

HENGITTÄVÄ SEINÄRAKENNE
LUONNONMUKAISISTA MATERIAALEISTA

Lehtisalo Juhani

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Juhani Lehtisalo	Vuosi	2019
Ohjaaja	Kai Ryyänen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Hengittävä seinärakenne luonnonmukaisista materiaaleista		
Sivu- ja liitesivumäärä	59		

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa luonnonmukaisista rakennusmateriaaleista sekä selvittää niiden hyödynnettävyyttä hengittävässä ulkoseinärakenteissa. Etenkin materiaalien saatavuus, ominaisuudet, vaihtoehdot ja mahdollisuudet haluttiin selvittää. Lisäksi piti määrittellä mitä tarkoittaa hengittävyys ja luonnonmukaiset materiaalit.

Työhön koottiin teoriaosuus erilaisia aineistoja hyödyntämällä. Hengittävydestä, luonnonmukaisuudesta, rakennusmateriaaleista ja rakennustuotteista tietoa kerättiin pääosin kirjojen, lehtien ja internetin avulla. Yleisimmin ilmenneistä materiaaleista valittiin kymmenen, joista kirjoitettiin olennaisimmat rakennuskäyttöön liittyvät asiat. Nämä materiaalit olivat puu, savi, ruoko, olki, lampaanvilla, pellava, hamppu, paperi, rappaukset ja sisämaalit. Näistä materiaaleista koostuvia rakennustuotteita koottiin taulukkoon, johon listattiin tuotteille laskentaohjelmassa tarvittavia ominaisuuksia, kuten paksuus, lämmönjohtavuus ja vesihöyrynläpäisevyys. Näistä rakennustuotteista muodostettiin seitsemän erilaista ulkoseinärakennetta DOF-Lämpö -ohjelmaan. Ohjelmalla tarkasteltiin seinärakenteiden lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä.

Hengittävien ja luonnonmukaisten materiaalien saatavuus on Suomessa hyvä. Nämä materiaalit ovat usein muille aloille ongelma-ainesta, jätettä ja hukkamateriaalia. Luonnonmukaisten materiaalien hyödyntäminen rakennustuotteissa parantaisi sisäilman laatua ja vähentäisi ympäristön kuormitusta. Niistä muodostuisi vain luonnollisesti maatuva jätettä. Luonnonmukaiset materiaalit vaativat yleensä hengittävän rakenteen toimiakseen oikein. Luonnonmukaisista materiaaleista on tälläkin hetkellä saatavilla riittävästi rakennustuotteita erilaisten hengittävien seinärakenteiden muodostamiseen. Kosteus käyttäytyy hengittävässä rakenteessa eri tavalla, kuin tiiviissä, minkä vuoksi rakenteiden kosteuskäyttäytymistä tulisi tutkia lisää, ennen rakenteiden laajempaa käyttöä.

Avainsanat hengittävyys, luonnonmukaisuus, materiaalit, tuotteet, seinärakenne, kosteus

Technology, Communication
and Transport
Degree programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Juhani Lehtisalo	Year	2019
Supervisor	Kai Rynnänen		
Commissioned by	Lapland University of Applied sciences		
Subject of thesis	Breathable Wall Structure from Natural Materials		
Number of pages	59		

The objective of this thesis was to collect information about the availability, the properties, the options and the possibilities of the natural building materials and find to out their usability in breathable wall structures. In addition, the meaning of breathability and natural materials needed to be defined.

Information about the breathability, the naturality, the building materials and the building products was collected mostly from books, magazines and the Internet. Wood, clay, reed, straw, sheep wool, flax, hemp, paper, plasters and interior paints were chosen for the main materials in this research. Seven different wall structures were assembled from the building products made of these materials in the DOF-Lämpö software. The thermal and moisture behavior of the wall structures were examined in the software.

The availability of the breathable and natural materials in Finland is good. These materials are often referred to as problem materials and waste in other industries. The use of natural materials in building products would improve the quality of the indoor air and lower the impact on the environment. They would form only naturally decomposable waste. Natural materials often require breathable structures to work properly. There are already enough products consisting of natural materials available to form different breathable wall structures. Moisture behaves differently in breathable structures than in dense structures. That is why, the moisture behavior of the breathable structures needs to be researched more before the wider use of these kinds of structures.

Key words breathability, natural, materials, products, wall structure, moisture

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	HENGITTÄVYYS	7
2.1	Rakenteiden hengittävyys	7
2.2	Veden käyttäytyminen	8
2.3	Hengittävä rakenne	9
2.4	Hengittävä vai höyrytiivis	10
3	LUONNONMUKAISET MATERIAALIT	12
3.1	Luonnonmukaiset materiaalit	12
3.2	Muovi ja jätteet	13
4	RAKENNUSMATERIAALIT JA TUOTTEET	15
4.1	Puu	15
4.2	Savi	18
4.3	Ruoko	20
4.4	Olki	21
4.5	Lampaanvilla	24
4.6	Pellava	25
4.7	Hamppu	27
4.8	Paperi	29
4.9	Rappaukset	31
4.10	Sisämaalit	33
4.11	Materiaalitulukko	35
5	SEINÄRAKENTEET JA ANALYYSI	36
5.1	Lähtötiedot	36
5.2	US1	38
5.3	US2	39
5.4	US3	40
5.5	US4	41
5.6	US5	42
5.7	US6	43
5.8	US7	44
5.9	Rakenneanalyysin johtopäätökset	45

6 JOHTOPÄÄTÖKSET	47
7 POHDINTA	48
7.1 Itsearviointi.....	48
7.2 Tiedon saatavuus.....	49
7.3 Omat kokemukseni hengittävästä ja luonnonmukaisista rakenteista	50
7.4 Nykyajan murheet	51
7.5 Tulevaisuuden mahdollisuudet.....	53
LÄHTEET	55

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kerätä tietoa hengittävien ja luonnonmukaisten materiaalien saatavuudesta, ominaisuuksista, vaihtoehdoista ja mahdollisuuksista. Näiden tietojen pohjalta pyritään muodostamaan potentiaalisia ulkoseinärakenteita, joiden lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä tutkitaan laskentaohjelman avulla.

Työn tarkoituksena on kehittää rakennusalaan kestävämpään ja ekologisempaan suuntaan ja auttaa muodostamaan rakenteita, jotka eivät ole haitaksi rakennusten käyttäjien terveydelle eivätkä luonnolle. Rakennusmateriaalien käsittelyn tulisi olla helpompaa ja turvallisempaa myös rakentajille. Mikäli rakennus joudutaan purkamaan, materiaalien jälkikäsittelyn tulisi olla helppoa. Rakennukset eivät ole ikuisia, joten niiden pitäisi soveltua luonnolliseen kiertokulkuun, eikä muodostua ongelmajätteenä.

Työssä keskitytään vain ulkoseinärakenteeseen, rakennuksen sisäpinnasta ulko-verhouksen tuuletusrakoon asti. Tuuletusraon katsotaan olevan täysin tuulettuva, joten ulko-verhouksen materiaalia ei huomioida laskelmissa. Rakenteella kuitenkin katsotaan olevan säältä suojaava ulko-verhous.

Seinä materiaalien tulee täyttää työssä esitetty luonnonmukaisten materiaalien ja hengittävyuden määritelmä. Niitä tulee olla mahdollista tuottaa ja valmistaa Suomessa, koska luonnonmateriaalit toimivat parhaiten niissä olosuhteissa, josta ne ovat peräisin. Materiaalien ominaisuuksissa keskitytään lähinnä kosteus- ja lämpökäyttäytymiseen. Rakennustuotteista on koottu taulukkoon laskentaohjelmalle tarpeelliset tekniset lukuarvot ja muita saatavilla olevia arvoja.

Hengittävät ja luonnonmukaiset materiaalit ovat olleet pääosin perinnerakentajien ja yksityisten remontoijien suosiossa, mutta niillä olisi suurta potentiaalia tulevaisuudessa koko rakennusteollisuudelle. Luonnollisten materiaalien käyttö ei tarkoita paluuta menneisyyteen, vaan voimme ottaa oppia vanhasta ja rakentaa jotain uutta, joka takaa tulevaisuudessakin ihmisille hyvän asuinympäristön.

2 HENGITTÄVYYS

2.1 Rakenteiden hengittävyys

Rakenteiden hengittävyys on uusi käsite, jota on alettu käyttää vasta 60-luvulla. Silloin tiiviit materiaalit kuten muovikelmu tulivat markkinoille. Sitä ennen käsite tunnettiin vaatteiden ja tekstiilien yhteydessä. (Kaila 1997, 469.) Käsitteenä hengittävyys voi olla hieman harhaanjohtava. Se ei liity suoranaisesti ilman liikkeeseen, vaan ennemminkin kosteuden kulkeutumiseen rakenteessa (Nyman 2017, 12). Käsite on kuitenkin suomalaisille vanhastaan tuttu ja yleisesti käytetty (Kaila 1997, 472).

Hengittävyys tarkoittaa materiaalin kykyä sitoa itseensä kosteutta ja luovuttaa sitä pois (Rinne 2010, 59). Hengittävät materiaalit kykenevät sitomaan ja läpäisemään sekä nestemäistä, että kaasumaista kosteutta (Nyman 2017, 19). Näitä materiaaleja voidaan kutsua myös hygroskooppisiksi. Hygroskooppiset materiaalit pyrkivät tasapainokosteuteen ympäristön kanssa sitomalla ja luovuttamalla kosteutta (Puuinfo Oy 2017). Hygroskooppinen aine kastuu märäksi jo riittävästä ilmankosteudesta (Kaila 1997, 106). Hygroskooppisuus voidaan ajatella yhden materiaalin ominaisuudeksi, mutta hengittävyydellä viitataan useammasta tällaisesta materiaalista koostuvan kokonaisuuden, kuten esimerkiksi seinärakenteen toimintaan.

Rakennusteollisuudessa rakennusmateriaalien hengittävyys määritellään usein niiden kyvyksi läpäistä vain kaasumaista vettä eli vesihöyryä (Rinne 2018, 130). Tämä voi toimia yksittäisellä materiaalilla, mutta rakenteessa, jossa on monta materiaalikerrosta, kosteus voi tiivistyä kerrosten rajakohtiin nestemäiseksi eikä pääse enää kuivumaan pois.

Nestemäisen veden läpäisykyky on hyödyllinen ominaisuus etenkin ongelmatilanteissa, joissa vesihöyry pääsee tiivistymään vedeksi tai vettä vuotaa jostakin rakenteen sisään. Kosteusvaurio ei jää piiloon rakenteen sisään, vaan siitä syntyy jälki näkyviin rakenteisiin. Pienempi vaurio voi myös kuivua itsestään ilman, että siitä syntyy haittaa rakenteelle. (Rinne 2018, 130.) Näin voi käydä poikkeuksellisen kostean sään tai pienten rakennusvirheiden tuomalle kosteudelle.

2.2 Veden käyttäytyminen

Vesi on ainoa aine, joka esiintyy luonnossa kaikissa aineen olomuodoissa, kiinteänä, nesteinä ja kaasuna (Kaila 1997, 101–102). Se myös tuottaa runsaasti päänsärkyä rakentajille kaikkine ominaisuuksineen. Veden siirtymiseen, olomuotojen muutoksiin ja ominaisuuksiin liittyy monia käsitteitä, joita voi olla vaikea ymmärtää ja jotka menevät herkästi sekaisin keskenään. Näistä hengittävyteen liittyy diffuusio, kosteuskonvektio, kondensoituminen, hydrofiilisuus ja hydrofobisuus.

Diffuusio tarkoittaa vesihöyryn siirtymistä ilman osapaine-erojen vaikutuksesta. Vesihöyry pyrkii siirtymään kosteammasta kuivempaan, kunnes niiden suhteellinen kosteus on sama. (Kaila 1997, 481.) Kosteus siirtyy diffuusion avulla hengittäviin materiaaleihin ja niistä pois ympäröivän ilmakehän vaihtelujen mukana. Useimmiten diffuusion suunta on sisältä ulospäin, sillä sisäilma on yleensä ulkoilmaa kosteampaa ja lämpimämpää. Lämpötilaero ei kuitenkaan määrää diffuusion suuntaa, vaan kosteus kulkee kosteammasta kuivempaan. Diffuusiosta voi aiheutua kosteusongelmia, jos rakenteeseen pääsee sen avulla enemmän kosteutta, kuin rakenne pystyy luovuttamaan. (Sisäilmayhdistys ry 2019.)

Kosteuskonvektio tarkoittaa vesihöyryn siirtymistä ilmavirtausten mukana. Vesihöyry on yksi ilman osakaasuista, joten sitä on luonnollisesti ilmassa. Esimerkiksi rakennuksen ylipaine voi työntää sisäilmaa rakenteisiin tuoden sen mukana myös kosteutta. (Sisäilmayhdistys ry 2019.)

Kondensoituminen tarkoittaa vesihöyryn tiivistymistä vedeksi ilman jäähtyessä. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän siihen mahtuu höyrymäistä vettä. Kun lämmin, runsaasti vettä sisältävä ilma kohtaa kylmemmän pinnan, se jäähtyy ja osa höyrymäisestä vedestä muuttuu nesteeksi. (Rinne 2010, 60.) Näin voi käydä esimerkiksi pesuhuoneessa, kun vesihöyry kohtaa kylmän ikkunapinnan. Rakenteessa sitä kohtaa, johon vesi kondensoituu, kutsutaan kastepisteeksi (Kaila 1997, 483). Laskennallisesti kastepiste pyritään ohjaamaan rakenteessa paikkaan, jossa siitä olisi vähiten haittaa. Tämä on yleensä tuulensuojalevyn ulkopinta, josta kosteus voi vapaasti haihtua pois.

Hydrofiilisuus ja hydrofobisuus kuvastavat materiaalien suhtautumista veteen. Sana ”hydro” viittaa veteen, ”fiilisuus” mieltymykseen ja ”fobisuus” kauhuun. Hydrofiiliset materiaalit ottavat mielellään vettä vastaan ja hydrofobiset hylkivät sitä. Useimmat rakennusmateriaalit ovat hydrofiilisiä, eli ne sitovat itseensä vettä. Hydrofobisia ovat esimerkiksi öljy ja vaha, joiden pinnalle vesi jää pisaramaiseksi, eikä imeydy niihin. Rakennusmateriaaleja voidaan käsitellä hydrofobisilla aineilla veden imeytymisen estämiseksi. (Kaila 1997, 91–92.)

Hengittävät materiaalit ovat useimmiten sekä hydrofiilisiä, että huokoisia. Huokoiset materiaalit sisältävät pieniä onkaloita, jotka voivat täytyä vedellä. Huokoisten materiaalien vastakohtana ovat tiiviit materiaalit kuten lasi, metalli ja monet muovit. Ne ovat niin tiiviitä, ettei vesi pääse tunkeutumaan niiden sisään, vaan se jää niiden pinnalle. (Kaila 1997, 94.)

2.3 Hengittävä rakenne

Hengittävät rakenteet tasaavat huoneilman kosteutta ottamalla vastaan ja luovuttamalla sitä takaisin (Rinne 2010, 59). Esimerkiksi makuuhuoneen seinät ottavat vastaan ihmisten tuottamaa kosteutta yöllä ja luovuttavat sitä takaisin huoneilmaan päivällä, kun huone ei ole käytössä (Rinne 2010, 60). Tällainen päivittäinen kosteudenvaihtelu tapahtuu useimmiten rakenteen pintakerroksessa, eikä ulotu syvälle rakenteeseen.

Tätä ilmiötä voitaisiin hyödyntää suuremmassa mittakaavassa esimerkiksi kouluissa ja työpaikoilla, joissa on päivällä kosteutta tuottavaa toimintaa ja ihmisiä, ja yöllä tilat ovat tyhjiään. Päivällä rakenteisiin siirtynyt kosteus palaisi yöllä takaisin huoneilmaan ja tuulettuisi pois. Tämä parantaisi koetun sisäilman laatua, vähentäisi koneellisen ilmanvaihdon tarvetta ja säästäisi siten myös energiaa (Puuinfo Oy 2017).

Päivittäistä kosteudenvaihtelua hitaampi hengittämisen muoto liittyy eri vuodenaikojen ilmankosteuden vaihteluun. Kesän ja syksyn aikana kosteus imeytyy syvälle rakenteeseen ja talvella ympäröivän ilmankosteuden laskiessa, kosteus haihtuu rakenteista ulos. (Rinne 2010, 60.)

Haasteena hengittävässä rakenteessa on kuitenkin se, että rakenne voi ottaa vastaan enemmän kosteutta, kuin se ehtii luovuttamaan ennen homeen, sienikasvuston ja lahoamisen alkamista (Snell & Callahan 2009, 59). Mikrobitoiminta käynnistyy, jos rakenteen kosteus pysyy riittävän pitkään korkealla (Borg 2016, 36). Näin ollen hengittävät rakenteet eivät yksin takaa rakennuksen terveyttä. Rakennuksessa tulee myös olla hallittu ilmanvaihto ja riittävä ilmatiiveys. (Nyman 2017, 19.) Etenkin kosteiden tilojen ja keittiön riittävään ilmanvaihtoon tulee kiinnittää huomiota.

