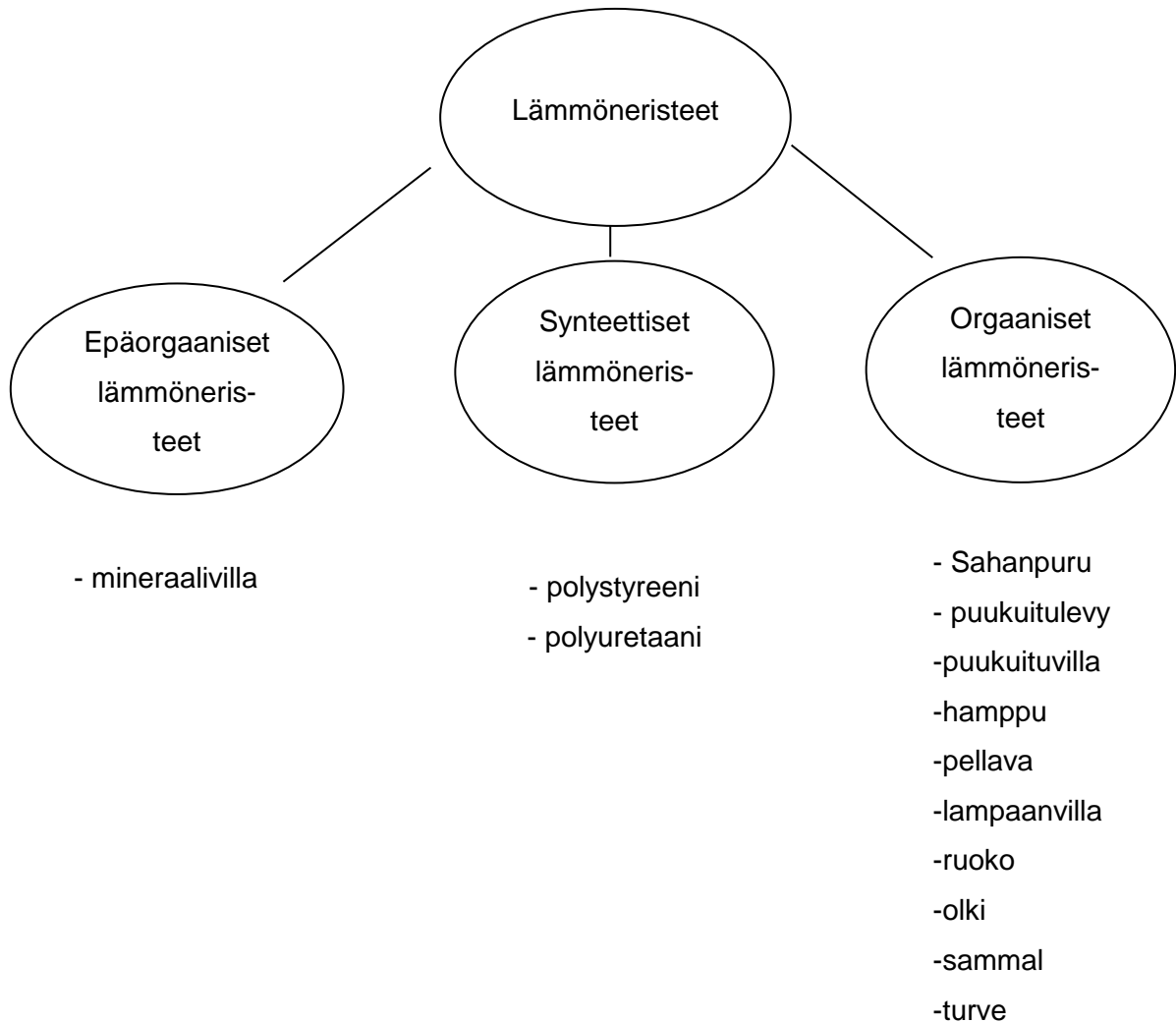
Työn alussa tutkitaan orgaanisten, epäorgaanisten ja synteettisten eristeiden eroja ja käyttömahdollisuuksia rakentamisessa. Myöhemmin työssä käydään läpi mitä hengittävä rakenne tarkoittaa ja sen hyviä ja huonoja puolia. Tämän jälkeen työssä perehdytään tarkemmin nykypäivänä eniten käytettyihin, sekä Suomessa vielä uusiin hengittäviin eristeisiin ja vertailtiin niiden keskeisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat eristeen valintaan. Työn loppuosassa keskityttiin tutkimaan hengittävien lämmöneristeiden käyttöä puurakenteisten pientalojen uudis- ja korjausrakentamisessa.

Opinnäytetyön lähdemateriaalina käytettiin pääasiassa kirjallisuus- ja internet-lähteitä.



## 2 Lämmöneristeiden erot

Lämmöneristeet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: orgaanisiin lämmöneristeisiin, epäorgaanisiin lämmöneristeisiin ja synteettisiin lämmöneristeisiin. [1. s. 482.]



Kuva 1. Lämmöneristeiden jakautuminen orgaanisiin, epäorgaanisiin ja synteettisiin lämmöneristeisiin. [1. s. 482.]

### 2.1 Orgaaniset eristeet

Luonnollisista raaka-aineista, eli puusta tai luonnonkuituista valmistetut eristeet saadaan joko suoraan luonnosta tai valmistettua vähäisellä jalostuksella luonnon materiaaleista. Orgaaniset eristeet ovat luonnostaan hengittäviä materiaaleja. Ne pystyvät sitomaan ja luovuttamaan kosteutta menettämättä lämmöneristyskykyään. Nämä kosteutta

hyvin sitovat eristeet ovat toisin sanoen hygroskooppisia. Orgaanisia eristeitä ovat esimerkiksi olki, sammal, sahanpuru, ruoko ja puukuituvilla. [2. s. 154-155.]

Vanhimpia orgaanisia lämmöneristysmateriaaleja ovat puu, turve ja sammal, joissa nykypäivänä yleisesti käytössä on enää puu, joka toimii hirsirakenteissa lämmöneristeenä ja kantavana rakenteena. Sahanpurua alettiin käyttämään lämmöneristeenä 1900-luvun alussa. [3. s. 83.]

Suomessa uusimpia markkinoille tulleita orgaanisia eristeitä ovat lampaanvilla ja hamppusilppukevytbetoni.

## 2.2 Mineraalivilla

Mineraalivillaa alettiin valmistamaan Yhdysvalloissa 1800-luvun loppupuolella jätekuonasta. Suomeen ensimmäiset mineraalivilla saapui 1940-luvulla. Levymäisiä mineraalivilloja alettiin käyttämään 1950-luvulla, jolloin eristeen käyttö rakentamisessa lisääntyi huomattavasti. Puhallettavat mineraalivillat tulivat markkinoille 1970- ja 1980-lukujen taitteessa. Nykyään mineraalivillat ovat Suomessa eniten käytettyjä eristeitä. Suomessa valmistetaan sekä kivi- että lasivillaa. Muualla maailmassa valmistetaan myös kuona- ja silikaattivilloja, jotka ovat suomessa harvinaisempia. [1. s. 500-502; 4. s. 217.]

Mineraalivilla ei ole hengittävä materiaali, mutta se läpäisee vesihöyryä. Se ei siis pysty sitomaan itseensä kosteutta, joten kosteus on siinä joko vesihöyrynä tai tiivistyneenä nesteinä. Tämän takia villa menettää eristyskykyään kastuttuaan. Jotta talon sisäpuolelta tuleva kosteus ei pääsisi mineraalivillan ja näin ollen tiivistymään kylmälle pinnalle, käytetään höyrynsulkumuovia eristeen sisäpinnassa. [1. s. 503.]

Lasivillan valmistukseen käytetään noin 60-70 % kierrätyslasia, kvartsihiekkää, soodaa ja kalkkikiveä. Kivivillan käytetään puolestaan emäksisiä kivilajeja. Eri valmistusmateriaalien takia lasi- ja kivivillan värit poikkeavat toisistaan. Lasivilla on keltaista ja kivivilla yleensä vihertävää, harmaata tai rusehtavaa. Mineraalivillat valmistetaan sulattamalla valmistusaineet massaksi, jotka muutetaan kuiduksi eri valmistusmenetelmiä käyttäen. Vedenhylkivyyden ja pölynsidonnan parantamiseksi mineraalivilloihin lisätään sideaineksi 0-15 % fenolihartsia. Lasi- ja kivivilla eroavat toisistaan jonkin verran myös esimerkiksi kuivumiskyvyn ja käsiteltävyyden osalta [4. s. 217-218; 2. s. 152.]