2.4 Hengittävä vai höyrytiivis

Hengittävät rakenteet poikkeavat rakenteellisesti nykyaikaisista tiiviistä rakenteista siten, että niissä ei ole vesihöyryä sulkevaa kerrosta eli höyrynsulkua tai muita vesihöyryn kulkua estäviä materiaaleja. Höyrynsulun tarkoitus on pitää kostea ilma poissa rakenteista ja estää ilman kulku rakenteen läpi. Se myös tekee ilmanvaihdon mitoituksesta helpompaa, koska rakenteiden läpi tulevaa ilmamäärää ei tarvitse huomioida laskelmissa. Näin ollen ilmanvaihtolaitteiden valmistajat vaativat tiiviitä rakenteita ja tiiviit rakenteet jatkuvaa ilmanvaihtoa. (Kaila 1997, 485.)

Hengittävässä rakenteissa tulee käyttää vain hengittäviä materiaaleja, mutta höyrytiiviseen rakenteeseen ne eivät aina sovi. Seinän materiaalit tulee valita yhteensopiviksi sen mukaan, miten seinä toimii.

Hengittäväksi tarkoitetun rakenteen hengittävyys voidaan helposti pilata tiiviillä maalikerroksella tai muovipintaisella tapetilla. Seinäpäällysteenkin tulee mukailla rakenteen kykyä hengittää ja säädellä kosteuseroja luonnollisesti. Seinän päällystäminen vettä läpäisemättömällä kerroksella tai muovipohjaisella maalilla voi johtaa veden kondensoitumiseen rakenteen sisälle. (Conran 2009, 86.)

Nykyjään rakenteet on suunniteltu niin, että lämmön oletetaan kulkevan pääasiassa sisältä ulospäin. Kesällä, kun ulkona on kuuma ja sisätilaa viilennetään ilmastoinnilla, alkaa rakenne kuitenkin toimia ”väärinpäin”. Lämmin ja kostea ulkoilma kulkee rakenteessa ulkoa sisälle päin, joka voi tuoda liikaa kosteutta materiaaleihin, joille se ei sovi. Hengittävässä rakenteissa tämä ei aiheuta ongelmia,

sillä ne kykenevät sitomaan enemmän vettä vaurioitumatta ja niiden toiminta perustuu kosteuden kulkeutumiseen eri suuntiin (Puuinfo Oy 2017, 37).

Laskennallisesti todettu kastepistekään ei aina aiheuta ongelmaa hengittävässä rakenteessa. Esimerkiksi hirsiseinän sisällä on veden tiivistymispiste, mutta se ei kuitenkaan lahoa. Tämä johtuu siitä, että hengittävä puukuuitu kykenee hajottamaan ja sitomaan kosteuden niin, että kosteus laskee koko ajan rakennuksen sisältä ulospäin mentäessä. Näin ollen kosteuden määrä on liian vähäinen tiivistykseen mihinkään. (Knuuttila 2018; Kaila 1997, 106.)

Hengittävyden puute voi aiheuttaa rakennuksissa lukuisia ongelmia, kuten terveyshaittoja kosteuden ja homeen seurauksena (Black Mountain Insulation Limited 2019). Höyrytiivis rakennemalli toimii tietokoneen laskentaohjelmassa, mutta todellisuudessa yksikin reikä tai viilto höyrynsulkukalvossa voi päästää liikaa kosteutta seinärakenteen sisään (Rinne 2018, 130). Kosteus ei kuitenkaan pysty saman reiän kautta kuivumaan, joten sitä voi kertyä haitallisen paljon seinän sisälle.

”Mikä tahansa talo muuttuu epäterveelliseksi, jos se kastuu, mutta hengittävä rakenne on muovitettua vikasietoisempi” (Rinne 2018, 13).

3 LUONNONMUKAISET MATERIAALIT

3.1 Luonnonmukaiset materiaalit

Tässä työssä luonnonmukaiset materiaalit on määritelty niin, että ne ovat mahdollisimman vähän jalostettuja, niitä on helposti saatavilla, niihin ei ole lisätty luonnolle haitallisia lisäaineita ja ne voidaan palauttaa käytön jälkeen takaisin luonnon kiertokulkuun aiheuttamatta haittaa ympäristölle.

Luonnonmukaisten materiaalien käytöstä on erittäin pitkä kokemus. Niitä on käytetty siitä asti, kun ihminen on alkanut rakentaa itselleen jonkin näköisiä sääsuojia. Näiden materiaalien käyttö kuitenkin vähentyi huomattavasti 1900-luvulla, kun alettiin valmistaa uudenlaisia synteettisiä materiaaleja, joiden hienot ominaisuudet ja uutuus alkoivat kiehtomaan ihmisiä. Tämän lisäksi keksittiin vielä erilaisia rakennusmääräyksiä, joiden noudattaminen vaati juuri näiden uusien materiaalien käyttöä. Nykyään on taas alettu kyseenalaistamaan näitä materiaaleja niiden terveys- ja ympäristövaikutusten johdosta. Luonnonmukaisten materiaalien uudelleen käyttöönotto nykyrakentamisessa on mahdollista, mutta vaatii kehittämistä tuotantomenetelmissä ja kustannustehokkuudessa (Westermarck, Heuru & Lundsten 1998, 6).

Luonnonmukaisia materiaaleja on hyvä suosia esimerkiksi siitä syystä, että synteettisillä materiaaleilla on osoitettu olevan haitallisia vaikutuksia sisäilman laatuun ja terveyteen, sekä niiden tuotanto on ympäristölle haitallista (Conran 2009, 32). Useimmat luonnonmukaiset materiaalit ovat turvallisia ja terveellisiä. Ne aiheuttavat vähän allergisia reaktioita ja tasaavat sisäilman kosteutta (Lautkankare & Alijoki 2013, 22.) Esimerkiksi pellavaöljymaalista, savirappauksesta ja paperitapetista ei tule haitallisia päästöjä sisäilmaan (Rinne 2018, 13).

Luonnonmukaisia materiaaleja pidetään lyhytikäisinä, helposti homehtuvina ja tuhohyönteisiä houkuttelevina, ja tähän ne voivat ollakin, mikäli niitä käyttää yhdessä tiiviiden materiaalien kuten muovien kanssa. Kuitenkin puurakenteet ja luonnonkuitueristeet voivat olla muovi ja mineraalivillarakenteita pitkäikäisempiä, kun niiden ympärillä ei ole hengittämättömiä materiaaleja ja pintoja (Borg 2016, 38).

Luonnonmukaiset materiaalit pärjäävät huonosti laboratoriotesteissä, joissa olosuhteita pidetään pitkään äärimmäisinä (Lautkankare & Alijoki 2013, 22). Joitakin luonnollisia eristeitä tulee käyttää paksumpina kerroksina riittävän lämmöneristyksen aikaansaamiseksi (Conran 2009, 32).

Nykyään luonnonmukaisia materiaaleja myydään lähinnä vanhojen rakennusten kunnostukseen tarkoitettuina perinnemateriaaleina. Perinteisenäkään myydyt rakennusmateriaalit eivät ole aina puhtaita luonnontuotteita, vaan niihin on voitu lisätä esimerkiksi booria palonsuoja-aineeksi ja muovikuitua sidosaineeksi. Tuoteseloste tulee lukea tarkkaan, sillä tutunkin tuotteen valmistustapaa on voitu muuttaa vaivihkaa. (Rinne 2018, 12–13.)

3.2 Muovi ja jätteet

Muovin vaikutukset ympäristölle ovat alkaneet vasta viime vuosina hiljalleen selviämään. Maailmassa tuotetaan muovia yli 400 miljoonaa tonnia vuodessa ja muovituotteista 2–5 prosenttia päätyy mereen. Muovi ei häviä meressä, vaan jauhautuu mikroskooppisen pieniksi hiukkasiksi eli mikromuoviksi. Mikromuovi hajoaa merissä erittäin hitaasti, jos ollenkaan. Meren kautta se päätyy lopulta meidänkin ravintoketjuumme ja sieltä mahdollisesti elimistöömme. Meren muoviongelman vuoksi, EU on alkanutkin vaatia jäsenmaitaan vähentämään muovin käyttöä etenkin kertakäyttötuotteissa. (Frilander 2016; Heiskanen 2018.)

Rakennusala käyttää Suomessa kulutetusta muovista noin 20-28 prosenttia. Määrä on valtava ja muovien talteenotto ja kierrätys ovat alalla vähäistä. Rakennusmateriaalit valitaan rakenteisiin lähinnä toiminnallisten ominaisuuksien mukaan, eikä sen, mistä materiaali koostuu. Ympäristöministeriön erityisasiantuntija Matti Kuittisen mukaan seinä- ja kattoeristeille sekä muovimatoille olisi helppo löytää muovittomia vaihtoehtoja. (Huusko 2018.)

Muovia esiintyy monessa eri muodossa ja monella eri nimellä kemiallisen koostumuksensa mukaan. Yleisiä rakennusalalla käytettyjä muoveja ovat esimerkiksi polystyreeni (PS), polypropeeni (PP), polyvinyylikloridi (PVC), polyvinyyliasetaatti (PVAC) ja polyuretaani (PUR). (Kaila 1997, 532–537.) Selkeitä muovituotteita ovat esimerkiksi muovimatot, polystyreeni- ja polyuretaanieristeet sekä höyryn-

sulkumuovit. Muovia on myös laminaateissa, kalustepinnoitteissa ja lateksimaa-
leissa. Lisäksi muovia voi olla monissa tuotteissa, joissa se ei ole selkeästi näky-
villä. Tällaisia ovat esimerkiksi tapetit, sementit ja pehmeät eristelevyt.

Suomessa jätteenkäsittely on erittäin tehokasta ja jäte ei yleensä päädy luontoon.
Paljon sekajätettä päätyy kuitenkin kasattavaksi kaatopaikoille, koska niille ei ole
kierrätystapaa tai kierrätettävän materiaalin erottelu niistä on vaikeaa. Rakennus-
jätteen lajittelu on jatkuvasti kasvussa, mutta silti suuri osa päätyy niistä sekajät-
teeseen. Jätteenkäsittely tulee sekä rakennustyömaille, että valtiolle kalliiksi.

Nykyään 50–60 prosenttia rakennusjätteiden materiaaleista pystytään hyödyntä-
mään uudelleen. Vaikeasti kierrätettäviä materiaaleja ovat esimerkiksi kipsituot-
teet sekä palamattomat ja erityisesti likaiset eristejätteet. Työmaille myös uusista
materiaaleista syntyy paljon hukkapaloja ja ylijäämää, jotka joutuvat jätteiden
joukkoon. (Häkkinen 2018, 18.)

Luonnonmukaisten materiaalien käyttö rakentamisessa vähentäisi sekajätteen
määrää, sillä rakennusjätteet voitaisiin kasata yhteen kasaan maatuksi ai-
nekseksi. Rakennukset voisivat myös olla kevytrakenteisempia eikä niiden lyhy-
estäkään käyttöiästä olisi haittaa ympäristölle. Vanha talo vietäisiin maakuop-
paan ja uusi haettaisiin tilalle. Maatuneen rakennusjätteen päällä voitaisiin kas-
vattaa vaikka uutta materiaalia rakentamiseen.



Kuva 1. Rakennusjätteiden esilajittelua (Häkkinen 2018, 18)

4 RAKENNUSMATERIAALIT JA TUOTTEET

4.1 Puu

Puuta on Suomessa runsaasti saatavilla, sillä Suomen pinta-alasta yli 70% on metsää. Puuta kasvaa vuosittain 107 miljoonaa kuutiometriä ja teollisuuden käyttöön tästä kaadetaan noin 60 miljoonaa kuutiometriä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2019.)

Puu on hengittävä luonnonmateriaali, jonka ominaisuudet vaihtelevat puulajin, kasvupaikan ja kasvatustavan mukaan. Nämä vaikuttavat puun ulkonäköön, lujuuteen ja muihin fysikaalisiin ominaisuuksiin. Puuta voidaan käyttää rakennuksissa kantavana rakenteena, eristeenä ja pintamateriaalina. Puutuotteita on saatavilla monenlaisia, sahatavarasta puukuitueristeisiin. Oikein käytettynä puu kestää rakenteissa satoja vuosia. (Rinne 2018, 19, 21; Puuinfo Oy 2019.) Puun heikkouksia ovat sen palavuus ja lahoavuus (Rinne 2018, 21).

Puun solut koostuvat selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä, joka toimii puun sidosaineena ja tekee siitä yhtenäistä materiaalia. Selluloosaa on hyödynnetty pitkään paperin valmistuksessa, mutta nyt myös puun muille ainesosille on kehitteillä erilaisia uusia käyttötarkoituksia. (Rinne 2018, 19.)

Monissa puutuotteissa käytetään muoviliimoja, jotka eivät sovellu luonnonmukaisiin materiaaleihin ja joilla voi olla hengittävyyttä heikentäviä vaikutuksia. Esimerkiksi liimatuissa CLT-levyissä käytetään polyuretaaniliimoja, vanereissa fenoli ja formaldehydi -liimoja, sekä liimapuissa melamiini-urea-formaldehydiliimoja (MUF-liimoja), emulsiopolymeeri-isosyanaattiliimoja (EPI-liimoja) ja fenoli-resorcinoli-formaldehydiliimoja (PRF-liimoja). (Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2014; Pro Puu ry. 2015; Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy 2015, 11; Kaila 1997, 534–535.) Tämän vuoksi liimattuja CLT-levyjä, vaneria, liimapuuta ja kertopuuta ei voida tällä hetkelle käyttää luonnonmukaisessa rakenteessa.

Näille muoviliimoille on kuitenkin kehitteillä biopohjaisia ja turvallisia vaihtoehtoja. Esimerkiksi selluteollisuuden sivuvirrasta tuotettavalla reaktiivisella ligniinillä voidaan korvata useissa puuliimoissa oleva myrkyllinen fenoli. (Rautio 2017.)

Puupohjaisista tuotteista hengittäviä, muovittomia ja myrkyttömiä ovat monet puukuitulevyt, puukuitueristeet, käsittelemätön puutavara ja lämpökäsitelty puutavara.

Puukuitulevyt valmistetaan hakkeesta tai mekaanisen puusepänteollisuuden ylijäämämateriaaleista, kuten sahanpurusta, lastuista ja heikkolaatuisesta puusta (Rinne 2018, 112). Näistä saatu puumassa puristetaan ja hierretään kuuman vesihöyryn kanssa levyksi. Kuuma höyry ja hierto saavat puumassan huopaantumaan, jolloin puun kuidut tarttuvat toisiinsa. (Rinne 2018, 112.) Sideaineena levyissä toimii puun oma sideaine, ligniini (Suomen Tuulileijona Oy 2019b).

Puukuitulevyjä voidaan käyttää muun muassa seinien sisäpintoihin tapetin alle ja ulkoseiniin tuulensuojalevyiksi. Sillä voidaan myös lisäeristää ja tiivistää pintoja vetoa vastaan. Tuulensuojalevyihin on lisätty bitumia tai vahaa kosteuskestävyyden parantamiseksi. Se voi kuitenkin tehdä materiaaleista jo liian tiiviitä. (Rinne 2018, 112). Monet puukuitulevyt koostuvat niin puhtaasta puuaineksesta, että ne voidaan hävittää kompostoimalla (Suomen Tuulileijona Oy 2019b).



Kuva 2. Huokoinen puukuitulevy (Suomen Tuulileijona Oy 2019a)

Puukuitueristeet koostuvat huokoisesta puuaineksesta ja ne valmistetaan samoista raaka-aineista, kuin puukuitulevyt. Puukuitueristeitä on saatavilla puhallettavana ja eristelevyinä. Niiden käyttö ei vaadi paksumpia seinärakenteita mineraalivillaan nähden ja niiden valmistus kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa. (Hunton Oy/Ab 2019.) Valitettavasti ainakin Hunton Oy:n Puukuitueristelevyissä käytetään sideaineena muovikuitua (RT 2015).



Kuva 3. Puhallettavaa puukuitueristettä (Hunton Oy/Ab 2019)

Puraa syntyy sivutuotteena sahoilta ja höyläämöiltä. Se on edullinen, puhdas ja päästötön materiaali kunhan se on peräisin puhtaasta puusta, eikä esimerkiksi kestopuusta. (Rinne 2018, 95; Saatsi, E & Saatsi, P 2017, 14.) Purun lahon- ja palonkesto on melko huono ja se myös painuu enemmän kuin levyeristeet (Saatsi, E & Saatsi, P 2017, 14). Käytetty sahanpuru voidaan levittää maahan, jossa se maatuu hitaasti tai käsitellä puujätteenä (Rinne 2018, 95).

Kovalevy on puukuiduista vedellä, hiertämällä ja kovalla paineella muokattu ohut levy, jonka pinta on kiillotettu tasaiseksi ja pohjassa on viiran jäljet. Kovalevyn sideaineena toimii puun oma ligniini. Levy on hengittävä. Levyt eivät sisällä mitään ympäristölle tai ihmiselle vaarallista ainetta, joten niitä on turvallista käyttää ja ne voidaan hävittää vaikka kompostoimalla. Ruskeaa kovalevyä käytetään usein saneeraustyömailla lattioiden suojaukseen ja huonekaluteollisuudessa kaappien ja lipastojen taustalevynä. Seinissä levyä voi käyttää esimerkiksi sisäpinnan suoristamiseen. (Rinne 2018, 117; Suomen Kuitulevy Oy 2019.)

4.2 Savi

Savi on erittäin hienojakoinen maalaji, jota on etenkin Etelä-Suomessa ja rannikoilla runsaasti saatavilla ja usein vielä hyvin lähellä maanpintaa (Rinne 2018, 57; Westermarck ym. 1998, 16). Maarakennustoissa savi on monesti ongelmasta ja esimerkiksi tielaitos pyrkii pääsemään kaivetusta savesta eroon läjittämällä ja antamalla sitä ilmaiseksi tarvitseville. (Westermarck ym. 1998, 16).



Kuva 4. Kaivettua savea (Saviyhdistys savirakentamisen edistämiseksi ry. 2004)

Materiaalina savi on hengittävää ja palamatonta sekä massiivirakenteissa hyvin ääntä eristävää. Savesta ei irtoa haitallisia yhdisteitä sisäilmaan ja se on luonnostaan antibakteerista, joten sitä voidaan pitää käyttäjille terveellisenä rakennusmateriaalina. (Rinne 2018, 57, 61; The Natural Building Company 2016; Kaila 1997, 59) Raaka savi kutistuu ja halkeilee kuivuessaan, minkä vuoksi savirakenteita ei voi tehdä puhtaasta savesta, vaan siihen lisätään runkoaineeksi esimerkiksi hiekkaa ja sideaineeksi olkia tai puukuitua (Kaila 1997, 60; Lundsten ym. 1994, 12). Ilmaa sisältävillä kuiduilla voidaan parantaa savirakenteen lämmöneristävyyttä ja tehdä siitä kevyempää (Lundsten ym. 1994, 12). Ympäristön kannalta savi on erinomainen materiaali, sillä maasta tehdyt rakennukset kuorittavat ympäristöä kaikkein vähiten. Rakennusmateriaali on helposti saatavilla, sen työstäminen vaatii vähän energiaa ja jäteongelmaa ei synny, koska maa maatuu maaksi. (Kivekäs 1994, 9.)

Savi sopii hyvin yhteen puurakenteiden kanssa, sillä se sitoo hyvin vettä ja on hapanta, minkä ansiosta se suojaa ympärillään olevaa puuta lahottajasieniltä (Borg 2016, 39; Rinne 2018, 57, 61). Saven vetolujuus on heikko, mutta puristuslujuus suhteellisen suuri (10–45 kg/cm²). Tämän ansiosta savea voidaan käyttää

kantavana rakenteena, mutta aukkojen ylitykset täytyy tehdä holvaamalla ilma-kuivilla savitiilillä tai esimerkiksi puupalkeilla. (Kaila 1997, 62, 64.) Savirakenne tulee suojata vedeltä, sillä tarpeeksi kastuessaan saven mikrokooppiset savikiiteet irtoavat toisistaan ja savi menettää kantavuutensa (Rinne 2018, 57, Kaila 1997, 60).

Savea on käytetty maailmalla rakennusaineena jo pitkään, joten sen käytöstä löytyy paljon kokemusta. Tälläkin hetkellä noin yksi kolmasosa maailman ihmisistä asuu savesta rakennetuissa taloissa. Esimerkiksi Saksassa on noin 2,2 miljoonaa savirakennusta. (Kivekäs 1994, 9; Rinne 2018, 60.) Suomessa saven käyttö on ollut vähäisempää, koska ulkoseinärakenteena massiivisaviseinä eristää huonosti lämpöä. Se soveltuu parhaiten lämpimille ja keskilämpimille alueille. Kylmemmissä ilmastoissa seinä voi tarvita lisäeristettä. (Conran 2009, 147.)

Puhdasta savea lämpöä eristävämpää ja kevyempää on kevytsavi, joka koostuu savesta ja korsista. Kevytsavesta muotoillaan yleensä harkkoja, jotka muurataan yhteen savilaastilla. (Westermarck ym. 1998, 26.) Harkkojen ominaisuudet riippuvat aineiden seossuhteista ja harkkojen valmistuksessa käytetyn puristimen puristusvoimakkuudesta. Hyvään eristävyyteen päästään jäykällä korsilla kuten rukiilla, kauralla ja järviruo'olla. (Westermarck ym. 1998, 26.)



Kuva 5. Kevytsavesta tehtyjä harkkoja (Volhard & Westermarck 1994, kansi)

”Maailman väestöräjähdyistä ja köyhyyttä ajateltaessa savirakentamisen uusi tuleminen avaa mahdollisuuksia miljoonien asuttamiseen. Kaiken kaikkiaan näyttää siltä, että savi on vakavasti otettava tulevaisuuden materiaali” (Kaila 1997, 59-60.)

4.3 Ruoko

Ruokokasveista yleisimmin hyödynnetty on järviruoko, jota kasvaa Suomessa runsaasti rannoilla, ojissa ja ravinteisilla soilla. Matalissa vesissä se on yleensä tuottoisinta. Järviruo'on kasvu on viime vuosina kiihtynyt muun muassa ilmastonmuutoksen ja vesistöjen rehevöitymisen vuoksi. Siitä onkin muodostunut paikoin ongelma monille rannoille. Se heikentää veden virtausta, tuo haisevaa kasvimassaa rantaan, peittää maisemaa, hankaloittaa rantojen virkistyskäyttöä sekä laskee rantakiinteistöjen arvoa. Näin ollen järviruo'on korjuu hyötykäyttöön parantaisi vesistöjemme kuntoa ja pitäisi rantamme siistimpänä. (Ympäristöhallinto 2015; Westermarck ym. 1998, 12.)



Kuva 6. Järviruoko eli ”kaisla” (Peda.net 2019)

Ruo'olla on ilmaa sisältävän onton korren ansiosta hyvä lämmön ja ääneneristyskyky. Rakennustuotteisiin sitä voidaan hyödyntää täyspitkinä, lyhennettynä, silppuna, paalattuna tai levyinä (Lautkankare & Alijoki 2013, 24). Yleisimmin ruokoa on käytetty kattomateriaalina, mutta siitä valmistetaan myös seiniin soveltuvia ruokolevyjä.

Ruokolevy on tehty kuivatuista järviruo'oista, jotka on ommeltu yhteen galvanoidulla rautalangalla. Levyä voidaan käyttää lämpö- ja äänieristeenä sekä rapausalustana. Ruo'olla on korkea pihappopitoisuus, mikä saa ruokolevyn kestämään hyvin kosteutta ja tuholaisia. Levy ei myöskään pala, vaan hiiltyy korkeassa kuumuudessa hitaasti. (Westermarck ym. 1998, 35.) Galvanoidulla rautalangalla ommeltu ruokolevy ei ole luonnonmukainen tuote, mutta jos rautalanka voitaisiin korvata esimerkiksi hamppunarulla materiaali olisi luontoon soveltuva.



Kuva 7. Järviruo'oista tehty ruokolevy (Roomaja Oy 2018)

4.4 Olki

Olki on maataloudessa syntyvää jätettä, joka muodostuu viljan puinnin yhteydessä viljakasvien varsista eli korsista (Tuomi 2001, 9). Puinti tapahtuu leikkupuimurilla, joka yleensä silppuaa korret pätkiksi. Korret voidaan myös jättää silpuamatta, jolloin ne jäävät kokonaisiksi pelloille. (Ahonen 2016). Kokonaisista korsista muodostetaan heinäpaaleja traktorivetoisella kanttipaalaimella (Mattilan koneasema Oy 2011). Yleensä olki joko silputaan peltoon, käytetään eläinten kuivikkeena tai poltetaan lämmön tuottamiseksi. Mutta sille voisi olla parempaakin käyttöä. Suomalaisen suunnittelu- ja rakennusyritys, The Natural Building Company Oy:n mukaan hukkaan heitetystä oljesta voisi tehdä vuodessa jopa 400 000 omakotitaloa (Hakala 2017).



Kuva 8. Traktorin perässä vedettävä kanttipaalain kerää korret maasta ja muodostaa niistä kantikkaita heinäpaaleja (Mattilan koneasema Oy 2011)

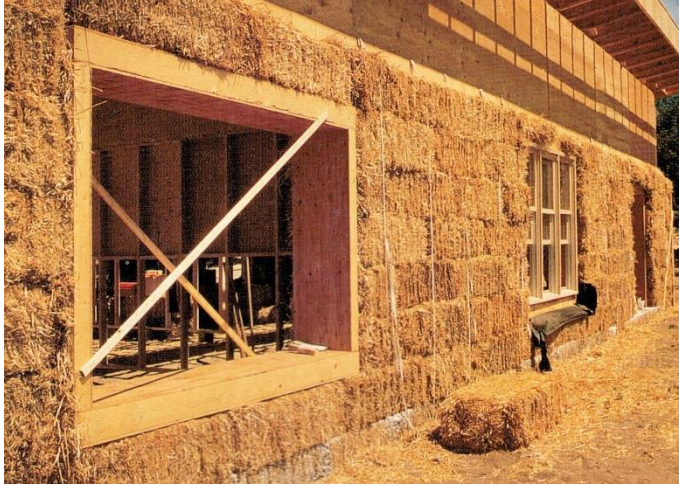
Olki on vaikeasti lahoavaa ja huonosti palavaa, mikä tekee sen hävittämisestä työlästä (Tuomi 2001, 9). Tämä ei kuitenkaan aiheuta ongelmia rakennuskäytössä, sillä juuri näitä ominaisuuksia rakennusmateriaaleilta halutaan. Lisäksi olki on halpaa ja myrkytöntä eikä sen tuotannossa synny jätettä eikä merkittävästi saasteita (Tuomi 2001, 9). Olki sisältää lähes samoja ainesosia kuin puu, mutta kasvaa huomattavasti nopeammin ja on myös puuta eristävämpää. (The Natural Building Company Oy 2019a.)

Täysolkirakenteet kootaan yleensä valmiista olkipaaleista. Niistä voidaan helposti muotoilla esimerkiksi kaarevia pintoja ja holveja. Oikein tehty olkipaalirakenne on hengittävä, pitkäikäinen ja paloturvallinen, sillä olki ei sisällä tarpeeksi happea palaakseen. (Tuomi 2001, 9.) Olkipaalien yleinen koko on 400x600x800–1200 mm ja lämmönjohtavuus korsien suuntaan 0,06–0,065 W/mK sekä korsia vastaan 0,05 W/mK (Westermarck ym. 1998, 24).



Kuva 9. Olkipaalin pinta (The Natural Building Company Oy 2019b)

Puu sopii hyvin vaipparakenteisen olkipaaliseinän kantavaksi rungoksi. Paalit toimivat seinässä lämmöneristeenä ja runko voidaan jättää piiloon seinän sisälle tai tuoda näkyviin sisäpintaan (Tuomi 2001, 20). Liian tiivis seinäpinta olkipaalien päällä heikentää olkien kuivumista ja voi aiheuttaa olkien mätänemistä (Tuomi 2001, 30).



Kuva 10. Olkipaaleista koottu kantava ulkoseinä (Snell & Callahan 2009, 388)

Liettualainen yritys, EcoCocon, valmistaa oljesta olkielementtejä, joissa vehnän olki toimii eristeenä puurungon välissä. Heidän seinärakenteessaan elementtien sisäpintoihin tulee kolmikerroksinen savirappaus ja ulkopuolelle tuulensuojaksi Tyvek-kangas ja puukuitulevy. Elementit toimivat sekä kantavana rakenteena, että eristeenä. Suomalainen The Natural Building Company Oy toimii elementtien maahantuojana ja valmistaa niistä myös itse rakennuksia. (The Natural Building Company Oy 2019a.)



Kuva 11. Olkielementtejä asennettavana työmaalla (The Natural Building Company Oy 2019a)

4.5 Lampaanvilla

Suomessa lampaat keritään yleensä kaksi kertaa vuodessa, josta villaa syntyy yhteensä noin 90 000 kiloa (Haakana 2018). Tällä hetkellä kuitenkin noin puolet suomalaisesta lampaanvillasta heitetään roskiin. Villan jatkojalostajat eivät ota vastaan likaista, roskaista tai huopunutta villaa. Tuottajille taas maksetaan villasta niin vähän, ettei sen puhdistaminen ja kuljetus ole kannattavaa. (Valta 2019.) Rakennustuotteissa villan laadulla ja puhtaudella ei ole niin suurta merkitystä, joten niissä voitaisiin hyödyntää hukkavillaa, joka ei lankateollisuuteen kelpaa.

Lampaanvilla kykenee sitomaan itseensä vettä jopa 30% kuivapainostaan ilman, että se tuntuu märältä tai, että sen lämmöneristävyys heikkenisi. Villan sisältämä keratiini ja villaan imeytynyt vesi tekevät siitä vaikeasti syttyvän. Villan syttymispiste on 560-600°C, mikä on luonnonkuiduista korkein. Villa palaa kytemällä, tuottaen vain vähän lämpöä ja sammuu itsestään. (Westermarck, Heuru & Lundsten 1998,11; Saatsi & Saatsi 2017, 13.)

Lampaanvillasta tehdään pääasiassa eristäviä tuotteita. Eristeitä on saatavilla rullana, levynä, mattona ja hirrenvälinauhana (Sheep Wool Insulation Ltd. 2019) Lampaanvillaeriste ei tarvitse sideaineita pysyäkseen levynä, joten esimerkiksi muovikuidut voidaan jättää siitä pois (Saatsi, E & Saatsi, P 2017, 15). Villaeristeissä ei myöskään tarvita homeenestoaineita, koska villan valkuaisainekuidut eivät toimi homeitiöiden kasvualustana (Saatsi, E & Saatsi, P 2017, 13).

Lampaanvillaa on helppo leikata ja muotoilla. Se on kierrätettävä, uusiutuva ja biohajoava materiaali, jolla on luontainen kestävyys lahoamista ja mädäntymistä vastaan. Sillä on myös hyvä akustinen ja lämpötekninen suorituskyky. (Conran 2009, 33.) Lampaanvillan ongelmana on siinä viihtyvät hyönteiset, kuten koit ja turkiskuuoriaiset. Näiden torjumiseksi lampaanvillaeristeitä käsitellään ionisoimalla. (Westermarck ym. 1998, 47; Saatsi, E & Saatsi, P 2017, 15.) Valmistajat eivät tosin kerro mitä ionisointikäsitely tarkalleen tarkoittaa, joten sen toimivuutta ja turvallisuutta tulisi selvittää lisää.

Lampaanvillaeristeitä ei tällä hetkellä valmisteta Suomessa, vaan niitä tuodaan esimerkiksi Itävallasta (Saatsi, E & Saatsi, P 2017, 15). Monet eristeistä sisältävät

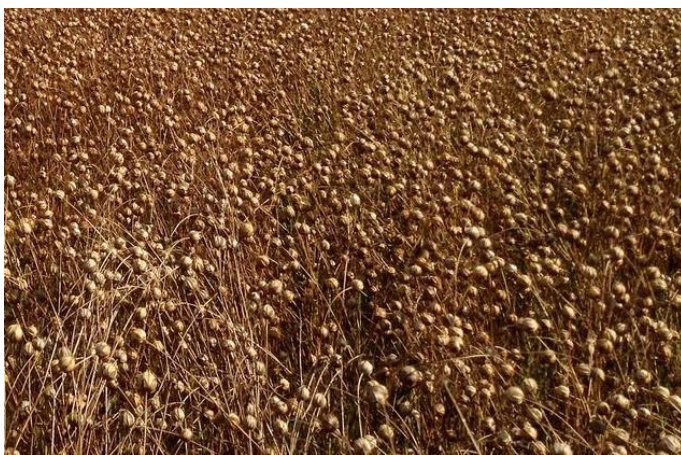
muovikuitua ja muita lisäaineita, mutta ainakin irlantilainen yritys, Sheep Wool Insulation Ltd. valmistaa tuotteensa puhtaasti lampaanvillasta.



Kuva 12. Lampaanvillaeristerulla (Sheep Wool Insulation Ltd. 2019)

4.6 Pellava

Pellavasta viljellään yleensä kahta muotoa, kuitupellavaa ja öljypellavaa. Kummastakin saadaan rakennusteollisuuteen soveltuvaa kuitua, mutta kuitupellavasta öljypellavaa enemmän. Kuitua käytetään eristeiden valmistuksessa. Kuidun irrotuksen yhteydessä syntyy myös korsisilppua eli päistärettä, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi sitovana kuituna savirappauksessa. (Westermarck ym. 1998, 9; Rinne 2018, 92.)