Kuva 2. Kivivillasta valmistettu palonsuojalevy

Pinnoittamattomina mineraalivillat hyväksytään joko palamattomiksi tai lähes palamattomiksi tuotteiksi. Palotilanteessa mineraalivilloista haihtuu sideaineet noin 200 °C:ssa. Kovemmissa lämpötiloissa Mineraalivillan kuidut alkavat pehmetä. Sideaineettomia mineraalivilloja valmistetaan paloteknisesti vaativiin olosuhteisiin. Mineraalivillasta valmistetaan monenlaisia eristeitä eri käyttötarkoituksiin, kuten lämmöneristeitä, tuulensuojalevyjä, palonsuojaeristeitä ja akustiikkalevyjä. [4. s. 218-220.]

Mineraalivillat eivät maadu eikä niitä voida kierrättää. Hukkapalat voidaan käyttää puhallusvillana tai maanrakennustöissä keventävänä rakenteena. Mineraalivilloja käsitellessä tulee suojautua P2-luokan hengityssuojaimella ja välttää ihokosketusta eristeeseen. Mineraalivillapöly aiheuttaa silmien, ihon ja limakalvojen ärsytysoireita osalle ihmisistä. [4. s. 222; 2. s. 153.]

Kivivillat ovat lasivilloja noin puolet painavampia. Pehmeiden mineraalivillojen tiheys on yleensä 10-35 kg/m<sup>3</sup> ja jäykkien levyjen yleensä 45-250 kg/m<sup>3</sup>. Mineraalivillojen lämmönjohtavuus on noin 0,033-0,050 W/(m·°C). [4. s. 218-220.]



Kuva 3. Lasivillaa

### 2.3 Synteettiset lämmöneristeet

Synteettisten lämmöneristeiden valmistus aloitettiin toisen maailmansodan jälkeen. Ne ovat vaahtomuovista valmistettuja, kevyitä ja joustamattomia eristeitä, jotka voidaan asentaa myös suoraan maata vasten. Synteettiset lämmöneristeet muodostavat muita eristeitä tiiviimmän höyrynsulun. Niiden eristävyys perustuu siihen, ettei ilma pääse liikkumaan pienissä suljetuissa ilmakuplissa. [1. s. 537-538.]

#### 2.3.1 Polystyreeni

Polystyreeni on vanhin muovista valmistettu eriste. Polystyreenieristettä voidaan valmistaa muottimenetelmällä, jolloin puhutaan EPS-eristeistä (*expanded polystyrene*) eli tutummin styroxista. Muottimenetelmässä polystyreenihelmet paisutetaan pentaanin ja lämmön avulla suuremmiksi rakeiksi. Levyjä valmistetaan myös liukuvaluna, mutta muottivaluna tuotetut levyt ovat tasalaatuisempia ja tiivispintaisempia. EPS-eristeet jälkikutistuvat hiukan pentaanin haihduttua ja korvauduttua ilmalla. Vaativiin eristykseen tehdyissä tuotteissa pyritään enintään 0,2 prosentin kutistumaan. Eristettä voidaan käyttää esimerkiksi eristeenä ylä- ja alapohjissa, seinissä ja routaeristeinä sekä irtonaisina paisutettuina helminä. EPS ei ole kovin joustavaa, jonka takia se ei sovellu ko-

vin hyvin eristeeksi puurungollisiin rakennuksiin. Eristeellä on hyvä lämmöneristyskyky umpisoluisen rakenteen ansiosta, jonka sisällä on liikkumatonta ilmaa. EPS-eristeen lämmönjohtavuus noin  $0,033-0,050 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$  ja tiheys noin  $15-60 \text{ kg}/\text{m}^3$ . [4. s. 266-267; 5.]



Kuva 4. EPS-eristettä

Toinen polystyreenin valmistusmenetelmä on suulakepuristusmenetelmä, jossa sulaan polystyreeniin sekoitetaan ponnekaasua korkeassa paineessa. Ponnekaasuna käytetään yleensä hiilidioksidia tai HCFC-kaasua. Normaaliassa ilmanpaineessa massa paisuu ja muotoutuu halutun malliseksi ohjainlevyjen välissä. Suulakepuristusmenetelmällä valmistettuja eristeitä kutsutaan XPS-eristeiksi (*extruded polystyrene foam*). Suulakepuristettu polystyreeni eroaa muottimenetelmällä valmistetusta EPS-eristeestä yhtenäisellä ja suljetulla kennorakenteella. Valmistuksessa XPS-eristeen pintaan tulee vettä hylkivä pinta, joka suljetun kennorakenteen kanssa tekee eristeestä erittäin vähän vettä imevän. XPS-eristeet ovat lujuusominauksiltaan EPS-eristeitä parempia, jonka takia niitä käytetään pääasiassa kohteissa, joissa eristeisiin kohdistuu kuormitusta, kuten käännytyissä katoissa, maanvaraisissa alapohjissa, kellarin seinissä ja perustuksissa. XPS-eristeen lämmönjohtavuus on noin  $0,030-0,041 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ . ja tiheys noin  $25-50 \text{ kg}/\text{m}^3$ . [6; 4. s. 267-268.]



Kuva 5. XPS-eristettä

### 2.3.2 Polyuretaani

Polyuretaania alettiin valmistaa Saksassa teollisesti toisen maailmansodan jälkeen. Suomessa PUR-eristettä alettiin käyttämään rakentamisessa 1960- ja 1970-lukujen taitteessa. Polyuretaani valmistetaan isosyanaatista, polyolista ja ponneaineesta kemiallisen reaktion avulla. Ponneaineena voidaan käyttää hiilidioksidia, pentaania tai HFC-yhdisteitä. Polyuretaanieristeiden höyrynläpäisevyys on hyvin pieni, jonka takia erillistä höyrynsulkua ei tarvita. Polyuretaani on luokiteltu palavaksi materiaaliksi. Eristeistä vapautuu palotilanteissa vaarallisia isosyanaatteja ja syaanivetyä. [4. s. 268; 7.]

1970-luvulla kehitettiin PIR-eriste, jossa on noin puolet enemmän isosyanaattia. Sillä on PUR-eristettä hieman paremmat palotekniset ominaisuudet. Sen jatkuva lämmönkestävyys on noin 140 °C PUR-eristeen lämmönkestävyyden ollessa noin 100-110 °C. Polyuretaanilla on umpisoluinen rakenne, jonka solut sisältävät kaasua. Kaasu on ilmaa parempi eriste, mihin pohjautuu myös polyuretaanin erinomainen eristyskyky. Sen lämmönjohtavuus on noin 0,030-0,037 W/(m·°C). ja paino noin 33-45 kg/m<sup>3</sup>. [4. s. 268; 8.]



Kuva 6. Alumiinilaminaattipintainen polyuretaanilevy, Kingspan Oy



### 3 Hengittävä rakenne

Materiaalin hengittämällä tarkoitetaan sen kykyä sitoa kosteutta itseensä ja vastavuoroisesti luovuttamaan sitä. Hengittäminen ei siis tarkoita materiaalin kykyä läpäistä ilmaa toisin kuin usein luullaan. Hengittävässä rakenteessa vesihöyry siirtyy pääasiassa diffuusion avulla rakenteen läpi tasaten sisä- ja ulkoilman kosteuseroja. Rakennuksen sisällä kosteutta syntyy esimerkiksi ihmisistä, ruuanlaitoista ja peseytymisestä. Ulkoilman kosteus vaihtelee vuodenaikojen ja sään mukaan. Myös muut kaasut, kuten happi ja hiilidioksidi pystyvät pienessä määrin kulkemaan diffuusion avulla rakenteen läpi. Myös ulkopuolella olevat haitalliset kaasut, kuten radon, saattavat päästä kulkeutumaan sisälle. [9.]

Koska hengittävässä rakenteessa ei ole sisäpuolella höyrinsulkua, pystyy rakenne kuivumaan myös sisältäpäin. Lisäksi se on parempi välillä kylminä olevissa rakenteissa, kuten kesämökeissä, joissa vesihöyry saattaa tiivistyä höyrinsulkumuovin sisäpinnalle silloin kun rakennuksen sisätilat ovat viileämpiä kuin ulkoilma. Vesivaurion sattuessa rakenteen sisällä se on mahdollista havaita nopeammin, koska vesi ei pysähdy höyrinsulun pintaan. Toisaalta sisäpuolella tapahtuva vesivahinko leviää helpommin rakenteen sisälle. Vaikka eriste pystyy sitoa tietyn määrän kosteutta, se saattaa myös kastua, jolloin rakenteeseen voi tulla hometta ja hengittävän eristeen kastuttua liikaa myös se menettää eristyskykyään. Jos rakennuksen sisällä on alipaine, rakenteessa mahdollisesti olevat epäpuhtaudet pääsevät kulkeutumaan huoneilmaan. [9.]

Syksyisin ulkoilman ollessa sisäilmaa kuivempaa, liika kosteus poistuu vesihöyryn pyrkimässä tasaantumaan sisä- ja ulkopuolella. Talvisin tämä saattaa kuitenkin kuivattaa huoneilmaa liikaa. [9.]

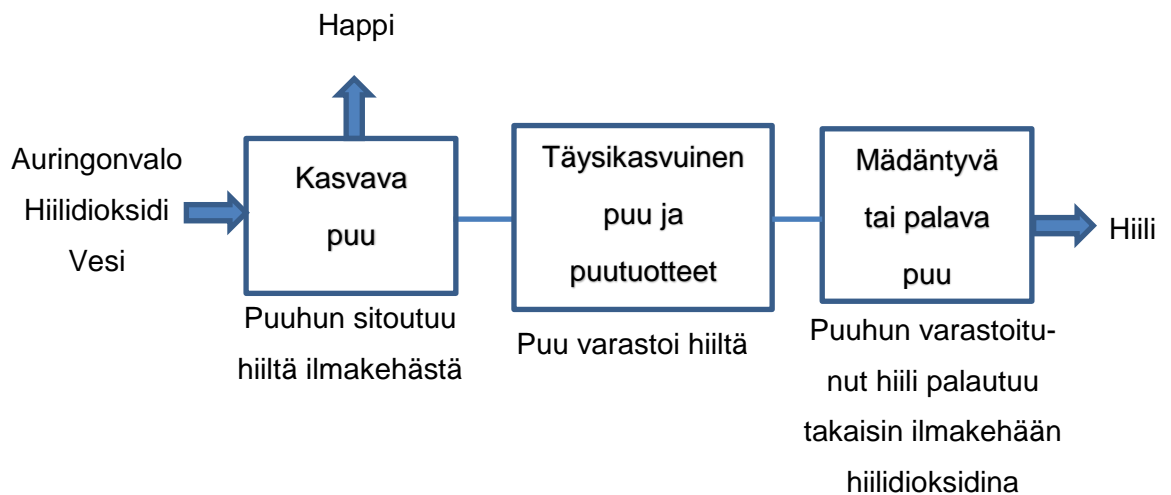
Toimiakseen oikein hengittävään rakenteeseen ei saa lisätä kerroksia, jotka estävät höyryn siirtymisen, eli kosteuden pääsyn seinään ja pois. Tällaisia kerroksia ovat esimerkiksi höyrinsulkumuovit, jotka korvataan ilmanpitävyyden varmistamiseksi ilman-sulkupaperilla. Myös muita muovia sisältäviä kerroksia, kuten muovimaaleja ja -tapetteja tulee välttää. [1. s. 471.]



## 4 Lämmöneristemateriaalit

### 4.1 Puupohjaiset eristeet

Puu on yksi maailman vanhimmista rakennusaineista. Se tarvitsee kasvaakseen hiilidioksidia, vettä ja auringonvaloa, jotka puu muuttaa fotosynteesin avulla hiilihydraateiksi ja hapeksi. Happi vapautuu takaisin ilmakehään hiilen jäädessä puuhun. Noin puolet puun painosta on siihen ilmakehästä sitoutunutta hiiltä. Myös valmiit puutuotteet sisältävät puun kasvaessa siihen sitoutuneen hiilen. Paperissa hiilidioksidi pysyy sitoutuneena muutaman vuoden. [10; 11.]



Kuva 7. Puun sitoman hiilen kiertokulku [17..]

Ilman lämpenemistä aiheuttavat kasvihuonepäästöt ovat suurelta osin hiilidioksidia. puutuotteita käyttämällä voidaan varastoida hiiltä ja edistää metsänhoitoa, jolloin puun avulla saadaan lisää hiilidioksidia sitoutettua pois ilmakehästä. Puutuotteiden jalostukseen menee yleensä melko vähän energiaa, jonka takia puutuotteisiin on varastoitunut enemmän hiiltä, kuin valmistukseen on kulunut. Puun sitoma hiili palautuu takaisin ilmakehään hiilidioksidiksi puun palaessa ja mädätessä. [11.]

#### 4.1.1 Sahanpuru ja kutteri

Sahanpurua alettiin käyttämään 1700-luvulla yläpohjien lämmöneristämiseen ja myöhemmin alapohjiin turvepehkujen rinnalla. Kun rankarunkoisten puutalojen rakentaminen alkoi 1920-luvulla, alettiin myös ulkoseinien lämmöneristeenä käyttämään sahanpuru-kutterinlastuseosta, joka yleistyi 1940-luvulla kun rintamamiestaloja alettiin rakentamaan. Sahanpuru on sahojen sivutuote. Koska puu sahataan joko tuoreena tai ulko-kuivana, joudutaan sahanpuru kuivaamaan ennen käyttöä eristeenä, jottei se homehtuisi käytössä ennen kuivumistaan. Kutterinlastu on taas höyläyksen sivutuote, joka on valmiiksi kuivaa sekä sahanpurua suurempikokoista. [3. s. 95; 2. s. 151.]

Eristeellä on tapana painua vuosien myötä, jonka takia sitä voidaan joutua lisäämään ulkoseiniin ullakon kautta, sekä ikkunoiden alapuolelle sitä mukaa kun eriste painuu. Sahanpurua ja kutterinlastua käytetään usein seoksena vähentämään sahanpurun painumista. Suositeltu seossuhde on puolet sahanpurua ja puolet kutterinlastua. Joskus sahanpurun sekaan on lisätty sammutettua kalkkia estämään tuholaishyönteisiä. Sahanpuru on paloherkkä materiaali, jonka takia yläpohjassa oleva suositellaan peitettäväksi esimerkiksi tuulensuojapaperilla tai laudoituksella. [1, s. 510; 2. s. 152; 3. s. 95.]

Pelkän sahanpurun lämmönjohtavuus on noin  $0,08-0,11 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$  ja kutterinlastun  $0,07-0,13 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Sahanpuru-kutterinlastuseoksen lämmönjohtavuus on noin  $0,055-0,075 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$  ja tiiveys noin  $80-230 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Lämmönjohtavuuteen vaikuttaa eristeen tiiveys. Paras lämmönjohtavuus on hieman tiivistetyllä seoksella, jonka ilmatiiviyys on parempi kuin vapaasti levitetyllä eristeellä. [1. s. 511; 4. s. 42.]



Kuva 8. Kutterinlastua

#### 4.1.2 EHTA-eriste

EHTA-eriste on Suomessa valmistettu lämmöneriste, joka tuli markkinoille vuonna 2017. Tuote on valmistettu kotimaisesta kuusilastusta, eikä siihen ole lisätty mitään kemikaaleja. EHTA-eriste on pyritty tekemään ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaiseksi perinteisen kutterinlastun kanssa. Eristettä ei myydä valmiina levyinä vaan se asennetaan joko puhaltamalla tai kaatamalla. Suomessa tuotetta ollaan käytetty jo muutamissa uudis- ja korjauskohteissa. Eriste soveltuu ylä-, ja välipohjiin sekä tuulettuviin alapohjiin ja ulkoseiniin. Tuotteen lämmönjohtavuus on  $0,042 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$  ja paino noin  $80 \text{ kg}/\text{m}^3$ . [12; 13.]



Kuva 9. EHTA-eristettä

#### 4.1.3 Huokoinen puukuitulevy

Huokoinen puukuitulevy on lähtöisin Yhdysvalloista, jossa levyn valmistus aloitettiin 1910-luvulla hyvin samankaltaisella tekniikalla, kuin nykyinenkin levy valmistetaan. Suomessa levyn valmistus aloitettiin 1930-luvulla Karhulassa tuotenimellä Insuliitti, jota käytettiin Suomessa yleisesti kaikille huokoisille puukuitulevyille. Levyn valmistukseen käytettiin aluksi puunjalostusteollisuudesta syntyneitä sivutuotteita. [1. s. 512-513.]