Kuva 13. Puintivalmista pellavaa (Kaski 2013)

Pellava on yksi edullisimmista kasvipohjaisista eristetuotteista ja se soveltuu hyvin hengittäviin rakenteisiin (Conran 2009, 33). Siitä ei irtoa haitallisia aineita huoneilmaan eikä se kelpaa tuhohyönteisten ravinnoksi (Rinne 2018, 92). Pellavaa on mukava käsitellä eikä sen asennuksessa tarvita hengityssuojaimia (Kaila 1997, 523).



Kuva 14. Karkeaa pellavakuitua eli tappuraa (Rinne 2018, 93)

Pellavaeristeitä on saatavilla paksuina laattoina, rullina ja hirrenvälinauhana (Rinne 2018, 92). Eristeet valmistetaan kuivatuista pellavan korsista, jotka muokataan kuiduiksi mekaanisesti ilman lisäaineita. Kuidut neulotaan yhteen non-woven tekniikalla, joten ainakaan pienemmissä paksuuksissa ei tarvitse käyttää sideaineita. Eristeisiin lisätään homeen- ja palontorjunta-aineita, kuten booriyhdistettä ja vesilasia. (Westermarck ym. 1998, 46; Kaila 1997, 523.)

Suomen ainoa pellavaeristettä valmistava yritys on Isolina Oy, mutta he käyttävät eristeissään sidosaineena uusiokiinnityskuitua eli kierrätysmuovia (Isolina Oy 2019; Rinne 2018, 92). Näin ollen eriste ei ole täysin biohajoava. Muovittomia pellavaeristeitä tuodaan Suomeen Virosta (Rinne 2018, 92). Suomessa valmistettu pellavaeriste ei myöskään ole täysin kotimainen, sillä kuituraaka-ainetta tuodaan ulkomailta (Saatsi, E & Saatsi, P 2017, 15). Pellavaa kuitenkin viljellään Suomessa ja vuotuinen korsisato on yleensä EU-maiden suurimpia (Farmit Website Oy 2019).



Kuva 15. Pellavaeristelevyjä (STARK 2015)

4.7 Hamppu

Hamppu on luonnollinen, kierrätettävä, uusiutuva ja biohajoava tuote, joka sopii hengittäviin rakenteisiin. Sen tuotanto vaatii vain vähän energiaa. Se on tihein luonnollinen eristemuoto. Hamppu on myös kestävä ja sillä hyvä lämmön- ja ääneneristyskyky sekä sitä on turvallista asentaa. (Conran 2009, 33.)

Hamppua on viljely Suomessa jo 6000 vuotta sitten ja sen viljely oli suurimmillaan 1880-luvulla. 1950-luvulla kaikkien hamppulajikkeiden viljely kiellettiin Suomessa, koska YK:n huumausaineiden yhteissopimusta tulkittiin niin, ettei edes teollisia hamppulajikkeita, joilla ei ole päihdyttäviä vaikutuksia, ollut lupaa viljellä. Näiden lajikkeiden viljely sallittiin kuitenkin uudelleen vuonna 1995 Suomen liityttyä Euroopan unioniin. Tällä hetkellä Suomessa viljellyillä sertifioituilla kuituhamppulajikkeilla ei ole narkoottisia vaikutuksia, joten ne eivät sovellu päihteeksi. (HempRefine 2019; Westermarck, Heuru & Lundsten 1998,10.)

Yksi hehtaari kuituhamppua tuottaa noin neljä kertaa enemmän selluloosakuitumassaa kuin hehtaari puuta (Herer 2015, 26). Kuituhampusta saadaan rakennusmateriaaleihin sekä pitkää kuitua, että lyhyttä, puumaista, huokoista päistärettä. Pitkiä kuituja käytetään levyeristeisiin ja päistärettä runkoaineena hamppubetoniin. Yksi hehtaari kuituhamppua tuottaa riittävästi päistärettä yhden keskikokoisen omakotitalon rakentamiseen. (Norokytö & Simi 2018, 17.)



Kuva 16. Pitkää hamppukuitua (HempRefine 2019)

Hamppukuitu kestää hometta paremmin kuin puukuitu eikä sillä ole havaittu merkittäviä tuholaisia. Se kestää muuttumattomana jopa 370 °C:n kuumuudessa eikä myöskään turpoa kastuessaan. (HempRefine 2019; Westermarck, Heuru & Lundsten 1998,10.) Tulipalon sattuessa siitä erittyy vähemmän myrkyllisiä kaasuja, kuin synteettisistä materiaaleista (Herer 2015, 26).

Hampusta valmistetaan rakennuskäyttöön sekä eristelevyjä, että valettavaa hamppubetonia. Hamppueristelevy valmistetaan hampun pitkistä kuiduista. Eristeen palonestoaineena käytetään soodaa ja sidosaineena sokerijuurikkaasta ja -lostettua polylaktidia tai kierrätysmuovia. Näistä polylaktidi on luonnonmukaiseen eristeeseen sopiva vaihtoehto. (HempRefine Oy 2014.)



Kuva 17. Hamppueristelevy (HempRefine Oy 2014)

Hamppubetoni tehdään hampun päistäreistä, sammutetusta kalkista ja vedestä. Joukkoon voidaan lisätä myös erilaisia lisäaineita haluttujen ominaisuuksien saamiseksi. Hamppubetonista valettu rakenne on yhtenäinen, ilmatiivis, lämpöä eristävä ja painumaton. Betoni kuivuu noin 300 mm kahdessa kuukaudessa. Rakenteen pinnoittaminen pidentää sen kuivumisaikaa. Hamppubetonista voidaan valmistaa myös elementti- ja harkkotuotteita, joissa kuivuminen tapahtuu jo tehtaalla, eikä tällöin pitkiä rakennusaikaa. Hamppubetonia on tutkittu Pohjoismaissa melko vähän, eikä materiaalille ei ole vielä suunnitteluohjeita eikä standardeja edes ulkomailla. (Rakennetaan hampusta 2019; Norokytö & Simi 2018, 17, 21, 35, 41.)



Kuva 18. Puurunkoinen hamppubetoniseinä (HempRefine 2019)

4.8 Paperi

Paperia valmistetaan useimmiten puusta tehdystä sellusta ja mekaanisesta massasta. Näitä molempia saadaan esimerkiksi harvennushakkuussa kaadetuista pienikokoisista puista, jotka eivät sovi puutavaran tuotantoon. (Biotalous 2019.) Paperin raaka-aineena voidaan käyttää myös muita luonnonkuituja, kuten hampua ja puuvillaa. Esimerkiksi seinissä käytettävä lumpupaperi on osittain valmistettu puuvillakuidusta, jota on saatu käytetyistä tekstiileistä. (Domus Classica 2019a).

Paperi on uusiutuva ja kierrätettävä materiaali (Biotalous 2019). Selluloosapaperi on muoviton ja hengittävä (Rinne 2018, 164). Paperin lujuus perustuu puun pit-

kien solujen uudelleen kiinnittymiseen toisiinsa sellunkeiton irrotusvaiheen jälkeen (Rinne 2018, 19). Seinärakenteissa käytettäviä paperituotteita ovat muun muassa makulatuuripaperi, lumpupaperi, ilmansulkupaperi ja tapetti.

Makulatuuripaperi on valkoista painamatonta tapettipaperia (Pihlgren ja Ritola Oy 2019). Sitä käytetään esimerkiksi puukuitulevyn päällä levyn kiinnikkeiden ja saumojen piilottamiseen sekä pinnan tasaamiseen. Makulatuuripaperi voidaan maalata tai tapetoida. Paljas makulatuuripaperi kellastuu ajan myötä, joten pintakäsittely on suositeltavaa. (Domus Classica 2019b.)



Kuva 19. Makulatuuripaperi (Domus Classica 2019b)

Ilmansulkupaperilla estetään liian nopeaa ilmavirtausta rakenteen läpi. Se päästää kuitenkin lävitseen jonkin verran kosteutta, joten se on hengittävä materiaali. Ilmansulkupaperituotteesta tulee kuitenkin varmistaa, että se ei sisällä muovia, vaan on täysin puukuitupohjainen. Esimerkiksi Ekovillan X5-ilmansulkupaperissa on kahden paperin väliin laminoitu muovi. Muovin avulla paperi on täyttänyt aikaisempien rakennusmääräyksien mukaisen ilmatiiveyden. (Rinne 2018, 140-143). Markkinoilla on kuitenkin saatavilla täysin puupohjaisia ilmansulkupapereita.

Tapetti on tapettiliisterillä seinälle liimattava pitkä paperivuota, jossa voi olla erilaisia värejä ja kuvioita. Tapetti koostuu yleensä tapettipaperista ja pinnoitteesta. (Rinne 2018, 147). Paperin koostumus ja pinnoite tekevätkin hengittävän ja luonnonmukaisen tapetin löytämisestä haastavaa. Nykyään paperitapetin pinnassa on yleensä ohut muovikalvo ja tapetin painovärit ovat synteettisiä (Rakennustieto Oy 2006, 281). Muovikalvo tekee tapetista helposti asennettavan, pyyhittävän ja venymättömän (Rinne 2018, 151). Uuteen Non-woven tapetin paperimassaan on

myös lisätty polyesteriä eli muovia (Rinne 2018, 164). Muovit eivät sovi luonnonmukaisiin materiaaleihin ja heikentävät seinäpinnan hengittävyttä. Tapetin tulee olla täysin hengittävä, jotta rakenteilla on mahdollista kuivua riittävän nopeasti (Rinne 2018, 151).

Suomalainen tapettiyrittäjä, Pihlgren ja Ritola, valmistaa monen näköisiä tapetteja luonnonmukaisilla papereilla ja väreillä. Heiltä on myös mahdollista saada tapetteja ilman suojaavaa muovikalvoa (Rinne 2018, 150–151).

Sekä makulatuuripaperin, että tapetin kiinnitykseen käytettävän liisterin tulee olla puhdasta kasviperäistä kuitua (Rinne 2018, 151). Tähän tarkoitukseen on saatavilla jauhemaista veteen sekoitettavaa liisteriä, joka koostuu puhtaasti sellulosaatärkkelyksestä (Domus Classica 2019c).

4.9 Rappaukset

Rappaus tarkoittaa erilaisten pintojen päällystämistä ja tasoittamista laastikerroksella. Rappauspinnat voidaan jättää sellaisiksi tai pinnoittaa halutulla tavalla. Luonnonmukaisista rappaustavoista yleisimpiä ovat savirappaus, kalkkirappaus ja kipsirappaus. Nämä kaikki ovat kiviainespohjaisia ja hengittäviä. Rappaukset voidaan tehdä yksi-, kaksi- tai kolmikerrosrappauksena, mutta nykyisin käytetään pääsääntöisesti kolmikerrosrappausta (Rinne 2018, 55).

Savirappaus on viime aikoina jälleen yleistynyt sekä vanhojen talojen kunnossuoksessa, että uusissa rakennuksissa. Savirappauksen hyviin puoliin kuuluu sen erinomainen kyky tasata huoneilman kosteutta. Savirappauksen hengittävyys voidaan säilyttää parhaiten maalamalla se liima- tai kalkkimaalilla (Rinne 2018, 59).

Savirappaukseen käytettävä savilaasti koostuu pääosin savesta ja hiekasta, joihin sekoitetaan sideaineeksi kuituja halkeilun estämiseksi. Savirappauksella saadaan tasainen ja vedoton pinta. Se on elastinen rappausmateriaali, jota on helppo työstää. Savi soveltuu hyvin esimerkiksi olkipaaliseinien pinnoittamiseen. Laasti kestää kuitenkin huonosti kosteutta, vaikka vesi haihtuukin siitä nopeasti. (Rinne 2018, 58; Tuomi 2001, 32.)



Kuva 20. Rouheaksi jätetty savirappauspinta (The Natural Building Company 2016)

Kalkkirappaus on kalkkilaastilla tehty kestävä, huokoinen ja hengittävä rappaus, joka voidaan viimeistellä kalkkimaalilla. Kalkki ehkäisee homeen muodostumista ja karkottaa monia tuholaishyönteisiä. (Tuomi 2001, 33–34.) Kalkkilaasti on Portland-sementtiä huokoisempaa, pehmeämpää ja joustavampaa. Sen on myös huomattu sopivan moniin kohteisiin kovaa sementtiä paremmin. (Rinne 2018, 65, 67.) Kalkkilaastiin voidaan sekoittaa kuituja, jotka estävät sen halkeilua. Kalkkilaasti kovettuu ilmassa olevan hiilidioksidin avulla. Kovettuminen vaatii 50–80 prosentin suhteellisen kosteuden. (Tuomi 2001, 33.)



Kuva 21. Kalkkirappausta savirappauksen päällä (Snell & Callahan 2009, 468)

Kipsirappaus on hengittävä, huokoinen ja varteenotettava vaihtoehto sementille ja kalkille. Se läpäisee vettä paremmin kuin sementtitasoite, mikä tekee siitä paremman hengittäviin rakenteisiin (Conran 2009, 88). Kipsiä on käytetty paljon jul-

kisivuissa ja niiden koristeissa, mutta se soveltuu huomattavasti paremmin sisäseiniin, sillä se ei kestä vettä. (Tuomi 2001, 35; Rinne 2018, 62.) Rapatut seinät voidaan jättää sellaisiksi tai viimeistellä esimerkiksi ohuella vahakerroksella pölyntymisen estämiseksi (Conran 2009, 88).

4.10 Sisämaalit

Monet teollisesti valmistetut sisämaalit sisältävät muovia ja tekevät seinän pintaan hengittämättömän kalvon. Oikean sisämaalin valinnassa tulee olla tarkkana, sillä myös luonnollisena ja hengittävänä myytävä tuote voi sisältää muovia ja muita luontoon sopimattomia aineita. Jos seinät maalataan emulsiomaalilla, ne käytännössä tiivistetään ohuella muovikerroksella, joka riskialtistaa seinän hengittävyden. Maalin muoviaines tekee siitä staattista, joka tarkoittaa, että sen pinta houkuttelee itseensä pölyä ja bakteereja. (Conran 2009, 90.) Hengittäviä ja luonnonmukaisia maalityyppejä ovat esimerkiksi kalkkimaali, liimamaali, pellavaöljy maali ja temperamaali.

Kalkkimaali on kestävä ja hengittävä kalkki- ja savirappauspinnoille sekä muille huokoisille pinnoille soveltuva maali. Se valmistetaan kalkkiveteen sekoitetusta märkäsammutetusta kalkkitahnasta. Kalkkimaalilla on hieman antiseptisiä eli bakteereita tuhoavia sekä hyönteisiä karkottavia ominaisuuksia. Tämän vuoksi sitä on käytetty muun muassa talouskellareissa ja navetoissa. Kalkkimaalipinta ei ole pestävä ja maalia voi tarttua vaatteisiin ja käsiin maalattua pintaa koskiessa. (Tuomi 2001, 35–36; Edwards & Lawless 2006, 64.)

Sisustusmaalaukseen on Suomessa myytävillä kalkkimaaleja, jotka eivät oikeasti ole kalkkimaaleja, vaan lähempänä liitumaaleja. Tämä johtuu liitua tarkoittavan sanan ”chalk” käänkövirheestä. Tosin ne eivät yleensä ole aitoja liitumaaleja, sillä ne sisältävät usein muovisideaineita. (Suomen Luonnonmaalit Oy 2019.) Nämä kalkkimaalit eivät siis sovi hengittäville rakenteille.

Liimamaali voidaan tehdä kasvi- tai eläinpohjaisesta liimasta, kuten sellulosaasta tai luuliimasta. Maali koostuu liimasta, täyteaineesta ja pigmentistä. Täyteaine vähentää maalin läpinäkyvyyttä ja tarvittavaa pigmenttimäärää. Maali soveltuu vain imukykyisille pinnoille eikä maalipintaa voi pestä. (Rinne 2018, 175; Edwards & Lawless 2006, 24, 60.)

Pellavaöljymaali on hengittävä maali, joka valmistetaan keitetystä pellavaöljystä eli vernissasta, johon lisätään pigmenttiä ja muita lisäaineita (Rinne 2018, 151). Maalin kuivuminen kestää pitkään eikä se ikinä kuivu täysin kovaksi. Näin ollen se pysyy elastisena ja pystyy elämään sillä maalatun puun mukana. Pellavaöljymaali soveltuu puhtaille puupinnoille sisällä ja ulkona. (Edwards & Lawless 2006, 68.)

Tempera on pellavaöljystä, vedestä ja emulgaattoriaineesta valmistettu sisämaali. Emulgaattorin avulla vesi ja pellavaöljy saadaan sekoamaan keskenään. Emulgaattoriaineena voidaan käyttää esimerkiksi kananmunaa, kaseiinia, luonnonhartseja, joitakin eläinliimoja tai luonnonkumia. Sana tempera tulee italiankielen verbistä "temperare", joka tarkoittaa sekoittamista. Temperamaali sopii parhaiten puulle ja puolikoville pinnoille kuivissa sisätiloissa. Maalia voidaan käyttää myös rappauksen päällä. (Rinne 2018, 180.)

Luonnonmukaisia maaleja on näiden lisäksi vielä monenlaisia. Tällaiset maalit ovat yleensä ekologisia, päästöttömiä ja biohajoavia. Niitä valmistaa esimerkiksi Suomalainen Uula Color Oy ja jälleenmyyjä Suomen Luonnonmaalit Oy.