Huokoinen puukuitulevy valmistetaan hakettamalla ja hiertämällä puu kuiduksi kuuman höyryn kanssa ja kuidut huopautetaan levyksi, joka lämmitetään kuumassa uunissa. Uunissa puukuidut liimautuvat yhteen puun ligniinin avulla. Osaan levyistä käytetty lisäaineita, kuten vahaa ja liimaa lisäämään kosteudenkestävyyttä ja parantamaan levyn koossapysymistä. Lisäaineita on levyissä noin 0,5-1 %. Puukuitulevyn väri vaihtelee käytetyn puulaadun mukaan. Levyn valmistukseen on käytetty esimerkiksi haapaa ja havupuita. Levyn valmistukseen käytetään nykyään haketta tai ylijäämää puuseppäteollisuudesta. Suomessa huokoista puukuitulevyä valmistaa nykyään Suomen Tuulileijona Oy nimellä Huokoleijona. Tuotteen paino on noin  $240 \text{ kg/m}^3$  ja lämmönjohtavuus  $0,049 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ . [1. s. 153; 14..]

Puukuitulevy on hengittävä ja helppokäyttöinen materiaali, joka soveltuu esimerkiksi hirsitalon sisäpuoliseen lämmöneristämiseen ja rankarakenteisen talon runkolevyksi. Levy voidaan hävittää polttamalla tai toimittamalla energiajätteeksi. [3. s.110-112.]



Kuva 10. Huokoista puukuitulevyä

#### 4.1.4 Puukuituvilla

Puukuituvilla lähtöisin Amerikasta, jossa puukuituvillaa alettiin ensimmäisen kerran valmistamaan 1910-luvun lopussa. Eurooppaan eriste saapui 1970-luvun puolella välissä, kun sitä alettiin valmistamaan Skotlannissa. Suomessa valmistus alkoi 1970-luvun loppupuolella Siilinjärvellä. Villa voidaan valmistaa selluloosasta, kierrätyspaperista tai puukuidusta. Suomessa tuotettu puukuitueriste on yleensä valmistettu kierrätetystä sanomalehtipaperista ja siihen lisätystä lisäaineista. Puukuituvilla tunnetaan Suomessa myös nimillä Ekovilla, Selluvilla ja Termex, jotka ovat tuotenimiä eri valmistajien puukuituvilloille. Muiden hengittävien rakennusmateriaalien tavoin myös puukuituvillaa voidaan käyttää ilmansulkupaperin kanssa. Villan kosteuskäyttäytyminen vastaa muiden puuaineisten lämmöneristeiden kosteuskäyttäytymistä. Palotilanteessa eriste hiiltyy pinnasta puun tapaan suojaten sisempiä rakennekerroksia. [1. s. 504; 3. s. 103.]

Alussa puukuituvilla asennettiin puhaltamalla sitä eristeeksi pääasiassa ylä- ja alapohjiin. Myöhemmin markkinoille tuli myös ”ruiskutustekniikka”, jolla pystytään asentamaan



selluvilla myös seinän pystyrankojen väliin. Märkänä ruiskutettaessa eriste sisältää noin puolet vettä, joka haihtuu rakenteesta noin vuoden sisällä asennuksesta. Eriste soveltuu sekä uudis- että korjausrakentamiseen. [1. s. 504-505.]

Puukuituvilla valmistetaan useimmiten kierrätyspaperista, johon on lisätty lisäaineita noin 14-25 % palon- ja lahonestoaineiksi. Lisäaineina käytetään esimerkiksi booraksia, boorihappoa ja alumiinisulfaattia. Boori auttaa myös torjumaan homehtumista ja tuohyönteisiä. Eristeessä käytetyt booriyhdisteet ovat terveydelle haitallisia. Sen takia eristystyön aikana on hyvä suojautua. Booriyhdisteistä aiheutuneita haittoja ovat yskä, limakalvojen kuivuminen, ihoärsytys ja silmien punoittaminen. Termex-Eriste Oy:ltä on tullut markkinoille perinteistä puukuituvillaa ominaisuuksiltaan vastaava uusi Termex Green+-eristeen, jossa palonestoaineena on käytetty booriyhdisteiden sijaan puhdasta luonnon savea. Kuituvillojen lämmönjohtavuus on noin 0,039-0,050 0,038 W/(m·°C). Tuotteen tiheys vaihtelee 26-65 kg/m<sup>3</sup> riippuen asennuspaikasta ja -tavasta. [15; 3. s.103; 2. s. 149.]



Kuva 11. Selluvillaa, valmistaja Ekovilla Oy

#### 4.1.5 Hunton Nativo

Hunton Nativo on puukuitueriste, joka on valmistettu havupuukuidusta. Tuotteen valmistukseen käytetään puuteollisuuden sivutuotteena syntynyttä sahanpurua ja puun uloimpia osia, joita on vaikea hyödyntää rakentamisessa ja huonekaluteollisuudessa.

Eristettä myydään levynä ja puhallettavana eristeenä. Tuote voidaan hävittää polttamalla tai uusiokäyttöä. [16.]



Kuva 12. Hunton Nativo puhalluseristettä

Muiden hengittävien eristeiden tavoin Hunton Nativo pystyy varastoimaan ja luovuttamaan kosteutta ja näin ollen tasaamaan huoneilman kosteutta. Palotilanteessa eriste hiiltyy puun tavoin suojaten sisempiä kerroksia palolta. Levyeristeen ja puhallettavan eristeen palonestoaineina käytetään luonnollisesti esiintyvää ammoniumfosfaattia, jota on noin 6 prosenttia tuotteen painosta. Aiemmin puhallusvillassa käytettiin myös booria palonestoaineena. Levyeristeessä käytetään sidosaineena polyolefiinikuituja 6 prosenttia. [16.] Puhallettavan eristeen paino vaihtelee käyttökohteesta riippuen noin 30-40 kg/m<sup>3</sup> välillä. Levyeristeen paino noin 50 kg/m<sup>3</sup>. Lämmönjohtavuus kummallakin eristeellä on 0,038 W/(m·°C). [18; 19; 20.]



Kuva 13. Hunton Nativo levyeristettä

#### 4.2 Hamppusilppukevytbetoni

Hamppusilppukevytbetoni on Suomessa vielä melko tuntematon hengittävä rakennusmateriaali. Sitä voidaan käyttää rakennuksen ulko- ja väliseinissä sekä ylä- ja alapohjassa. Tuote ei toimi kantavana rakenteena, vaan lämmön- ja ääneneristeenä. Kantavarakenteena voidaan käyttää esimerkiksi puurunkoa. Hamppukevytbetoni on valmistettu täysin luonnollisista materiaaleista. Valmistukseen käytetään hamppusilppua, sammutettua kalkkia, mineraalilisäaineita ja vettä, jotka sekoitetaan massaksi. Sammutettua kalkkia tuotteessa on noin 75 %, joka toimii samalla myös palon- ja lahonestoaineena. Kovettuessa tuote sitoo ilmakehästä itseensä hiilidioksidia. Latviassa tuotetta valmistaa Hemp Eco Systems Latvia tuotenimellä HESmix. [21; 22.]





Kuva 14. HESmix-hamppusilppukevytbetonia

### 4.3 Pellavaeriste

Pellavaa on käytetty hirsitaloissa hirsien väleissä ja karmeissa tilkkeenä yli sadan vuoden ajan. Nykyään pellavaa saa ostettua myös levynä ja rullana, jotka sopivat niin yläkuin alapohjaan, sekä seiniin. Pellavalla voidaan myös lisälämmöneristää yläpohjia. Pellavalla on hyvä lämmönvarastointikyky, jonka takia se tasaa hyvin sisäilman lämmönvaihteluita. [2. s. 147-148.]

Eristeen huonona puolena voidaan pitää sitä, että valmistukseen kuluu melko paljon energiaa verrattuna muihin ekologisiin eristeisiin. Se on myös hinnaltaan yksi kalleimmista luonnonmukaisista eristeistä. Pellavaeristeen pääraaka-aineena käytetään pellavatuotannosta ylijäänyttä lyhyttä kuitua. Osassa levymäisiä pellavaeristeitä käytetään synteettisiä kuituja levyn muodossa pysymiseen parantamiseen sekä ympäristöystävällisiä palonestoaineita. Pellavaeriste voidaan kierrättää ja käyttää uudestaan tai polttaa. Suomessa pellavavillaa valmistaa Isolina Oy. Pellavaeriste on hyvin kevyttä ja sillä on

hyvä lämmönjohtavuus verrattuna puupohjaisiin eristeisiin. Sen tiheys on noin  $20 \text{ kg/m}^3$  ja lämmönjohtavuus noin  $0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ . [2. s. 147.148; 3. s. 92; 1. s. 523.]



Kuva 15. Pellavaeristettä rullana

#### 4.4 Lampaanvillaeriste

Lampaanvillaeriste on Suomessa vielä uusi ja vähän käytetty eriste, jota valmistetaan esimerkiksi Saksassa ja Itävallassa. Muiden luonnollisten eristeiden tavoin se on hengittävä materiaali, joka pysyy sitomaan itseensä vettä jopa kolmanneksen painostaan menettämättä eristyskykyään. Lampaanvillalle ominainen haju saadaan poistettua valmistuksen aikana tapahtuvassa pesussa lähes kokonaan. Lisäksi villa on ionisoitu, jottei tuholaishyönteiset kiinnostuisi siitä. Villasta valmistettuja eristeitä voidaan käyttää perinteisen levyeristeen tavoin ulko- ja sisäseinissä, ylä- ja välipohjissa, sekä rossipohjissa. Levyeristeet pitävät muotonsa ilman synteettisiä kuituja ja ne toimitetaan usein rullana. [23; 24; 25. s. 11.]

Lampaanvillan syttymispiste  $560\text{-}600\text{°C}$ , minkä takia sen ei tarvitse erillisiä palonestoaineita. Lisäaineettomuuden ansiosta siitä ei palotilanteessa vapaudu haitallisia kaasuja. Villan proteiinikuitu toimii luonnollisena homeenestoaineena. Lämmönjohtavuus lampaanvillalla on noin  $0,0339 - 0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ . Paino vaihtelee tuotteesta riippuen noin  $14\text{-}30 \text{ kg/m}^3$  välillä. [23..]



Kuva 16. Lampaanvillaeristettä

#### 4.5 Olki

Oljen käyttö rakentamisessa on lähtöisin Pohjois-Amerikan Nebraskasta, jossa ensimmäiset olkirakennukset rakennettiin 1800-luvun loppupuolella. Suomessa olkirakentaminen alkoi sotien jälkeen, jolloin olkea käytettiin pääasiassa navettojen rakentamiseen. Asuinrakennuksia ja vapaa-ajanrakennuksia alettiin rakentamaan 1990-luvulla. Olkirakentaminen voidaan jakaa karkeasti neljään erilaiseen rakennustapaan: itsekantavaan olkipaaliseinään, vaipparakenteiseen seinään, muurattavaan olkipaaliseinään ja olkipaalielementteihin. Suomessa yleisimmät rakenteet ovat vaipparakenne ja olkipaalielementti. [25. s. 24; 26.]



Kuva 17. Olkipaali

Itsekantavassa olkipaaliseinä on vanhin rakennustapa. Siinä olki toimii lämmöneristeenä sekä kantavana rakenteena. Rakenne sopii hyvin pienikoisille rakennuksille, joissa on vain yksi kerros. Rakentamisessa käytetään vain tiiviitä olkipaaleja, jotka asennetaan limittäin ja kiinnitetään toisiinsa vaarnoilla. Olkipaalien päälle asennetaan palkki, joka sidotaan perustuksiin. Palkin tehtävänä on tasata katolta tulevat kuormat tasaisesti olkipaalien päälle. Katon rakentamisen jälkeen seinän annetaan painua 4-8 viikkoa, jonka aikana seinä painuu noin 30-60 mm. Painumista voidaan nopeuttaa esijännittämällä rakennetta joko kierretangoilla tai hihnoilla. Painumisen jälkeen seinät voidaan rapata sekä Ikkunat ja ovet asentaa. Itsekantava olkipaaliseinä ei ole Suomen oloihin parhaiten soveltuva ratkaisu suurien lumikuormien takia. [27. s. 10-19.]

Vaipparakenteisessa olkipaaliseinässä kantavana rakenteena käytetään usein puista tai teräksistä runkorakennetta, joka on sijoitettu joko olkipaalien väliin tai seinän sisäpuolelle. Tämä menetelmä mahdollistaa monikerroksisten rakennusten rakentamisen ja suurien aukkojen tekemisen ulkoseiniin. Rakenne sopii myös paremmin alueille, jossa on suuret lumikuormat, koska katon kuormat tulevat kantavan runkorakenteen päälle, eikä olkirakenteeseen. Toisin kuin itsekantavassa olkipaalirakenteessa, olkien painumista ei tarvitse odottaa vaan ikkunoiden asennus ja rappaus voidaan toteuttaa heti pystytyksen jälkeen. [27. s. 20-21.]

Muurattu olkipaalirakenne on itsekantavaa olkipaalirakennetta tukevampi ja sillä pystytään rakentamaan useampia kerroksia, mutta rakentaminen on hitaampaa. Muuratussa rakenteessa olkipaalien väliin jätetään noin kolmen senttimetrin rako, joka täytetään

sementin, kalkki-hiekkaseoksen ja olkisilpun seoksella. Muuratun olkipaalirakenteen lämmöneristävyys on myös heikompaa paalien väleissä olevan laastin takia. [27. s. 19.]



Kuva 18. Olkipaaliseinän rakennetta Jollaksen Ekoateljeessa.

Ulkoseinän rappausmateriaaliksi tulee valita tarpeeksi hengittävä laasti, jotta kosteus pääsee haihtumaan seinän läpi ja tasapainottamaan näin huonetilan kosteutta. Olkirakenteen kanssa käytetään yleisin joko savi-, kalkki- tai sementtilaasteja. Seinä rapataan niin sanottuna kolmikerrosrappauksena joko suoraan oljen päälle tai vaihtoehtoisesti käytetään rappausverkkoa. Ulkoseinä voidaan halutessa laudoittaa rappauksen päälle. [27. s. 30-35.]

Rakentamiseen käytettävät olkipaalit ovat usein valmistettu rukiista tai kaurasta. Rakentamisessa tulee käyttää vain kuivia paaleja. Olkipaalin lämmönjohtavuus on noin  $0,05-0,065 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$  ja tiheys noin  $100-150 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Olki on maatalouden sivutuote ja ekologinen ja halpa rakennusmateriaali, jota on mahdollista saada omasta pellostä. Materiaali on helposti muotoiltavaa ja mahdollistaa holvien ja kaarien tekemisen rakenteeseen. Koska olkipaalissa oleva olki on tiiviissä paketissa, se ei saa tarpeeksi hapetta palotilanteessa ja hiiltyy hidastaen palon leviämistä yhdessä rakenteen kummallakin puolella olevan rappauksen kanssa. [27. s. 9; 25. s. 24.]





Kuva 19. Helsingin Jollaksessa sijaitseva Ekoateljee, joka rakentamiseen on käytetty olkea

Liettuassa valmistetaan Ecococon-nimisiä olkielementtejä. Elementeissä on kantava puurakenne, joiden välissä lämmöneristeenä on vehnänolki. Elementeillä rakentaminen on huomattavasti perinteistä olkipaalirakentamista nopeampaa. Parhaimmillaan elementtien pystytykseen menee 1-2 päivää. Tämä tasaa kustannuksia olkipaalirakentamiseen verrattuna. Elementeistä on olemassa standardikokoja, mutta niitä pystytään tekemään myös muun kokoisina ja muotuisina. Käytettävä olki on tiivistetty tiukasti elementtiin ja sen tiheys on noin  $100 \text{ kg/m}^3$ . Rakenteen U-arvo on alle  $0,11 \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2\text{)/W}$  ja rakennus on mahdollista rakentaa passiivitalona. [26; 28..]

## 5 Lämmöneristeiden vertailu

### 5.1 Lämmönjohtavuus

Eristeen lämmönjohtavuus vaikuttaa vaaditun eristekerroksen paksuuteen. Mitä pienempi eristeen lämmönjohtavuus on, sitä ohuemman kerroksen eristettä se vaatii täyttääkseen rakenteelle vaaditun U-arvon. Taulukossa 1 ja 2 on vertailtu levymäisten- ja puhallettavien lämmöneristeiden lämmönjohtavuuksia.

Taulukko 1. Levymäisten villojen lämmönjohtavuuksia

<b>Tuote</b>	<b>Lämmönjohtavuus, suora pinta [W/(m·°C).]</b>
EPS, Thermisol lattia	0,036
Hunton Nativo, levyeriste	0,038
Huokoinen puukuitulevy, Huokoleijona	0,049
Kivivilla, Paroc eXtra	0,036
Lampaanvillaeriste, Isolena	0,039
Lasivilla, Isover KL-33	0,033
Pellavaeriste, Isolina, rulla	0,038
Polyuretaani, FF-PIR 30 (Finfoam)	0,023
Puukuituvilla, Ekovillalevy	0,039
XPS, FI-300/50 (Finfoam)	0,035

Taulukko 2. Puhallettävien ja levitettävien villojen lämmönjohtavuuksia suoralla pinnalla

<b>Tuote</b>	<b>Lämmönjohtavuus, suora pinta, vapaa puhallus [W/(m·°C).]</b>
EHTA-eriste	0,042
Hunton Nativo puhallusvilla	0,038
Puhalluskivivilla, Paroc BLT 6	0,041
Puukuituvilla, Ekovilla	0,039
Sahanpuru-kutterinlastuseos	0,064

## 5.2 Tiheys

Rakennustuotteiden tiheydet vaikuttavat kantaville rakenteille tuleviin kuormiin, jonka takia joissain tapauksissa saatetaan joutua vahvistamaan ja/tai kasvattamaan kantavia rakenteita. Alla on listattu levymäisen ja puhallettavien lämmöneristeiden tiheyksiä.