4.11 Materiaalitalukko

Työssä käsitellyistä materiaaleista löydetty tekniset tiedot on kerätty alla olevaan taulukkoon. Taulukkoon ei ole merkitty materiaaleja, joista näitä tietoja ei löytynyt. Taulukon tarkoituksena on helpottaa seinärakenteiden suunnittelua ja sen ominaisuuksien tutkimista. Taulukon arvoja on hyödynnetty seuraavassa osiossa seinärakenteiden muodostamisessa ja analysoinnissa.

Taulukko 1. Teknistä tietoa materiaaleista

Tuote	Paksuus [mm]	Lämmönjohtavuus [W/mK]	Vesihöyrynläpäisevyys [kg/msPa]	Tiheys [kg/m ³]	Paloluokka (Euroluokka)	Lähde
Puutavara (mänty)		0,14-0,22	4,00E-12	370-550		Puuinfo Oy 2019; DOF-Lämpö 2019
Puutavara (kuusi)		0,14-0,22	4,00E-12	300-470		Puuinfo Oy 2019; DOF-Lämpö 2019
Eristeet						
Puru ja kutterinlastu seos 1:1 (sullottuna)		0,08	7,00E-11	200		Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003, 13; Vinha ym. 2005, 193-204
Puhallettava puukuitueriste (Hunton Nativo)		0,038			E	Hunto Oy/Ab 2019
Pellavaeristelevy	30, 50, 75, 100, 125, 150	0,038	1,30E-10	39	B2, E	Isolina Oy 2019; Vinha ym. 2005, 18, 187-192
Hamppueristelevy	100	0,0404		35-40	B2, E	HempRefine Oy 2014
Lampaanvillaeriste (Sheepwool Insulation Comfort Roll)	50, 75, 100, 150	0,0339-0,042		14		Sheep Wool Insulation Ltd. 2019
Olkipaali	300, 400	0,05-0,065		100-150		Westermarck, Heuru & Lundsten 1998, 24
Olkielementti (EcoCocon)	400	0,056				EcoCocon 2019
Kevytsavi	400	0,10-0,12		300		Volhard & Westermarck 1994, 122; Westermarck, Heuru & Lundsten 1998, 27
Hamppubetoni		0,06-0,09	9,00E-10	430		Rakennetaan hampusta 2019; Dhakal 2016, 29
Levyt						
Ruokolevy	25, 50	0,056				Roomaja Oy 2019
Huokoinen puukuitulevy (Huokoleijona)	12, 25	0,049		240	E	Suomen Tuulileijona Oy 2019a
Tuulensuojalevy (Runkoleijona)	25	0,049	1,39E-09	250	E	Suomen Tuulileijona Oy 2019c
Kovalevy (Leijona Rakentajanlaatu)	3, 5, 6		1,30E-12	900		Suomen Kuitulevy Oy 2019; Vinha ym. 2005, 46-48
Paperit						
Ilmansulkupaperi (Muoviton)	0,46		7,80E-14	990		Ypap Oy 2016; Vinha ym. 2005, 19, 157-158
Makulaturipaperi						
Laastit						
Kalkkilaasti	0-10		2,00E-11			Saint-Gobain Finland Oy 2019a; DOF-Lämpö 2019
Kipsilaasti	10-50		2,00E-11			Saint-Gobain Finland Oy 2019b; DOF-Lämpö 2019
Savilaasti	0-10					Clayworks 2019
Maalit						
Pellavaöljymaali			1,00E-14			Ruus ym. 2011, 198
Kananmunatempera			3,00E-14			Ruus ym. 2011, 198

5 SEINÄRAKENTEET JA ANALYYSI

5.1 Lähtötiedot

Tähän osioon on koottu erilaisia hengittävistä ja luonnonmukaisista materiaaleista koostuvia ulkoseinä rakenteita. Näiden rakenteiden kosteuden ja lämmön muutoksia tarkastellaan DOF-Lämpö -ohjelmalla. DOF-Lämpö -ohjelma on tarkoitettu U-arvojen laskemiseen ja kosteuden kulun havainnoimiseen. Ohjelmaa on käytetty verkkoselaimella Laskentapalvelut.fi -sivuston kautta.

Kaikki muodostetut ulkoseinä rakenteet, hirsiseinää lukuun ottamatta, ovat monikerroksisia vaipparakenteita, joiden sisällä on kantavana rakenteena puurunko. Rungossa käytetyn puutavaran mitat ovat yleensä 50 mm x 200 mm ja runkotolppien jako 400 mm keskeltä keskelle. Materiaalikerrokset on esitetty rakennuksen sisäpinnasta julkisivuverhouksen tuulettuvaan ilmarakoon asti.

Seinä rakenteet on muodostettu niin, että ne täyttävät rakennusmääräysten mukaiset U-arvot. Seinä rakenteen lämmönläpäisykertoimena käytetään vertailuarvona eli U-arvona 0,17 W/m²K. Massiivipuuseinälle tätä on nostettu vuoden 2018 alussa arvoon 0,40 W/m²K. Sitä käytetään työssä massiivihirsiseinälle. Muihin luonnonmateriaaleista koostuviin rakenteisiin tämä ei vaikuta. (Rakentamismääräyskokoelma 1010/2017 24 §.) Rakenteita tutkitaan säävyöhykkeen I säätietojen mukaisesti. Alueellisesti säävyöhykkeeseen I kuuluvat Uusimaa, Varsinais-Suomi, Satakunta ja Ahvenanmaa. (Rakentamismääräyskokoelma 1010/2017, Liite 1.)

Seinä rakenteen muodostamiseksi ohjelmaan syötetään materiaalien paksuus, lämmönjohtavuus ja vesihöyrynläpäisevyys, sekä mahdolliset kylmäsillat. Kylmäsilloiksi määritetään esimerkiksi eristeen kanssa samassa kerroksessa oleva puurunko.

Vesihöyryn läpäisevyydellä tarkoitetaan vesihöyryn siirtymistä diffuusiolla rakenteen läpi. Mitä suurempi vesihöyryn läpäisevyys on, sitä helpommin vesihöyry läpäisee materiaalin. Materiaalien vesihöyrynläpäisevyyksissä on suuria eroja. Esimerkiksi 100 mm paksun betoniseinän vesihöyrynläpäisevyys on noin sata

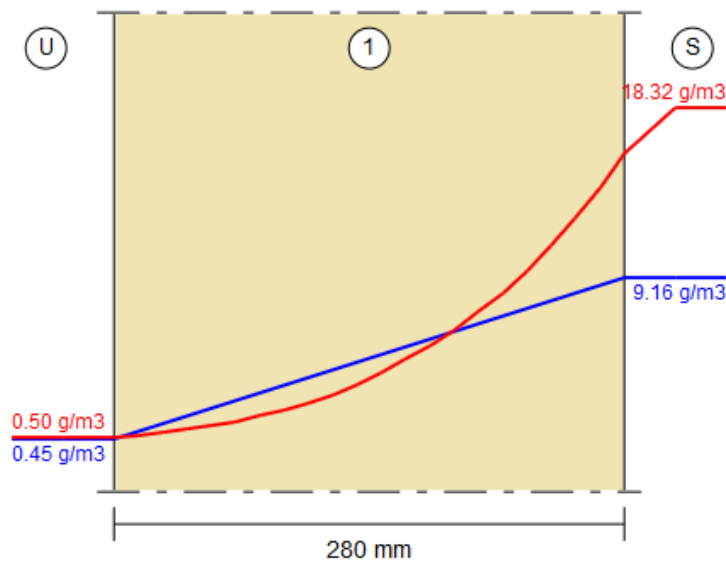
kertaa saman paksuista mineraalivillaa suurempi. (Sisäilmayhdistys ry 2019.) Hengittävät materiaalit läpäisevät yleensä hyvin vesihöyryä.

DOF-Lämpö -ohjelma muodostaa siihen syötetyistä materiaaleista havainnollisen rakennekuvan, jossa on numeroituna kaikki rakennekerrokset materiaaliluetelon mukaan. Rakennekuvassa näkyy myös lämpötilan muutosta kuvaava punainen käyrä ja kosteuden muutosta kuvaava sininen käyrä. Teoriassa lämpö- ja kosteuskäyrien risteämiskohtaan syntyy veden tiivistymispiste eli kastepiste.

Taulukko 2. DOF-Lämpö -ohjelmassa käytetyt lähtötiedot

Ohjelman versio	DOFLämpö-2017-12-01
Projektitiedot	
Rakennusluokka	1 Pientalo (tai paritalo)
Perustiedot	
Rakenne	Seinä (tuuletetulla ilmaraolla)
Rakenneosan kokonaispinta-ala (m ²)	1 m ²
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W)	0,04
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W)	0,13
Kylmäsiltojen päällekkäisyys	Ristikkäin (ristiinkoolaus)
Ilmaraon korjaustermi ΔU (W/m ² K)	0,01
Tarkasteluhetket	
Säätietokannat	RakMk D3 2012, säävyöhyke 1

5.2 US1



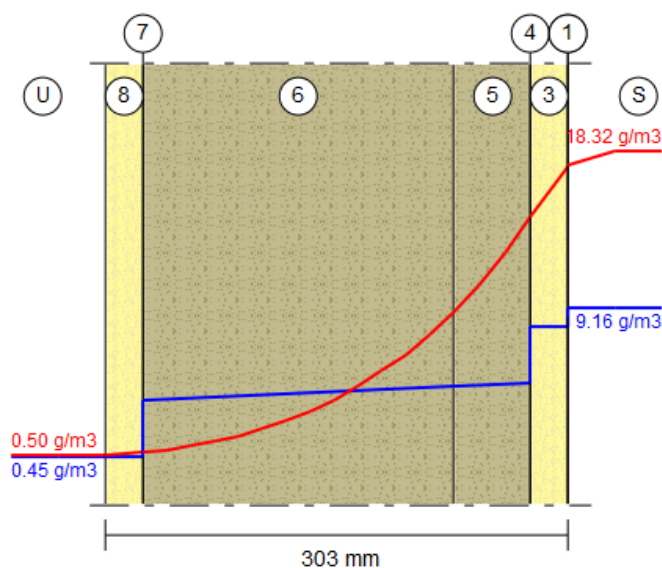
Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	280.00	Hyölätty massiivihirsi 450 kg/m ³	0.120	-

Kuvio 1. Massiivihirsiseinä, U-arvo = 0,40 W/m²K (DOF-Lämpö 2019; Suomirakentaa.fi 2019)

Täyspuinen hirsiseinä on otettu vertailukohteeksi, sillä se on käytännössä todettu toimivaksi rakenteeksi. Hirsirakenteessa on muista seinistä poiketen valittu ohjelmaan rakennusluokaksi hirsirakennus ja rakenteeksi hirsiseinä tuulettuvalla ilmaroolla. Hirsiseinän vaadittu U-arvo on 0,40 W/m²K ja se saavutettiin 280 mm vasta paksulla seinällä.

Ohjelma muodostaa rakenteen sisälle kastepisteen, niin kuin kappaleessa 2 todettiin. Lämmön ja kosteuden käyrät ovat kuitenkin lähellä toisiaan, eikä jyrkkää muutosta tapahdu, joten kosteuden voidaan todeta sitoutuvan puuhun, eikä vettä ehdi muodostua.

5.3 US2



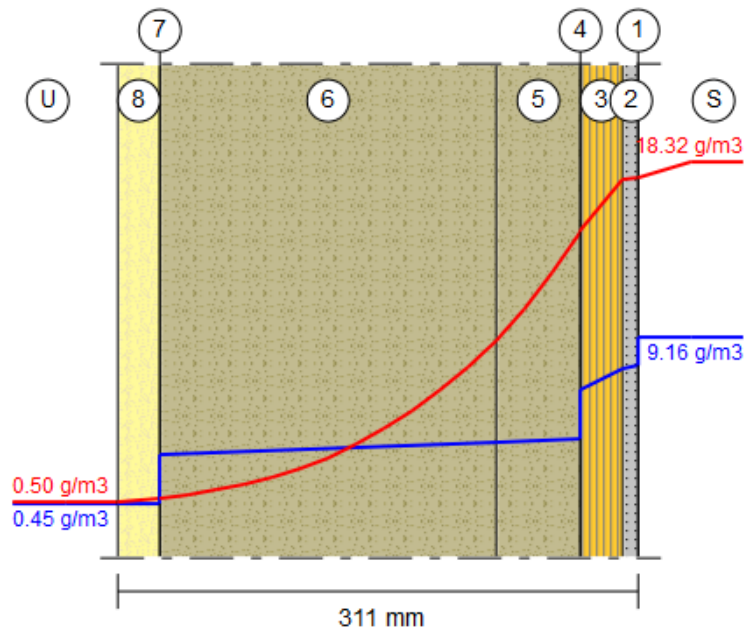
Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	1.00	Tapetti	0.120	-
2.	1.00	Makulatuuripaperi	0.120	-
3.	25.00	Huokoinen puukuitulevy (Huokoleijona)	0.049	-
4.	0.46	Ilmansulkupaperi	0.180	-
5.	50.00	Pellavaeristelevy	0.038	Vaakakoolaus, Puu 50x50 k600 (8.00%)
6.	200.00	Pellavaeristelevy	0.038	Pystyrunko, Puu 50x200 k400 (12.50%)
7.	0.46	Ilmansulkupaperi	0.180	-
8.	25.00	Tuulensuojalevy (Runkoleijona)	0.049	-

Kuvio 2. Pellavaeristeseinä, U-arvo = 0,16 W/m²K (DOF-Lämpö 2019)

Tapetissa ja makulatuuripaperissa on käytetty DOF-Lämpö -ohjelman materiaalikirjastosta löytyvää läpäisevälle kalvolle annettua vesihöyrynläpäisevyyttä 1,000e-12 kg/msPa. Huukoisessa puukuitulevyssä vesihöyrynläpäisevyytenä on käytetty Runkoleijonan vesihöyrynläpäisevyyttä.

Käyrät osoittavat kastepisteen muodostumisen keskelle rakennetta. Jos ulkopintaa lähemmän ilmansulkupaperin jättää pois, käyrät eivät kohtaa. Tällöin kuitenkin rakenteeseen voi päästä virtaamaan liikaa ilmaa. Ilmansulkupaperin vesihöyrynläpäisevyys voi olla myös määritetty liian pieneksi. Ulkopuolinen ilmansulkupaperi voitaisiin mahdollisesti korvata huukoisemmalla paperilla tai kankaalla, jotta siitä pääsisi paremmin vesihöyryä läpi.

5.4 US3



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	0.10	Temperamaali	10.000	-
2.	10.00	Savirappaus	1.000	-
3.	25.00	Ruokolevy	0.056	-
4.	0.46	Ilmansulkupaperi	0.180	-
5.	50.00	Hamppueristelevy	0.040	Vaakakoolaus, Puu 50x50 k600 (8.00%)
6.	200.00	Hamppueristelevy	0.040	Pystyrunko, Puu 50x200 k400 (12.50%)
7.	0.46	Ilmansulkupaperi	0.180	-
8.	25.00	Tuulensuojalevy (Runkoleijona)	0.049	-

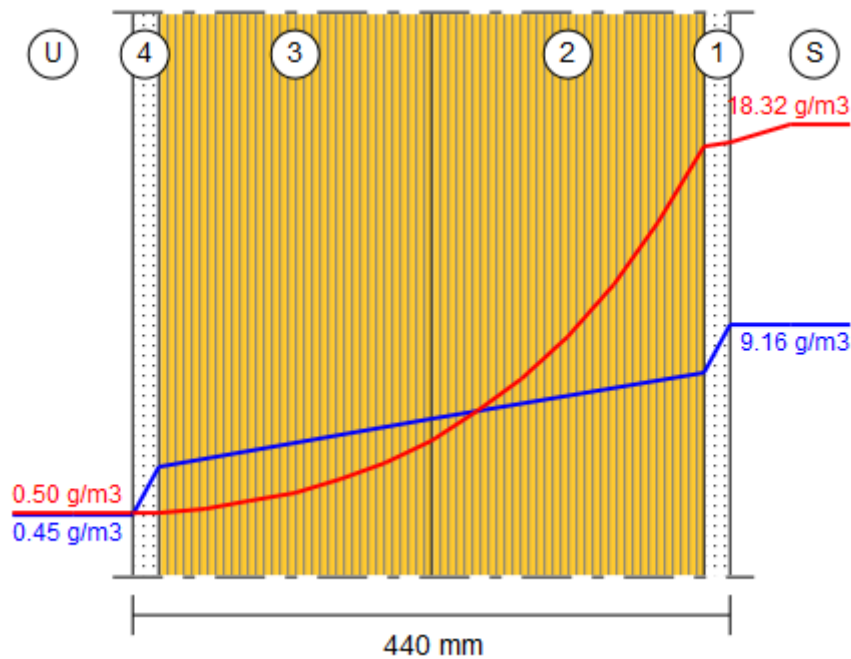
Kuvio 3. Hamppueristeseinä, U-arvo = 0,17 W/m²K (DOF-Lämpö 2019)

Savirappauksessa on käytetty vesihöyrynläpäisevyytenä ja lämmönjohtavuutena ohjelman materiaalikirjastosta löytyviä sementin ja hiekan seoksen arvoja 2,000e-11 kg/msPa sekä 1,000 W/mK. Ruokolevyllä on käytetty vesihöyrynläpäisevyytenä materiaalikirjastosta löytyvää korkkialustan vesihöyrynläpäisevyyttä eli 1,000e-11 kg/msPa.