Taulukko 3. Levymäisten villojen tiheyksiä

Tuote	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> .]
EPS, Thermisol lattia	20
Hunton Nativo, levyeriste	50
Huokoinen puukuitulevy, Huokoleijona	≥240
Kivivilla, Paroc eXtra	30
Lampaanvillaeriste, Isolena	18
Lasivilla, Isover KL-33	25
Pellavaeriste, Isolina, rulla	20
Polyuretaani, FF-PIR 30 (Finnfoam)	44
Puukuituvilla, Ekovillalevy	32-42
XPS, FI-300/50 (Finnfoam)	~31

Taulukko 4. Puhallettavien ja levitettävien villojen tiheyksiä suoralla pinnalla

Tuote	Tiheys, suora pinta, vapaa puhallus [kg/m <sup>3</sup> .]
EHTA-eriste	80
Hunton Nativo puhallusvilla	~30
Puhalluskivivilla, Paroc BLT 6	33
Puukuituvilla, Ekovilla	26-45
Sahanpuru-kutterinlastuseos	80-230

## 5.3 Hinta

Levyeristeissä hinnat (taulukossa 5) on laskettu neliöhintoina 50 mm paksuille eristeille, jos se on ollut mahdollista. Hinnat on otettu verkkokaupoista: taloon.com, bauhaus.fi, sarokas.fi ja domusclassica.fi 5.1.2019. Liitteessä yksi on vertailtu levyeristeiden hintoja ja lämmönjohtavuuksia.



Taulukko 5. Levymäisten villojen hintoja

Tuote	Hinta 50 mm paksulle levyeristeelle [€/m <sup>2</sup> .]
EPS, Thermisol lattia	3,25
Hunton Nativo, levyeriste	6,76
Huokoinen puukuitulevy, Huokoleijona (12 mm paksu)	4,36
Kivivilla, Paroc eXtra	5,16
Lampaanvillaeriste, Optimal (60 mm paksu)	11,76
Lasivilla, Isover KL-33	6,48
Pellavaeriste, Isolina, levy	8,90
Polyuretaani, FF-PIR 50 (Finnfoam)	14,69
Puukuituvilla, Ekovillalevy	7,95
XPS, FI-300/50 (Finnfoam)	7,80

Puhallettavilla ja kaadettavia eristeitä ei ole hintavertailtu tässä opinnäytetyössä, sillä niiden annetut hinnat eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Joidenkin eristeiden hinta on annettu euroa per kuutio -hinnalla ja osa eristeistä myydään kilohinnalla. Puhallettavan eristeen hinnan muodostumiseen vaikuttaa myös, minne eriste puhalletaan. Esimerkiksi tasaiselle yläpohjalle puhallettaessa puukuituvillaa menee vähemmän kuin pystyonteloon puhallettuna. Hintaan vaikuttaa myös se, ostetaanko samalla myös puhallustyö.

## 6 Lämmöneristeet uudisrakentamisessa

Uudisrakennuksen suunnitteluvaiheessa rakenteita suunniteltaessa pystytään vaikuttamaan myös käytettävään eristeeseen. Rakenteet pystytään esimerkiksi mitoittamaan painavammille eristeille ja eristeen vaatima tila ottamaan huomioon. Suunnitellun rakenteen tulee täyttää senhetkiset energiatehokkuus- ja palonkestovaatimukset, ja toimia yhdessä muun rakenteen kanssa lämpö- ja kosteusteknisesti. Rakenteen pitää olla myös turvallinen käyttäjilleen.

Ympäristöministeriö on tehnyt tammikuussa 2018 voimaan astuneen asetuksen uusien rakennuksien energiatehokkuudesta. Asetuksessa annetaan minimiarvot eri rakennusosien lämmönläpäisykertoimille (U-arvo) uusissa rakennuksissa. [29.] Nykypäivän vaatimukset kasvattavat eristepaksuuden usein melko suureksi.

Taulukko 6. Vaaditut U-arvot eri rakenteille uudisrakentamisessa. [29.]

Rakennusosa	Rakenteen vaadittu U-arvo (W/m <sup>2</sup> C)
Seinä	0,17
Vähintään 180 mm keskipaksuudelta oleva massiivipuuseinä (hirsiseinä)	0,40
Yläpohja ja ulkotilaan rajoittuva alapohja	0,09
Ryömintätilallinen alapohja	0,17
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16
Muut rakennuksen vaipparakenteeseen tulevat osat, kuten ikkunat, ovet ja savunpoistoluukut	1,0

Rakennukset jaetaan paloluokkiin P0, P1, P2 ja P3. Pientalot kuuluvat yleensä luokkaan P3, jonka rakennusmateriaaleille, kuten lämmöneristeille, ei ole asetettu paloluokkavaatimuksia. Materiaalit eivät saa kuitenkaan myötävaikuttaa palon kehittymistä. Tämä antaa mahdollisuuden valita eristysmateriaali useammasta vaihtoehdosta. [30.]

### 6.1 Yläpohjan lämmöneristys

Yläpohjan lämmöneristystä suunnitellessa tulee ottaa huomioon tulevan katon rakenne. Pientaloissa käytetään useimmiten kantavana rakenteena joko puuristikoida tai puupalkkeja. Lämmöneristekerros voidaan rakentaa vaakasuoralle pinnalle tai kaltevalle pinnalle vesikaton kaltevuutta mukailen. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa tulee huoleh-

tia yläpohjan riittävästä tuuleuksesta, jotta rakenteisiin kerääntynyt kosteus pääsee poistumaan aiheuttamatta rakenteisiin kosteusvaurioita. Ohjeellisena tuuletusvälin mitana lämmöneristeen ja vesikaton välissä voidaan pitää 100-200 millimetriä. Tuuletusvälin kokoon vaikuttaa muun muassa vesikaton kaltevuus ja pituus. Yläpohjan lämmöneristeeksi soveltuvat niin levyeristeet kuin puhallettavatkin eristeet. Suunnittelussa on kuitenkin otettava huomioon, että nykypäivän energiatehokkuusvaatimuksilla eristerokokset kasvavat helposti suuriksi, jonka takia lämmöneristeen valinnassa eristeen tiheys ja lämmönjohtavuus voivat olla ratkaisevia. [31; 32.]

## 6.2 Alapohjan lämmöneristys

Alapohjan rakennustapaa päätettäessä tulee miettiä, haluaako rakentaa myös alapohjan hengittävänä. Nykyään yleisesti pientaloissa käytettyä maanvaraista laatta ei voida rakentaa hengittävänä rakenteena, koska siinä ei voida käyttää hengittäviä eristeitä maasta kapillaarisesti nousevan kosteuden takia. Maanvaraisen laatan lämmöneristeenä käytetään laatan alla muovipohjaisia, vettä huonosti imeviä eristeitä, kuten EPS- ja XPS-eristeitä. [33. s. 48.]

Hengittäväksi alapohjaksi soveltuu hyvin tuulettuva alapohja eli niin sanottu rossipohja, jossa kantavana rakenteena on puupalkisto ja palkkiväleissä lämmöneristys. Rakenteen alapuolella on tuulettuva ryömintätila. Rossipohjan lämmöneristeeksi sopivat hyvin hengittävät materiaalit, kuten sahanpuru/kutterinlastu ja puukuituvilla. Rakennettaessa tulee varmistua, että rakenteesta tulee tarpeeksi ilmatiivis, jotta vedontunteelta ja ilma- vuodoilta vältyttäisiin. [34. s. 79-82.]

## 6.3 Ulkoseinien lämmöneristys

Rankarakenteinen seinä on Suomessa suosittu rakenne etenkin pientaloissa. Rankarakenteisiin ulkoseiniin soveltuu sekä levymäiset että puhallettavat tai purumaiset eristeet. Puhallettavia tai purumaisia eristeitä käytettäessä tulisi ottaa huomioon eristeiden mahdollinen painuminen vuosien aikana. Tämän takia ikkunoiden alle ja seinien yläpintaan saattaa tulla eristämättömiä kohtia. Näihin kohtiin tulisikin olla myöhemmin mahdollista lisätä eristettä melko helposti. Levymäiset villat ovat usein standardikokoisia ja sopivat hyvin tavallisiin rankaväleihin ilman suurta määrää hukkapaloja. Seinäraken-

teessa tulee varmistua seinän riittävästä tuuletuksesta tuulensuojalevyn ja ulkoverhouksen välissä. Tuuletusraoksi suositellaan alhaalta ylös asti avointa 20-25 mm paksuista tuuletusrakoa. Seinän ulkopinta tulee olla huokoisempi kuin sisäpinta. [35. s. 121-122; 36; 37.]

## 7 Lämmöneristeet korjausrakentamisessa

Vanhojen talojen lisälämmöneristäminen kannattaa toteuttaa isompien remonttien yhteydessä, kun rakennetta avataan joka tapauksessa. Ennen lisälämmöneristystä tulee varmistua rakenteen ilmatiiveydestä, sillä tiivistämätön rakenne on vetoisa ja kylmä. Lisälämmöneristäminen ei vie vetoa pois. [2. s. 130; 1. s. 477.]

Vuonna 2013 voimaan tuli Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Rakennuksen vaipparakenteissa U-arvo tulee korjauksessa puolittua alkuperäisestä arvosta tai vastata uudisrakennuksessa nykypäivänä uudisrakentamisessa vaadittuja U-arvoja. Alapohjassa riittää rakenteen U-arvon parantaminen mahdollisuuksien mukaan. [38..]

Asetusta noudatetaan rakennuksissa, joihin tehdään rakennus- tai toimenpideluvanvaraisia korjaus- tai muutostöitä tai niiden käyttötarkoitusta muutetaan. Asetusta ei kuitenkaan tarvitse noudattaa asuintaloissa, jotka ovat pinta-alaltaan alle 50 m<sup>2</sup> tai rakennuksen suojelluissa osissa. [38..]

### 7.1 Yläpohjan lämmöneristys

Koska lämpö karkaa ylöspäin, parhaimman hyödyn saa usein yläpohjan eristämällä. Jos yläpohja on eristämätön vintti, on eristeen lisääminen kaikista helpointa. Ennen yläpohjan lisäeristystä tulee rakenteessa mahdollisesti olevat ilmapuodot ja lahovauriot korjata ja vaurioituneet eristeet poistaa. Jos Yläpohjaan on lisätty hengittämättömiä eristeitä tai muita materiaaleja, poistetaan ne samalla. Tuulettuvan yläpohjan lisälämmöneristeeksi sopii hyvin esimerkiksi puukuituvilla, pellavaeriste ja kutterinlastu. Vanha ja uusi eristekerros voidaan erottaa toisistaan esimerkiksi sanomalehtikerroksella. Orgaanista eristettä voi olla yläpohjassa jopa 600 mm, mutta usein 300-400 mm paksuisella eristekerroksella päästään haluttuun lopputulokseen. Koska orgaanista eristettä lisätään kylmälle puolelle, jossa on hyvin tuulettuva tila yläpuolella, pääsee kosteus helposti sitoutumaan eristeisiin ja kuivumaan yläkautta. [2. s. 130-132.]

Jos ullakkotila on eristetty ja käytössä, on lämmöneristeiden lisääminen hankalampaa, koska eristepaksuutta joudutaan kasvattamaan usein sisälle päin. Rakennetussakin ullakossa rakenteen eristävyys tulee olla samaa luokkaa eristämättömän vintin yläpoh-

jan kanssa. Liian vähäisen eristeen kanssa on vaarana, että sisäpuolelta tuleva vesihöyry tiivistyy vedeksi kylmän pinnan kohdatessa. Eristeen ja vesikattorakenteen väliin tulee jättää tarpeeksi suuri tuuletusväli riippuen katon kaltevuudesta, jotta mahdollisesti syntynyt kondenssivesi pääsee poistumaan. [2. s 132-133.]

## 7.2 Alapohjan lämmöneristys

Tuulettuva alapohjan eli rossipohjan kunnostus aloitetaan tutkimalla rakenteen kunto ja toimivuus. Huonokuntoiset eristeet poistetaan ja mahdollisesti vaurioituneet rakenteet korvata uusilla. Lisäksi on tärkeää varmistua vanhan rakenteen ilmatiiviydestä, jottei korjattu lattia olisi vetoisa ja alapohjan mahdolliset epäpuhtaudet pääse kulkeutumaan huonetilaan. [39. s. 100-103.]

Vuosien saatossa alapohjassa käytetty eriste, kuten sahanpuru/kuttenrinlastu on saattanut painua. Tällaisissa tapauksissa lämmöneristettä on helppo lisätä painuneen pinnan päälle. Eristeeksi soveltuvat kaikki hengittävät lämmöneristeet. Jos alapohjan lämmöneristyskykyä halutaan parantaa enemmän, voidaan eriste vaihtaa paremmin lämpöä eristävään materiaaliin, kuten puukuitueristeeseen tai pellavaeristeeseen. Eristekerrosta voidaan myös kasvattaa joko alas tai ylöspäin. Jos eristekerrosta kasvatetaan ylöspäin, joudutaan yleensä muuttamaan myös oviaukkojen ja ikkunoiden korkoa. Lisäksi pitää ottaa huomioon huonekorkeuden pieneneminen. Tämän takia eristepaksuutta kannattaa lisätä alaspäin, jos se on mahdollista. Muutoksen jälkeen alapohjaan tulee jäädä edelleen riittävä tuuletustila alapuolelle. [39. s. 100-103; 34 s. 79-82.]

## 7.3 Ulkoseinien lämmöneristys

Ulkoseinien lisälämmöneristäminen on aina iso remontti, jonka takia se kannattaa tehdä samaan aikaan muun remontin kanssa. Remontti vaikuttaa aina näkyvään osaan seinää, eli joko sisä- tai ulkopuolelle. [2. s. 134.]

Ulkopuolen lisälämmöneristys on rakennusteknisesti turvallisempi vaihtoehto, koska siinä seinän kastepiste ei siirry talon vanhan rakenteen sisään. Lisäksi ulkoverhouksen taakse saadaan tuuletusrako, jolloin rakenne pääsee kuivumaan paremmin. Ulkopuolinen lisälämmöneristys kuitenkin kasvattaa rakennetta ulospäin, jonka takia ikkunat

jäävät sisälle rakenteeseen, ellei niitä siirretä lisäeristyksen yhteydessä. Myös räystäisen pituus pienenee ulkoseinän kasvun mukana. Tätä voidaan korjata räystäiden pidentämisellä. Ulkopuolinen eristys muuttaa rakennuksen ulkonäköä, koska ulkolaudoitus joudutaan rakentamaan uudelleen ulommaksi, joka muuttaa rakenteen mittasuhteita. Tämän takia menetelmä ei sovellu rakennushistoriallisesti arvokkaille julkisivuille. Ulkopuolisena lämmöneristeenä toimii hyvin esimerkiksi puukuituvilla, joka voidaan puhalttaa ulkopuolelle rakennetun rimoituksen väliin. [2. s. 134-135; 40.]

Sisäpuolisessa lämmöneristämässä tulee huolehtia siitä, että rakenne toimii oikein, eikä sisältä tuleva kosteus pääse tiivistymään vanhaan seinärakenteeseen. Sisäpuolisena lämmöneristeenä on turvallista käyttää maksimissaan 30 mm paksua kerrosta huokoista puukuitulevyä, joka asennetaan hirsi ja lautarakennuksien sisäpuolelle joko hirren päälle tai lautarakenteissa vaakalaudan tai vanhan puukuitueristeen päälle. Kuitulevyt voidaan asentaa myös vanhojen tapettien ja pinkopahvien päälle. Uuden huokoisen puukuitulevyn pinta voidaan esimerkiksi tapetoida. [2. s. 136-138; 39. s. 115.116.]

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua markkinoilla oleviin luonnollisiin lämmöneristeisiin ja vertailla niiden ominaisuuksia muihin nykypäivänä markkinoilla oleviin eristeisiin. Työssä käytiin läpi myös hengittävän ja hengittämättömän rakenteen eroja ja niiden hyviä ja huonoja puolia. Tämän jälkeen eristeiden keskeisiä ominaisuuksia vertailtiin keskenään. Työn lopussa keskityttiin tutkimaan hengittävien lämmöneristeiden käyttöä puurakenteisten pientalojen uudis- ja korjausrakentamisessa.

Työtä tehdessäni tutustuin moniin lämmöneristeisiin, joista en ollut aikaisemmin kuullut. Pääsin myös tutustumaan moniin työssäni tutkimiini eristeisiin itse esimerkiksi rakennusalan messuilla ja tapahtumissa.