Savirappauksen pohjalle valittiin puukuitulevyn sijasta ruokolevy, sillä se hylkii paremmin savilaastin kosteutta sekä suojaa ilmansulkupaperia ja hamppueristettä työn aikaiselta vettymiseltä.

Ilmansulkupaperin käyttö lähellä ulkopintaa aiheutti tässäkin seinässä kastepisteen muodostumisen rakenteen sisälle. Materiaalit ovat kuitenkin kosteutta sitovia, joten ongelmaa ei välttämättä synny.

5.5 US4



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	20.00	Savirappaus	1.000	-
2.	200.00	Olkipaali	0.055	Pystyrunko, Puu 50x200 k400 (12.50%)
3.	200.00	Olkipaali	0.055	-
4.	20.00	Savirappaus	1.000	-

Kuvio 4. Savirapattu olkipaaliseinä, U-arvo = 0,15 W/m²K (DOF-Lämpö 2019)

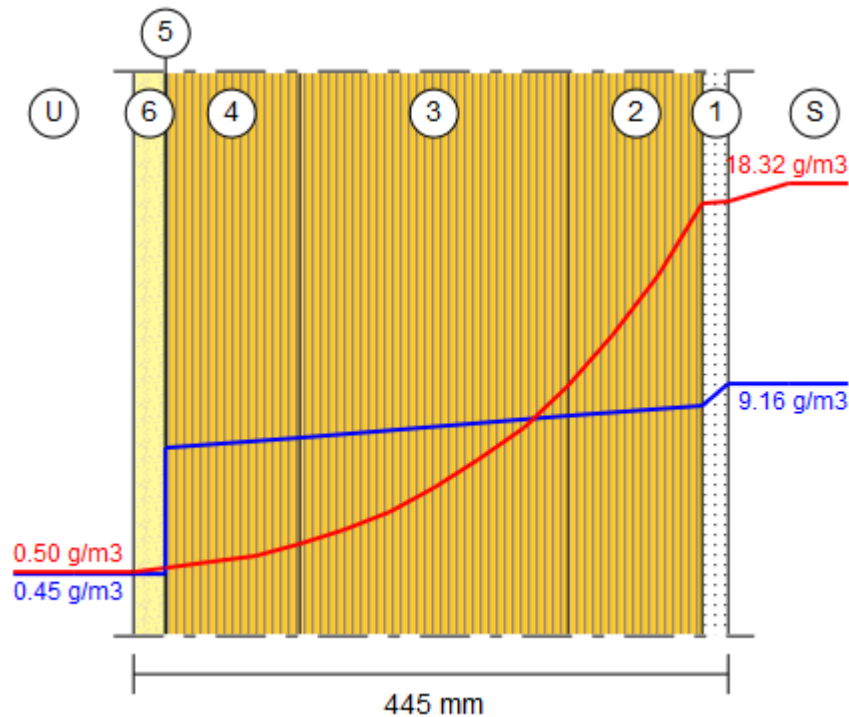
Olkipaalin vesihöyrynläpäisevyytenä on käytetty arvoa 2.000e-10 kg/msPa. Tämä arvo on materiaalikirjastossa monella materiaalilla. Epäilen, että se on annettu materiaaleille, joiden todellista arvoa ei ole tiedossa. Savirappauksen arvot ovat samoja, kuin US3:ssa.

Rakenne on yksinkertainen ja materiaalit ovat edullisia.

Olkipaali kyljellään (300 mm) ei riitä täyttämään vaadittua U-arvoa, mutta lappeellaan U-arvoksi saadaan jopa 0,15 W/m²K.

Ohjelma muodostaa rakenteen sisälle kastepisteen, mutta molemmat käyrät ovat kuitenkin laskusuunnassa. Todennäköisesti kosteus ei muodostu rakenteessa haitalliseksi.

5.6 US5



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	20.00	Savirappaus	1.000	-
2.	100.00	Olkielemnetti (EcoCocon)	0.056	Pystyrunko, Puu 50x100 k400 (12.50%)
3.	200.00	Olkielementti (EcoCocon)	0.056	-
4.	100.00	Olkielementti (EcoCocon)	0.056	Pystyrunko, Puu 50x100 k400 (12.50%)
5.	0.46	Ilmansulkupaperi	0.180	-
6.	25.00	Tuulensuojalevy (Runkoleijona)	0.049	-

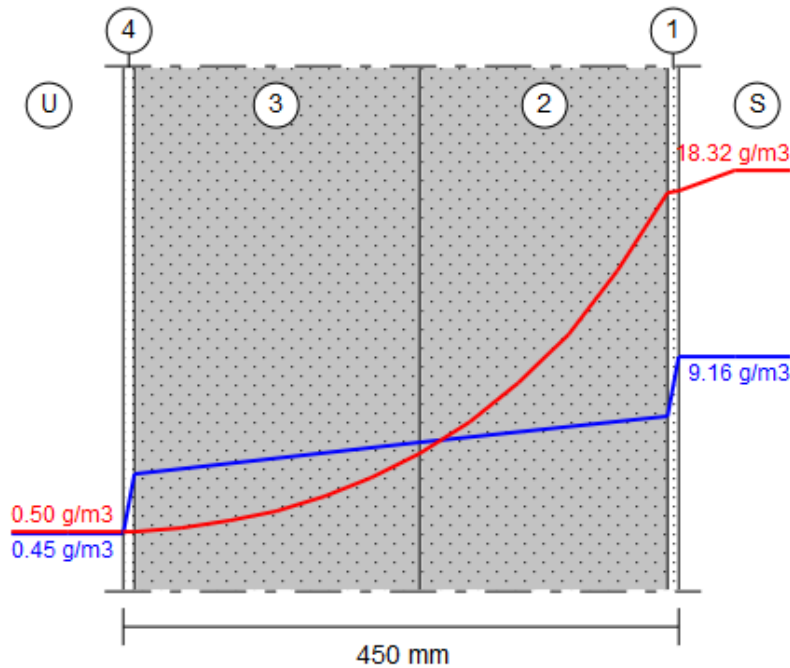
Kuvio 5. Olkielementtiseinä, U-arvo = 0,14 W/m²K (DOF-Lämpö 2019)

Olkielementin vesihöyrynläpäisevyytenä on käytetty arvoa 2.000e-10 kg/msPa ja savirappauksessa samoja kuin US3:ssa.

Tällä rakenteella on pyritty jäljentämään EcoCocon -seinärakennetta, mutta tuulensuojalevyn alla oleva Tyvek-kangas on muutettu luonnonmukaiseksi ilmansulkupaperiksi.

Ohjelma muodostaa käyrille jyrkän risteyskohdan elementin sisällä. Tähän vaikuttaa tässäkin rakenteessa käytetty ilmansulkupaperi, joka hidastaa kosteuden kulkeutumista ulospäin liikaa. Seinän sisäpinnan rakenne on myös melko huokoinen, joten se päästää helposti vesihöyryä sisälleen.

5.7 US6



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	10.00	Kipsilaasti 1300 kg/m ³	0.570	-
2.	200.00	Hamppubetoni	0.070	Pystyrunko, Puu 50x200 k400 (12.50%)
3.	230.00	Hamppubetoni	0.070	-
4.	10.00	Kalkkilaasti	0.800	-

Kuvio 6. Hamppubetoniseinä, U-arvo = 0,17 W/m²K (DOF-Lämpö 2019)

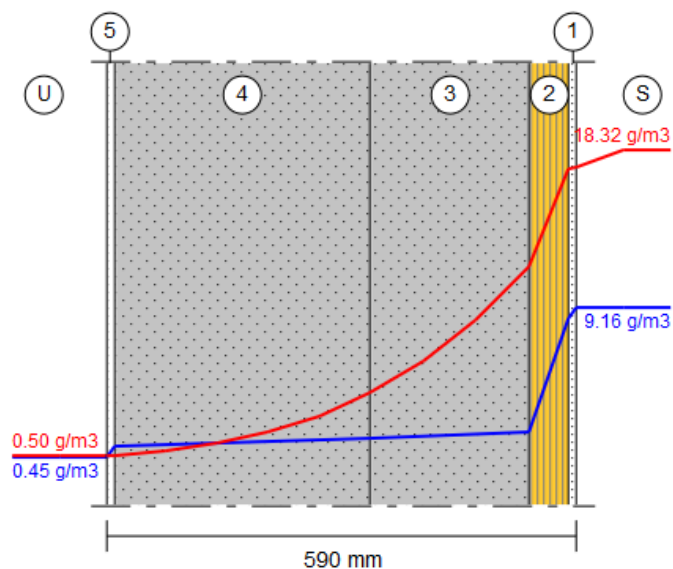
Tässä rakenteessa kaikkiin materiaaleihin oli saatavilla vesihöyrynläpäisevyys, mikä tekee sen analyysistä luotettavampaa.

Hamppubetoni sisältää kalkkia, joten kalkkilaasti sopii hyvin yhteen sen kanssa. Hamppubetonin pinta on muutenkin sopivan kovaa tasoitteiden levytykseen.

U-arvo 0,17 W/m²K vaatii yhteensä 450 mm hamppubetonikerroksen sisältäen puurungon. Mikäli myös muille luonnollisille materiaaleille, kuin puulle, riittäisi U-arvoksi 0,40 W/m²K, voitaisiin esimerkiksi hamppubetoniseinä toteuttaa 200 mm paksuna puurungon kanssa. Tämä ei kuitenkaan olisi kovin energiatehokasta toimintaa.

Ohjelma muodostaa rakenteen sisälle kastepisteen. Käyrät eivät kuitenkaan ole kovin kaukana toisistaan, joten kosteuden kuivuminen voi olla mahdollista.

5.8 US7



Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:
1.	10.00	Savirappaus	1.000	-
2.	50.00	Ruokolevy	0.056	-
3.	200.00	Kevytsavi	0.100	Pystyrunko, Puu 50x200 k400 (12.50%)
4.	320.00	Kevytsavi	0.100	-
5.	10.00	Savirappaus	1.000	-

Kuvio 7. Kevytsaviseinä, U-arvo = 0,17 W/m²K (DOF-Lämpö 2019)

Tämä seinärakenne koostuu lähes täysin savesta ja oljesta. Lisäksi seinän sisäpinnassa on käytetty ruokolevyä, joka eristää hieman lämpöä ja toimii hyvin rappausalustana. Ruokolevy on myös ominaisuuksiltaan oljen tapaista.

Kevytsaven eristävyys on heikko, joten U-arvon 0,17 W/m²K saavuttamiseksi kevytsavea joudutaan käyttämään jopa 520 mm sisältäen puurungon. Paikalla valettuna tällaisen rakenteen kuivuminen kestäisi todella kauan ja voi olla, että paksuuden takia sen sisään jäisi aina liikaa kosteutta. Ruokolevyllä on huomattava vaikutus lämmöneristävyyteen, sillä sen lämmönjohtavuus on puolet savea pienempi. Saven määrää voisi vähentää myös ulkopintaan asennettavalla ruokolevyllä.

Lämpö ja kosteus käyttäytyvät ohjelman mukaan seinässä hyvin ja sen mukaan seinä pysyisi myös kuivana. Paljon kosteutta vähentää tiivis ruokolevy seinän sisäpinnassa.

5.9 Rakenneanalyysin johtopäätökset

DOF-Lämpö ohjelman käyttö oli yksinkertaista. Ohjelma ei tarvinnut paljoa lähtötietoja, joten tarvittavien lähtötietojen antaminen oli helppoa. Ohjelma muodosti rakennekuvat värikuvina, joista näki selkeästi eri kerrokset. Ohjelmassa on materiaalikirjasto, josta saa valittua eri materiaaleja arvoineen seinärakenteeseen. Materiaalikirjastosta kuitenkin puuttui melkein kaikki materiaalit, joita tässä työssä tarvittiin. Laskentepalvelut.fi -sivuston DOF-Lämpö -ohjelmassa on saatavilla RakMk C4:n perusmateriaalit sekä monia suurimpien materiaalivalmistajien tuotteita. Näistä valmistajista ei kuitenkaan kenelläkään ollut ohjelmassa hengittäviin ja luonnonmukaisiin rakenteisiin sopivia tuotteita. RakMk C4:n perusmateriaaleista löytyi suoraan puu, kalkkilaasti ja kipsilaasti. Jostain syystä edes vanhaa materiaalia, kuten purua ei löytynyt, vaikka sitä voitaisiin tarvita ainakin korjauspuolella.

Materiaalien puuttuminen hidasti ohjelman käyttö, sillä useimpien materiaalien arvot piti itse syöttää ohjelmaan. Materiaalien lämmönjohtavuudet olivat vielä helppo löytää muista lähteistä, mutta vesihöyrynläpäisevyys tuotti ongelmia. Vaikuttaa, ettei kaikille hengittäville tuotteille ole edes määritetty vesihöyrynläpäisevyyttä, ainakaan ohjelman vaatimalla tavalla. Hengittäville materiaaleille vesihöyrynläpäisevyys ei ilmeisesti ole olennainen asia, sillä ne läpäisevät enemmän vesihöyryä, kuin tiiviit materiaalit ja toimivat eri periaatteilla. DOF-Lämpö ei luultavasti huomioi materiaalien kykyä tasata kosteutta rakenteen sisällä, vaan olettaa kosteuden kulkevan suoraa sisältä ulos sitoutumatta mihinkään. Vesihöyrynläpäisevyyttä ei voitu myöskään teoreettisesti laskea, koska yleensä se mitoitetaan laboratorio-olosuhteissa esimerkiksi niin sanotulla kuppimenetelmällä. (Vinha, Valovirta, Korpi, Mikkilä, & Käkelä 2005, 63).

Lämmönjohtavuus ja lämpökäyrä ovat materiaaleissa realistisia, joten niiden arvoja voidaan hyödyntää oikeissa rakenteissa. Seinän todellinen eristävyys voi kuitenkin olla eri, mitä ohjelma osoittaa, sillä U-arvo lasketaan vain materiaalien lämmönjohtavuuksien ja materiaalikerrospaksuuksien mukaan. U-arvolaskelmassa ei huomioida ilmavirtauksen vaikutuksia eristeessä. Erittäin huokoinenkin rakenne voitaisiin muodostaa ohjelmaan niin, että U-arvo täytyisi ohuellakin kerroksella, mutta todellisuudessa siitä virtaisi kylmä ilma läpi. Puhallusvillallekin on

annettu eri lämmönjohtavuudet sen mukaan, onko villa avoimessa vai suljetussa tilassa. Usein kuitenkin saatetaan valita suljetun tilan parempi eristävyys, vaikka eriste asennettaisiin avoimesti.

Ohjelmassa kosteuden ja lämmön suunta on ajateltu kulkevan sisältä ulospäin. Tämä vaikutti siihen, että useissa rakenteissa ilmansulkupaperi lähelle ulkopintaa aiheutti kastepisteen rakenteen sisälle. Jos ilmansulun otti pois, kastepiste poistui tai ainakin muuttui vähäisemmäksi. Tämä ilmiö voi kuitenkin tapahtua myös sisäpinnan lähellä olevan ilmansulkupaperin vaikutuksesta, jos ulkona on lämpimämpää ja kosteampaa, kuin sisällä. Olisiko siis hengittävissä rakenteessa toimivin ratkaisu sisä- ja ulkopinnan lähes identtinen rakenne?

Osa tutkituista rakenteista on jo käytössä huolimatta siitä, että ohjelma muodostaa niiden sisälle kastepisteen. Toimiviksi todettuja rakenteita voi käyttää, mutta itse kaipaisin näistä parempaa tutkimustietoa.

Hengittävistä ja luonnonmukaisista materiaaleista on olemassa jo riittävästi tuotteita erilaisten seinärakenteiden muodostamiseen. Vaihtoehtoisia seinärakenteita voidaan siis muodostaa jo nykyisillä tuotteilla. Osa tuotteista, kuten hampubetoni ja kevytsavi ovat vielä kehitteillä, mutta niistäkin löytyy potentiaalia, kun niitä käyttää oikeissa olosuhteissa.

Kosteusanalyysin tuloksena voitaisiin todeta, että hengittävät materiaalit suhtautuvat kosteuteen eri tavalla, kuin tiiviit materiaalit. Siksi hengittävistä materiaaleista koostuvissa seinärakenteissa kosteuskäyrät näyttävät eriltä, kuin tiiviissä. Näin ollen rakenteiden kosteuskäyrät eivät anna luotettavaa kuvaa rakenteen toiminnasta. Rakenteiden todellista kosteuskäyttäytymistä tulisi tutkia lisää.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Luonnonmukaisten materiaalien laajempi käyttö rakentamisessa auttaisi hyödyntämään nykyisin hukkaan meneviä materiaaleja, laskisi rakennustuotteiden hintoja, nostaisi tuotteiden kotimaisuusastetta sekä vähentäisi ympäristön kuormitusta. Niiden käyttö vähentäisi myös sisäilmaan haihtuvia haitallisia yhdisteitä. Haasteena luonnonmukaisten materiaalien käytössä on niiden oikeanlainen sijoittaminen rakenteisiin. Niiden tulee päästä hengittämään ja tuulettumaan, jotta ne eivät mene pilalle. Ne tulee myös suojata vedeltä.

Hengittävät rakenteet auttaisivat rakenteita pysymään kuivina ja poistamaan myös rakennusaikaista kosteutta. Ne voivat myös parantaa koetun sisäilman laatua tasaamalla ilmankosteutta ja ottamalla vastaan hiilidioksidia. Hengittäviä rakenteita tulisi kuitenkin tutkia lisää nykyajan vaatimissa olosuhteissa. Niille ei ole valmiita laskentaohjelmia, joita voitaisiin hyödyntää suunnittelussa. Rakenteita pitäisikin aluksi testata pienessä mittakaavassa, ennen kuin alettaisiin suuriin investointeihin.

Hengittävien ja luonnonmukaisten materiaalien saatavuus on tällä hetkellä Suomessa hyvä ja niistä löytyy jo useita rakennustuotteitakin. Kaikkien tuotteiden tuotanto ei ole vielä suurta, koska kysyntä on vielä pientä, mutta tuotantoa on mahdollista laajentaa. Monien puupohjaisten tuotteiden, kuten puukuitulevyjen tuotanto on jo laajaa, koska niitä hyödynnetään nykyaikaisissakin rakenteissa.

Laskentaohjelmalla havaittiin, että hengittävillä ja luonnonmukaisilla materiaaleilla saadaan tehtyä kaikki vaaditut rakennekerrokset ja useita erityyppisiä rakenteita. Rakenteet myös eristävät lämpöä nykymääräysten vaatimalla tavalla. Ohjelma osoitti kosteuden tiivistyvän lähes kaikkien rakenteiden sisälle. Tästä voidaan todeta, että kosteus käyttäytyy hengittävässä rakenteissa eri tavalla, kuin tiiviissä rakenteissa. Tämän vuoksi kosteuden todellista muodostumista rakenteen sisälle tulisi vielä tutkia lisää.

7 POHDINTA

7.1 Itsearviointi

Valitsin itse opinnäytetyön aiheeni ja olen siitä tyytyväinen. Päädyin tähän aiheeseen, koska olen kiinnostunut hengittävistä rakenteista ja luonnonmukaisista materiaaleista, mutta en tiennyt niistä vielä tarpeeksi. Halusin syventää tietoa näistä aiheista, jotta voisin hyödyntää niitä tulevaisuudessa. Toivon, että työstä olisi hyötyä myös muille asiasta kiinnostuneille.

Käsiteltävien materiaalien määrä on opinnäytetyölle suuri, sillä jo yhdestä materiaalista olisi voinut tehdä opinnäytetyön, jos sitä olisi tutkinut tarkemmin. Tähän olisi luultavasti kuulunut laboratoriotestauksia ja käytännön kokeita. Itse en halunnut syventyä liikaa yhteen materiaaliin, sillä vaikka tuntisin materiaalin kuinka hyvin tahansa, en luultavasti pystyisi tekemään siitä kokonaista rakennetta, enkä ainakaan useita erilaisia rakenteita.

Työtä tehdessäni opin paljon uutta eri materiaalien koostumuksista ja siitä, mistä ne ovat peräisin. Tiesin jo entuudestaan hengittävydestä, mutta asian tutkiminen paransi ymmärrystäni siitäkin. Rakentamisessa hyödynnetyistä luonnonmateriaaleista tiesin myös monia, mutta minulle uusiakin materiaaleja tuli. Esimerkiksi savesta ja ruo'osta en tiennyt paljoa rakennuskäytön näkökulmasta. Pellavasta, oljesta ja hampusta halusin tietää lisää ja niistä löysinkin tietoa.

Järviruo'on mahdollisuudet yllättivät rakennusmateriaalina. Olin kuullut, että niistä on muodostunut ongelma useille rannoille ja että niitä joudutaan siistimään talkoovoimin. Jos materiaalia hyödynnettäisiin tuotteissa, niistä voitaisiin jopa maksaa rantojen omistajille. Negatiivisena asiana ilmeni rakennusalan suuri muovinkulutus. Ajattelin, että rakennusalan muovittomuus ei voisi vaikuttaa niin paljoa maailman muovinkäyttöön, mutta olin väärässä.

Loppujen lopuksi koen, että työ onnistui hyvin. Sain kerättyä paljon tietoa erilaisista materiaaleista ja niiden ominaisuuksista. Seinärakenteiden analysoiminen tuotti tuloksia, vaikka välillä epäilinkin ohjelman käytettävyyttä näiden rakenteiden tutkimiseen.

Työhön on kerätty yhteen paljon hajanaista tietoa ja tiedonlähteitä. Uskon, että nämä tiedot voivat olla hyödyksi luonnonmukaisista tuotteista kiinnostuneille ihmisille. Työ antaa myös kuvan siitä, kuinka paljon tutkittaa näissä asioissa riittää, sekä mitä mahdollisuuksia niissä onkaan.

Tässä työssä keskityttiin vain seinärakenteen. Seuraavaksi voitaisiin tehdä samantapainen selvitys lattiarakenteesta, yläpohjarakenteesta ja kattorakenteesta. Lattiarakenne toteutettaisiin luultavimmin tuulettuvalla alapohjalla, joten siinä tuottaisi haasteita jo alapohjan kuivana pitäminen. Routaeristeet ovat useimmiten muovia, joten niidenkin korvaaminen voi olla haastavaa. Katossa taas pitäisi pohdita miten tehdä vesitiivis rakenne ilman muovia. Siihenkin kyllä löytyy useita vaihtoehtoja.

Jatkotutkimuksena tälle työlle voisi olla tarkempi materiaalitutkimus ja kokeellisten rakenteiden valmistus. Materiaalitutkimuksessa saatavilla olevista materiaaleista kerättäisiin näytteitä, joita tutkittaisiin laboratoriossa erinäisillä kokeilla. Käytännön tutkimuksissa voitaisiin rakentaa rakenneosia tai pieniä rakennuksia, joiden ominaisuuksia tarkkailtaisiin säännöllisesti. Yksi tapa olisi sijoittaa hengittävistä materiaaleista koostuva koeseinä olemassa olevaan rakennukseen, ja tarkkailla seinän käyttäytymistä. Seinä voisi koostua myös useammasta palasta, joihin olisi koottu erilaisia rakenteita. Rakenteeseen voitaisiin esimerkiksi asentaa kosteusanturit, jotka mittaisivat eri rakennekerrosten kosteuden muutoksia. Materiaaleista voitaisiin myös tutkia mahdollista mikrobitoimintaa ja mikrobien haitallisuutta.

Materiaalien ominaisuuksia tutkimalla, niille voitaisiin myös kehitellä uusia käyttötarkoituksia rakentamisessa. Luonnonmukaisten rakennustuotteiden luonnollista hajoamista voisi myös tutkia esimerkiksi selvittämällä, kuinka nopeasti tuote maatuu ja mitä aineita siitä irtoaa maahan.

7.2 Tiedon saatavuus

Hengittävydestä ja luonnonmukaisista materiaaleista löytyvä tieto oli osittain suppeaa ja välillä epäluotettavaa. Tieto oli usein vanhaa ja hengittävyyden määritelmästä oli erinäisiä ajatuksia. Luonnonmateriaaleista nykyrakentamisessa on

kirjoitettu suomenkielellä vähän. Työn aikana ilmeni, että 1990-luvulla luonnonmukaisia materiaaleja on tutkittu esimerkiksi Teknillisen korkeakoulun toimesta. Silloin materiaaleja on yritetty nostaa esiin, mutta jostain syystä ne eivät lyöneet läpi. Uudemmat tutkimukset oli tehty 2010-luvulla, pääosin Turun ammattikorkeakoulun toimesta. Parhaimpia tiedonlähteitäni olivat kaksi kirjaa, Hannu Rinteen Materiaalioppi ja Panu Kailan Talotohtori. Materiaalioppi sattuiinkin ilmestymään juuri, kun olin suunnittelemassa opinnäytetyöni aihetta ja tilasin sen heti itselleni.

Kirjalähteissä tietoa oli helpoimmin löydettävissä, koska niihin oli koottu samasta aiheesta paljon tekstiä. Netistä tietoa löytyy pieninä pirstaleina monesta paikasta ja niiden luotettavuutta tulee aina kyseenalaistaa. Usein jouduin hakemaan yhteenkin kappaleeseen tietoa kolmesta eri lähteestä.

Materiaaleista löytyvä tieto oli hajanaista ja etenkin teknisten lukuarvojen löytäminen vaikeaa. Ongelmana oli myös saada selville mistä tuotteet oikeasti koostuvat, sillä valmistajat jättivät usein mainitsematta aineet ja käsittelyt, jotka olisivat voineet antaa materiaaleista epätoivotun kuvan. Esimerkiksi yhden lampaanvillaeristeen luonnonmukaisuutta ja ympäristöarvoja keuhuttiin, vaikka 30 prosenttia tuotteesta olikin muovia ja muita lisäaineita.

Suomenkielistä tietoa ei kaikista tuotteista tahtonut löytyä, joten etsin tietoa myös englanniksi. Välillä englanniksikaan ei löytynyt kaikkea tietoa, vaan luonnonmukaisia tuotteita etsiessäni päädyin saksalaisille sivuille. Ilmeisesti Saksassa ollaan edistyneitä luonnonmukaisten materiaalien käytössä ja tutkimuksessa. Huomasin, että sieltä ovat tulleet myös Suomessa suositaan kasvattavat CLT-elementit. Valitettavasti en osaa saksaa, joten tämä tieto jäi valitettavasti hyödyntämättä työssäni.

7.3 Omat kokemukseni hengittävistä ja luonnonmukaisista rakenteista

Opin ensimmäisen kerran muovien haitoista rakenteessa, kun isovanhempieni vanhassa talossa alkoi nousemaan vettä muovimaton raosta sisälle. Vesi tulikin yllättäen alhaaltapäin. Kun vaurioitunutta rakennetta alettiin avaamaan, päädyttiin lattia purkamaan perustuksiin asti. Muovimaton tiiviys esti kosteuden poistumisen lattiarakenteesta ja koko rakenne oli pilalla.

Sitä mökkiä sainkin kunnostaa muutaman vuoden. Poistin muoveja, lasivilloja ja lastulevyjä, ja korvasin niitä hengittäville materiaaleilla. Tämä olikin hyvin opettavaista. Tutustuin ilmansulkupaperiin, makulatuuripaperiin, puukuitulevyihin, selluvillaan ja hengittäviin maaleihin. kaikkien näiden materiaalien käsittely oli huomattavasti mukavampaa, kuin mihin olin rakennustyömailla tottunut. Silti näiden asennus ei ollut sen työläämpää. Tämän perusteella voisin sanoa, että luonnonmukaisten materiaalien käyttämättömyyttä ei voi perustella sillä, että niiden asennus olisi työläämpää.

Tällä hetkellä asun kerrostalossa, jossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä kaikki rakenteet pinnoitettu muovilla. Itse olen kokenut tällaisissa rakennuksissa ilman olevan kuivaa, etenkin talvisin. Ilmanlaadun huomaa ehkä parhaiten yön jälkeen. Iho ja limakalvot kuivuvat huomattavasti enemmän kuin omakotitaloissa, joissa olen asunut. Parhaiten olen nukkunut yöni mökeissä, jotka on tehty täydestä hirrestä. Niissä on hyvä hengittää.

Olen itse työskennellyt rakennustyömailla enimmäkseen saneeraustöissä ja olen saanut käsitellä erilaisia materiaaleja. Inhottavin materiaaleista on ollut lasivilla. Siitä irtoaa pieniä lasihiukkasia ihohuokosiin ja hengitysteihin. Kerran sain lasivillapölyä silmääni, kun heitin vanhaa lasivillaa roskalavalle. Pöly ei yllättäen lähtenytkään pois silmästäni, vaikka silmää huuhteli. Parin päivän päästä jouduin menemään vaivan kanssa silmälääkärille. Siellä lääkäri nyppi pienet lasinpalaset pinseteillä pois silmästäni.

Ensimmäisen kerran, kun asensin selluvillaa, käsitin, että eristeen ei tarvitse aina olla kutiavaa ja epämukavaa käsiteltävää. Luonnonmukaisissa materiaaleissa on se hyvä puoli, että niihin voi usein koskea paljain käsin, ilman, että iho ärsyyntyy.

7.4 Nykyajan murheet

Nykyaikaiset höyrytiivit rakenteet on suojattu yhtenäiseksi teipatulla höyrinsulkumuovilla, jotta kosteus ei pääsisi turmelemaan muovin takana olevia rakenteita. Minusta tällaiset rakenteet ovat hyvin riskialttiita. Koko rakennuksen höyrytiivinä pitäminen on pidemmällä aikatahtaimella vaikeaa. Kun höyrytiivisyys jossain kohtaa pettää, kosteus pääsee rakenteeseen ja muodostaa kosteusvaurion. Kuinka kauan muovit ja niiden kaikki saumat pitävät höyrytiiveytensä?

Onko tiiviit jatkuvalla ilmanvaihdolla varustetut rakennukset energiatehokkaampia, kuin hengittävät pääosin painovoimaisella ilmanvaihdolla toimivat rakennukset? Tiiviiden materiaalien ja ilmanvaihtolaitteiden valmistus kuluttaa valtavasti energiaa. Ilmanvaihdon tulee olla tiiviissä rakennuksessa jatkuvasti päällä, jolloin sen ylläpitokin lisää kustannuksia.

Rakenteiden U-arvot pyritään pitämään pieninä energian säästämiseksi, mutta silti massiivipuorakenteen U-arvolle annettiin helpotusta puunkäytön edistämiseksi. Ohut puurakenne päästää kuitenkin paljon lämpöä lävitseen, eikä tällöin ole pitkällä tähtäimellä kovin ekologinen. Minusta rakennuksen energiankulutusta pitäisi U-arvojen sijasta määrittää rakennuksen kokonaisenergiatehokkuuden mukaan. Siinä huomioitaisiin muun muassa käytettyjen materiaalien ympäristövaikutukset, lämmöneristävyys ja uusiutuvien energiamuotojen käyttö. Huonosta U-arvosta saisi miinus pisteitä, jota voisi kompensoida vaikka aurinkopaneeleilla.

Nykyajan rakenteet ovat melko monimutkaisia ja monikerroksisia. Tällaisten rakenteiden kasaaminen vaatii paljon työtä ja työ on se mikä Suomessa maksaa eniten. Voisiko rakenteiden yksinkertaistaminen ja edullisempien materiaalien käyttö tehdä rakentamisesta edullisempää? Esimerkiksi sisäseinien käsittely savirappauksella ei pitäisi olla kalliimpaa, kuin nykyaikaiset päällysteet. Nykyäänkin seinien kittaukset ja tasoitetyöt tehdään käsityönä. Monimutkaiset rakenteet ovat myös herkkiä erilaisille vaurioille ja rakennusvirheille. Minusta rakennukset pitäisi olla niin sanotusti ”idioottivarmoja”, ettei esimerkiksi pienet rakennusvirheet aiheuttaisi merkittäviä ongelmia.

Mielestäni rakennusfysiikka jätetään rakennusten suunnittelussa liian vähälle huomiolle. Suunnittelun pääpainona on rakenteiden kantavuuden varmistaminen, mikä on tietysti erittäin tärkeää. Materiaalit ja rakenneratkaisut valitaan usein materiaalivalmistajien ohjeiden mukaan. Mitä hyötyä on vahvasta luustosta, jos kaikki muu mädäntyy ympäriltä. Jäähän ainakin runko muistoksi.

Luonto pyrkii palauttamaan kaiken luonnolliseen kiertokulkuunsa ja ihminen pyrkii estämään tai ainakin hidastamaan tätä toimintaa. Olisiko meillä luonnon vastustamisen sijasta helpompi oppia mukailemaan luonnonlakeja ja muuttaa niiden tuomat ongelmat meille hyödyksi.

7.5 Tulevaisuuden mahdollisuudet

Monien luonnonmukaisten materiaalien käyttö on katkennut 1950–2000-lukujen välillä ja niistä on samalla menetetty paljon hyödyllistä tietoa. Voisin sanoa, että puu onkin ainoa materiaali, joka on säilyttänyt arvonsa synteettisten materiaalien rinnalla ja ehkä juuri siksi siitä löytyy paljon tietoa ja tutkimuksia. Puu on Suomessa ylpeyden aihe ja siitä tehtyjä tuotteita viedään ulkomaillekin.