Hankaluuksia opinnäytetyön kirjoittamisessa tuotti se, ettei eristevalmistajien sivuilla lukenut yleensä mitä lisäaineita eristeet oikeasti sisälsivät. Varsinkin palonestoaineista ja levymäisiin villoihin lisätyistä muovikuiduista puhuttiin usein vain palonestoaineista ja sidosaineista avaamatta asiaa lukijalle enempää.

Ekologiset materiaalit ovat käsitteenä laaja asia, jonka takia opinnäytetyötä voisi jatkaa eteenpäin esimerkiksi tutustumalla nykypäivänä harvemmin käytettyihin eristeisiin, kuten turpeeseen, korkkiin ja sammaleeseen. Hengittävän rakenteen toimintaa voisi käsitellä tarkemmin ottamalla mukaan lämmöneristeen lisäksi muut rakennusmateriaalit. Lisäksi yleisimmistä rakennetyypeistä voisi tehdä esimerkit.



## Lähteet

- 1 Kaila, P. 1997. Talotohtori: Rakentajan pikkujättiläinen. Porvoo: WSOY.
- 2 Lahtinen, K.M. 2014. Viri ja valkee, vanhan rakennuksen lämpö- ja energiatalous. Hämeenkyrö: Lunette rakennusperinnepalvelut
- 3 Rinne, H. 2018, Perinnemestarin materiaalioppi, Porvoo: WSOY
- 4 Siikanen, U. 2009. Rakennusaineoppi. 7. painos. Rakennustieto Oy: Helsinki
- 5 EPS-Rakennusteollisuus, Mitä EPS on, luettu 1.11.2018  
<http://www.eps-eriste.fi/mita-eps-on>
- 6 Finnfoam, koostumus ja rakenne, luettu 1.11.2018  
<https://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevytkoostumus-ja-rakenne/>
- 7 SPU eristeet – Energiatohokkuutta betonirakenteissa, luettu 2.11.2018  
<https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1002-44-48.pdf>
- 8 PU eristeet, Mitä polyuretaani on?, luettu 2.11.2018  
<http://www.pueristeet.fi/pu-eristeet/mita-polyuretaani-on/>
- 9 Puuinfo, hengittävä rakenne, luettu 3.11.2018  
<https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-sisätiloissa/hengittava-rakenne>
- 10 Tiede.fi, millainen metsäala sitoo vuoden autoilun hiilioksidipäästöt, luettu 2.11.2018  
[https://www.tiede.fi/artikkeli/kysy/millainen\\_metsaala\\_sitoo\\_vuoden\\_autoilun\\_hiilioksidipaastot](https://www.tiede.fi/artikkeli/kysy/millainen_metsaala_sitoo_vuoden_autoilun_hiilioksidipaastot) Luettu
- 11 Puuinfo, hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista, luettu 2.11.2018  
<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tee-se-itse/ohjeita-omatoimirakentajille/hyva-tietaa-puun-kayton-ymparistovaikutuksista/hyva-tietaa-puun-kayton-ymparistovaikutuksista-web.pdf>
- 12 EHTA-eriste, luettu 24.10.2018  
<https://www.ehtatalot.fi>
- 13 EHTA-eristeen esite

- 14 Tuulileijona, Huokoleijona, luettu 25.10.2018  
<http://www.tuulileijona.fi/fi/tuotteet/huokoleijona>
- 15 Termex GreenPlus-esite, luettu 3.11.2018  
[https://www.termex.fi/content/uploads/2018/05/Termex\\_GreenPlus\\_esite\\_web2.pdf](https://www.termex.fi/content/uploads/2018/05/Termex_GreenPlus_esite_web2.pdf)
- 16 Hunton asiakaspalvelu. Sähköpostiviesti 25.10.2018. Vastaanottaja M. Anttalainen. Vastaus koskien Nativo-eristeisiin lisätystä sidos- ja palonkestoaineista.
- 17 Hunton, Eistä uusiutuvasti ja varastoi hiilidioksidia, luettu 30.10.2018  
<https://hunton.fi/wp-content/uploads/sites/16/2018/10/isolereoglagreco2-finsk-skjerm.pdf>
- 18 HUNTON Nativo puukuitueristeet, luettu 30.10.2018  
[https://hunton.fi/wp-content/uploads/sites/16/2018/03/hunton-nativo\\_kaupoille.pdf](https://hunton.fi/wp-content/uploads/sites/16/2018/03/hunton-nativo_kaupoille.pdf)
- 19 HUNTON Nativo puhalluseriste-esite, luettu 30.10.2018  
<https://hunton.fi/tuotteet/seina/hunton-nativo-puukuitueriste/>
- 20 HUNTON Nativo puhalluseriste, luettu 30.10.2018  
<http://hunton-fi.hunton2017.staging.wpengine.com/wp-content/uploads/sites/16/2016/10/Hunton-puhallusvillaesite.pdf>
- 21 Hemp ecosystems, hamppusilppukevytbetoni, luettu 3.11.2018  
[https://www.hempecosystems.lv/index\\_en.html](https://www.hempecosystems.lv/index_en.html) Luettu 3.11.2018
- 22 HESmix-esite
- 23 Isolena, esite, luettu 30.10.2018  
<https://www.isolena.at/file/666/download?token=2Y4XdpXH>
- 24 Isolena, FAQ, luettu 30.10.2018  
<https://www.isolena.at/file/664/download?token=wtWWXaQF>

- 25 Westermarck, M, Heuru, E, Lundsten, B. 1998. Luonnonmukaiset rakennusaineet. Tampere. Rakennustieto Oy
- 26 The Natural Building Company, EcoCocon olkielementti, luettu 30.10.2018  
<https://naturalbuilding.fi/ecococon/>
- 27 Tuomi, V. 2001. Talo olkipaaleista. Saarijärvi. Kustantajat Sarmala Oy Rakennusalan kustantajat RAK
- 28 EcoCocon, General information, luettu 30.10.2018  
[ecococon.eu/wp-content/uploads/2017/08/1-General-Information.pdf](https://ecococon.eu/wp-content/uploads/2017/08/1-General-Information.pdf)
- 29 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, luettu 5.1.2019 <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>
- 30 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, luettu 5.1.2019  
<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B66288BFB-A697-4FCB-B602-CE0316F2C37B%7D/134002>
- 31 Toimivat katot, luettu 4.1.2019  
[http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat\\_Katot\\_2013\\_reduced\\_size\\_.pdf](http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf)
- 32 RT 82-10820 Pientalon puurakenteet
- 33 Kuorikoski, J, Lönnroth, L. 2018. Hirsitalo muuttaa, Kustannusosakeyhtiö Moreeni
- 34 Rinne, H. 2010. Perinnemestarin remonttikirja. WSOY
- 35 Ojala, K. 2009, Parempi pientalo. Alfamer Oy
- 36 RT 82-10820, Pientalon puurakenteet
- 37 Puuinfo, Puu-ulkoverhous, luettu 30.12.2018  
[http://www.rakennapuusta.fi/files/4109/Puuinfo\\_puu\\_ulkoverhous\\_web.pdf](http://www.rakennapuusta.fi/files/4109/Puuinfo_puu_ulkoverhous_web.pdf)

- 38 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä, luettu 30.11.2018  
<http://www.ymp.fi/download/noname/%7B924394EF-BED0-42F2-9AD2-5BE3036A6EAD%7D/31396>
- 39 Rinne, H. 2015. Perinnemestarin kesämökki. WSOY
- 40 Ekovilla, Rakenteet, luettu 29.11.2018  
[http://www.ekovilla.com/fileadmin/user\\_upload/rakenneopas/2017/Ekov\\_Rakopas0217-web.pdf](http://www.ekovilla.com/fileadmin/user_upload/rakenneopas/2017/Ekov_Rakopas0217-web.pdf)

### **Kuvalähteet**

- Kuva 16 <https://www.isolena.at/file/666/download?token=2Y4XdpXH>
- Kuva 17 [http://ellunkanatjamunat.mycashflow.fi/tuotekuvat/1200x1200/Olki\\_paa\\_li.jpg](http://ellunkanatjamunat.mycashflow.fi/tuotekuvat/1200x1200/Olki_paa_li.jpg)
- Kuva 18 <https://www.luomura.com/@Bin/136827/EKOATELJEE+Jollaksessa.pdf>  
Kuvaaja Mikko Tuononen
- Kuva 19 <https://www.luomura.com/talotarinoita/ekoateljee-luonnonmukaisesti-rak/>  
Kuvaaja Mikko Tuononen

## Levyeristeiden hintoja ja lämmönjohtavuuksia