Puun lisäksi Suomessa olisi myös monia muita luonnonmateriaaleja, joita voitaisiin hyödyntää rakentamisessa. Nämä ovat usein myös muille aloille ongelmasta ja jätettä. Kotimaisen hukkamateriaalin määrää tulisi kartoittaa tarkemmin, jotta hyvää materiaalia ei menisi hukkaan. Kartoituksessa pitäisi olla mukana innovatiivisia henkilöitä, jotka osaisivat nähdä potentiaalia yllättävissäkin materiaaleissa.

Maatalouden sivutuotteiden, kuten oljen hyötykäytöllä voitaisiin tukea suomalaisia maanviljelijöitä. Viljantuotanto voisi olla kannattavampaa, jos myös oljesta maksettaisiin jotain. Myös kesantojen käyttö erilaisten kuitukasvien kasvatukseen voisi tuoda lisätuloja tuottajille.

Materiaaleja on joka puolella Suomea, joten niille pitäisi kehittää toimiva keräämisjärjestelmä. Esimerkiksi maanviljelijät eivät pysty kuljettamaan suuria määriä materiaalia kovinkaan pitkälle. Helppointa olisi, jos materiaalit voitaisiin hakea suoraan tiloilta tai muilta paikoilta, jossa niitä syntyy. Esimerkiksi puidun järviruo'on keruuseen voitaisiin kehittää isommissa vesistöissä erilaisia lauttaratkaisuja, joissa materiaalin keräimellä varustettu lautta kiertäisi rantoja, ja veisi ruo'ot jatkojalostukseen. Järviruo'on kasvatuksessa voitaisiin myös hyödyntää kosteikkoja, joilla yritetään estää järvien rehevöitymistä.

Tietoja etsiessäni huomasin miten saksalaiset ovat kehittäneet tuotteita luonnonmukaisista materiaaleista, joita he myyvät ulkomaille. Olisi hienoa, jos Suomessa kehitettäisiin ensimmäisenä jotain uutta, josta vaikka saksalaiset ottaisivat mallia. Suomessa ollaan usein varovaisia uusien asioiden suhteen, jos joku muu, kuten ruotsalaiset eivät ole niitä vielä testanneet.

Käytetyistä tekstiileistä voitaisiin alkaa tekemään uudelleen rakennusmateriaaleja, kuten lumppupaperia. Suomalaista hukkaan heitettyä villaa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi paloeristeenä rakenteen sisällä. Villa toimii myös hyvin akustisesti, joten sitä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi akustiikkalevyissä ja akustisissa tilaelementeissä.

Uskon, että luonnonmukaisten materiaalien käyttö yleistyy tulevaisuudessa useimmilla teollisuuden aloilla ja myös rakennusalalla. Hengittävyys on osa luonnonmukaisten materiaalien toimintaa, ja siksi sitä on tärkeä ymmärtää. Käyttämämme materiaalien tulee sopia yhteen luonnon kanssa, jotta emme hukkuisi roskaan ja saasteisiin. Ympäristön säilyttäminen myös tulevaisuudessa, on ihmisten elinehto. Luonnonmukaiset materiaalit sopivat ympärillemme, koska olemme itsekin osa luontoa.

LÄHTEET

Ahonen, H. 2016. Erikoinen kulkuneuvo: Leikkuupuimuri – Sampo Rosenlew Comia C10. Tekniikan Maailma: 16.9.2016. Viitattu 27.2.2019 <https://tekniikanmaailma.fi/erikoinen-kulkuneuvo-leikkuupuimuri-sampo-rosenlew-comia-c10/>.

Biotalous 2019. Paperi. Viitattu 19.2.2019 <https://www.biotalous.fi/paperi/>.

Black Mountain Insulation Limited 2019. Indoor Air Quality. Viitattu 12.2.2019 <https://www.blackmountaininsulation.com/products/natuwool#>.

Borg, O. 2016. Terveellinen ja hengittävä. Tuuma 2/2016, 36–39.

Clayworks 2019. Application, Techniques & tips. Viitattu 27.2.2019 <https://clayworks.com/specifications/application-2/>.

Conran, T. 2009. Eco house book. Lontoo: Conran Octopus Ltd.

Dhokal, U. 2016. The effect of different mix proportions on the hygrothermal performance of hempcrete in the Canadian context. Ryerson University. Building Science. Partial fulfillment of the master's degree.

Domus Classica 2019a. Lumpupaperi, rulla. Viitattu 19.2.2019 <https://www.domusclassica.fi/tuote/lumpupaperi-rulla/315-092/>.

Domus Classica 2019b. Makulatuuripaperi, 10 m. Viitattu 19.2.2019 <https://www.domusclassica.fi/tuote/makulatuuripaperi-10-m-paksuus-100-g-m2/315-090-1/>.

Domus Classica 2019c. Tapettiliisteri. Viitattu 19.2.2019 <https://www.domusclassica.fi/tuote/tapettiliisteri-1-kg/860-071/>.

EcoCocon 2019. Opi. Viitattu 27.2.2019 <http://ecococon.eu/fi/>.

Edwards, L. & Lawless, J. 2006. The Natural Paint Decorator. 2. painos. Lontoo: Kyle Cathie Limited.

Ekoeriste Oy 2019. Perinneilmansulkupahvi (muoviton). Viitattu 11.2.2019 <https://ekoeriste.com/ilmansulkutuotteet/>.

Farmit Website Oy 2019. Kuitupellava. Viitattu 25.2.2019 <https://www.farmit.net/kasvinviljely/kasvuohjelma/erikoiskasvit/kuitupellava>.

Frilander, J. 2016. Maailman merissä pyörii miljoonia tonneja muovijätettä – keksijät taistelevat jättiläisongelmaa vastaan. Yle: 7.2.2018. Viitattu 19.2.2019 <https://yle.fi/uutiset/3-8610827>.

Haakana, T. 2018. Jopa puolet lampaanvillasta menee roskeen tai poltettavaksi – "Suomenlampaan villan arvot ovat samanlaiset kuin merinovillan". Etelä-Suomen Sanomat 7.11.2018. Viitattu 12.2.2019 <https://www.ess.fi/uutiset/kotimaa/art2497096>.

Hakala, J. 2017. Suomeen rakennetaan ainutkertainen ”olkitalojen” asuinalue – ”Vaikuttaa ilman homeitiöiden määrään”. *Ilta-Sanomat*: 7.7.2017. Viitattu 27.2.2019 <https://www.is.fi/taloussanomat/art-2000005281312.html>.

Heiskanen, H. 2018. EU-parlamentti hyväksyi muovipillit, kertakäyttölautaset ja ilmapallotikut kieltävän lain. *Yle*: 24.10.2018. Viitattu 19.2.2019 <https://yle.fi/uutiset/3-10472682>.

HempRefine Oy 2014. Hamppueristelevy. Viitattu 15.1.2019 <https://www.hamp-pukauppa.fi/product/558/hamppueristelevy-6-kpl-1200565100-mm>.

HempRefine Oy 2019. Kuituhamppu lyhyesti. Viitattu 15.1.2019 <https://www.hemprefine.fi/projects/kuituhamppu-lyhyesti>.

Herer, J. 2015. Keisarilla ei ole vaatteita. Helsinki: BoD – Books on Demand.

Hunton Oy/Ab 2019. Hunton Nativo® puhalluseriste. Viitattu 25.2.2019 <https://hunton.fi/tuotteet/seina/hunton-nativo-puukuitueriste/>.

Huusko, M. 2018. YM selvittää muovien käyttöä rakentamisessa. *Rakennuslehti* 2.11.2018, 12–13.

Häkkinen, A. 2018. Rakennusjätteiden kierrättämisessä valtavat mahdollisuudet. *Rakennuslehti* 2.2.2018, 18–19.

Isolina Oy 2019. Eristeet, Tekniset ominaisuudet. Viitattu 16.1.2019 <http://www.isolina.com/fi/eriste.cfm>.

Kaila, P. 1997. Talotohtori. Helsinki: WSOY.

Kaski, R. 2013. Pellava vaatii paneutumista. *Länsi-Suomi* 15.9.2013. Viitattu 9.3.2019 <https://ls24.fi/uutiset/pellava-vaatii-paneutumista>.

Kivekäs, E. & Komonen, M. 1994. Savi, Keramiikan ja arkkitehtuurin perinne Länsi-Afrikassa. Helsinki: F. G. Lönnberg.

Knuuttila, M. 2018. Hirsirakentaminen kiinnostaa jälleen – syynä ”pullotalojen” homeongelmat? Talotohtori: ”Hengittävyys tulkitaan väärin”. *Iltalehti* 26.1.2018. Viitattu 28.1.2019 <https://www.iltalehti.fi/asumisartikkelit/a/201801262200681058>.

Lautkankare, R. & Alijoki, T. 2013. Ruoko rakennusmateriaalina, Cofreen-hanke ruo’on hyötykäytön edistäjänä. Tampere: Suomen Yliopistopaino – Juvenes Print Oy.

Lundsten, B. Achcar, L & Westermarck, M. 1994. Selvitys savirakentamisesta, Raportti koerakentamisesta kevytsavitekniikalla. 2. laitos. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.

Luoto, J. 2012. Esihistoriaa. Etelä-Karjalan museo 2/2012. Viitattu 15.1.2019 <https://www.etelakarjalanmuseot.fi/etela-karjalan-esihistoriaa/>

Maa- ja metsätalousministeriö 2018. Suomen metsävarat. Viitattu 13.2.2019 <https://mmm.fi/metsat/suomen-metsavarat>.

Mattilan koneasema Oy 2011. Rehunkorjuu. Viitattu 27.2.2019 <http://mattilankoneasema.com/vanha/rehunkorjuu.php>.

Norokytö, N. & Simi, P. 2018. Hampputalo. Turun ammattikorkeakoulun oppimateriaaleja 119. Viitattu 26.2.2019. julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522167026.pdf.

Nyman, A. 2017. Hengittävät rakenteet. Tuuma 4/2017, 12–20.

Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2014. CLT-levyn tekniset tiedot. Viitattu 13.2.2019 <https://www.crosslam.fi/tuotteet/tekniset-tiedot.html>

Peda.net 2019. Järviruoko (*Phragmites australis*). Viitattu 25.2.2019 <https://peda.net/Catalunya/vedet/vesikasvit/ok/ilmaversoiset/jpa>.

Pihlgren ja Ritola Oy 2019. Makulatuuripaperi. Viitattu 19.2.2019 <https://www.ta-pettitehdas.fi/tuote/makulatuuripaperi/>.

Pro Puu ry 2015. Vanerit. Viitattu 13.2.2019 http://www.puuproffa.fi/Puu-Proffa_2012/7/puujalosteet/vanerit

Puuinfo Oy 2017. Puu sisäilman kosteuden tasaajana. Puu: 2/2017, 34–41.

Puuinfo Oy 2019. Puutieto. Viitattu 27.2.2019 <https://www.puuinfo.fi/puutieto>.

Rakennetaan hampusta 2019. Teknistä tietoa. Viitattu 26.2.2019 <http://rakennetaanhampusta.turkuamk.fi/tietopankki/teknista-tietoa/>.

Rakennustieto Oy 2003. Kerrostalot 1880–2000. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Raunio, H. 2017. Myrkkyliimat voidaan korvata puutuotteissa suomalaisratkaisulla – pökkasi palkinnon Uusi puu-kilpailussa. Tekniikka & Talous: 1.2.2017. Viitattu 13.2.2019 <https://www.tekniikkatalous.fi/incoming/myrkkyliimat-voidaan-korvata-puutuotteissa-suomalaisratkaisulla-pökkasi-palkinnon-uusi-puu-kilpailussa-6620384>.

Rinne, H. 2010. Perinnemestarin remonttikirja. Helsinki: WSOY.

Rinne, H. 2018. Perinnemestarin materiaalioppi. Helsinki: WSOY.

Roomaja Oy 2019. Ruokolevy. Viitattu 19.2.2019 <http://roomaja.ee/tuotteet/ruokolevy>.

RT 2015. Rakennustietosäätiön tuotetieto 38668. Hunton-tuotteet. Rakennustietosäätiö.

Ruus, A., Peetsalu, P., Tohvri, E., Lepasaar, T., Kirts, K., Muoni, H., Resev, J., Tungel, E. & Kabanen, T. 2011. Water vapour transmission properties of natural paints. Biosystem Engineering Special Issue 1, 197–201. Tallinn University of Technology.

- Saatsi, E. & Saatsi, P. 2017. Hirsitalon lämmöneristeet. Tuuma 2/2017, 12–15.
- Saint-Gobain Finland Oy 2019a. webercal 148. Viitattu 27.2.2019 <https://www.e-weber.fi/julkisivut/tuotteet/kalkkilaastit/webercal-148.html>.
- Saint-Gobain Finland Oy 2019b. webervetonit KL. Viitattu 27.2.2019 <https://www.e-weber.fi/sisaepinnat-linjasaneeraus/tuotteet/oikaisu-ja-tasoi-tuslaastit/webervetonit-kl.html>.
- Saviyhdistys savirakentamisen edistämiseksi ry. 2004. Savirappaus. Viitattu 9.3.2019 <http://www.saviry.fi/rappaus/>.
- Sheep Wool Insulation Ltd. 2019. 100% Pure Sheep Wool. Viitattu 16.1.2019 <https://www.sheepwoolinsulation.com/>.
- Sisäilmäyhdistys ry 2019. Kosteuden siirtyminen. Viitattu 28.2.2019 <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>.
- Snell, C. & Callahan, T. 2009. Building Green, a complete how-to guide to alternative building methods. 2. painos. New York: Lark Books, A Division of Sterling Publishing Co., Inc.
- STARK 2015. Pellavaeriste Isolina ISO-L 100x565x1170 mm 3,97m². Viitattu 19.2.2019 <https://www.stark-suomi.fi/fi/pellavaeriste-isolina-iso-l-100x565x1170-mm-3-97-m%C2%B2>.
- Suomen Kuitulevy Oy 2019. Leijona Rakentajanlaatu. Viitattu 27.2.2019 <http://fin-fib.fi/lion-generaltm/>.
- Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy 2015. Liimapuukäsikirja Osa 2. Viitattu 13.2.2019 <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/liimapuukasikirja>.
- Suomen Luonnonmaalit Oy 2019. Kalkkimaalilla maalataan huonekaluja – mistä ihmeestä on kyse? Viitattu 26.2.2019 <https://suomenluonnonmaalit.fi/kalkkimaalilla-maalataan-huonekaluja-mista-ihmeesta-kyse/>.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003. C4: Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Ohjeet.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 2017. 1010/2017: Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 2017. 848/2017: Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.
- Suomen Tuulileijona Oy 2019a. Huokoleijona. Viitattu 16.2.2019 <http://www.tuulileijona.fi/fi/tuotteet/huokoleijona>.
- Suomen Tuulileijona Oy 2019b. Runko- ja tuulileijonan käsittely. Viitattu 16.2.2019 <http://www.tuulileijona.fi/fi/tuotteet/runkoleijona/runkoleijonan-kasittely>.

Suomen Tuulileijona Oy 2019c. Runkoleijona. Viitattu 16.2.2019 <http://www.tuulileijona.fi/fi/tuotteet/runkoleijona>.

Suomirakentaa.fi 2013. Rakenna koti hirrestä. Viitattu 16.2.2019 <https://www.suomirakentaa.fi/tyoohjeet/ulkoseinaet-ja-julkisivut/rakenna-koti-hirrestae>.

The Natural Building Company Oy 2016. Hirsiseinän savirappaus – Näin se tehtiin Merimiehen mökissä. Viitattu 26.2.2019 <http://naturalbuilding.fi/project/merimiehen-mokki/>.

The Natural Building Company Oy 2019a. EcoCocon olkielementti – Luonnonmukainen massiivirakenne. Viitattu 26.2.2019 <http://naturalbuilding.fi/ecococon/>.

The Natural Building Company Oy 2019b. Olki eristeenä rakentamisessa – usein kysytyjä kysymyksiä. Viitattu 27.2.2019 <http://naturalbuilding.fi/usein-kysytyta/>.

Tuomi, V. 2001. Talo olkipaaleista. Saarijärvi: Saarijärven Offset.

Valta, L. 2019. Puolet suomalaisesta lampaanvillasta päätyy roskiin samalla, kun Suomeen tuodaan villaa ulkomailta. Yle: 11.01.2019. Viitattu 12.2.2019 <https://yle.fi/uutiset/3-10588584>.

Westermarck, M., Heuru, E-R. & Lundsten, B. 1998. Luonnonmukaiset rakennusaineet. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Vinha, J. Valovirta, I. Korpi, M. Mikkilä, A. & Käkelä, P. 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tutkimusraportti 129. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Volhard, F. & Westermarck, M. 1994. Savirakentaminen. Helsinki: Rakennusalan kustantajat.

Ympäristöhallinto 2015. Järviruoko. Viitattu 25.2.2019 <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ruoko/Jarviruoko>.

Ypap Oy 2016. Paavo-Perinneilmansulkupaperi. Suoritustasoilmoitus nro 2016/RP/003. Pyhtää: 16.6.2016. Viitattu 7.3.2019 <https://ekoeriste.com/wp-content/uploads/2018/10/Paavo-Perinneilmansulkupaperi-DOP.pdf>.