



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

KATARIINA LAINE
RAKENNUSMATERIAALIEN RAKENNUSFYSIKAALISET
OMINAISUUDET

Diplomityö

Tarkastajat:
dosentti Juha Vinha ja
diplomi-insinööri Kimmo Lähdesmäki
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Rakennetun ympäristön
tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 23. kesäkuuta 2010

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

LAINÉ, KATARIINA: Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet

Diplomityö, 122 sivua, 32 liitesivua

Syyskuu 2010

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastajat: dosentti Juha Vinha ja diplomi-insinööri Kimmo Lähdesmäki

Avainsanat: rakennusfysiikka, rakennusmateriaalien ominaisuudet

Rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan tarkastelun lähtökohtana on tuntee rakenteessa käytettävien materiaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet mahdollisimman tarkasti. Tärkeintä on tietää materiaalien lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet sekä ilmanläpäisevyys.

Diplomityö on osa vuonna 2011 julkaistavaa Rakennusfysiikan käsikirjaa, jonka Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. on tilannut Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselta. Käsikirjassa tullaan julkaisemaan mm. tässä työssä kootut rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet.

Työn tavoitteena on tuoda esille Suomessa tällä hetkellä tyypillisesti käytettävät rakennusmateriaalit ja -tuotteet sekä niiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Materiaaliominaisuudet on koottu liitteenä oleviin materiaalitulukoihin. Materiaaliominaisuudet on koottu kirjallisuudesta ja tuotteiden valmistajilta ja toimittajilta saadun tiedon pohjalta. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden kosteus- ja lämpötekniisiä ominaisuuksia kuvataan niille ominaisessa käyttöympäristössä. Materiaalitulukoihin koottujen lukuarvojen merkitystä avataan kunkin tuoteryhmän tai materiaalin rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta.

Rakennusmateriaaleille mitatut ominaisuudet eivät ole yksiselitteisiä vakioarvoja, vaan ne voivat vaihdella samallakin tuotteella mm. materiaalin huokoisuuden, tiheyden ja kerrospaksuuden sekä olosuhteiden mukaan. Useiden materiaalien ominaisuudet vaihtelevat lämpötilan ja kosteuspitoisuuden mukaan.

Tuotteiden valmistajat ja toimittajat esittävät usein melko suppeasti tuotteidensa rakennusfysikaaliseen toimintaan liittyviä ominaisuuksia ja ominaisuuksista käytettävä nimikkeistö ja yksiköt vaihtelevat, jolloin eri tuotteiden vertailu keskenään on vaikeaa. Tuote-esitteissä olisi hyvä kertoa selkeästi ja kattavasti tuotteen rakennusfysikaalisista ominaisuuksista.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

LAINE, KATARIINA: Building Physical Properties of Construction Materials

Master of Science Thesis, 122 pages, 32 appendix pages

September 2010

Major: Construction production

Examiners: docent Juha Vinha and M.Sc. Kimmo Lähdesmäki

Keywords: building physics, construction material properties

The starting point for the examination of the building physical operation of structures is to know as detailed as possible the building physical properties of the materials which are used in the structure. It is the most important to know thermal and moisture technical properties and air permeability of the materials.

This Master's Thesis is a part of the new handbook of building physics to be published in 2011 which Finland's Association of Civil Engineers (RIL r.y.) has ordered from the Tampere University of Technology, the Institute of the Structural Engineering. The building physical properties of the building materials that have been collected in to charts in this Master's Thesis will be published in the handbook of building physics.

The objective of this study is to bring out the building materials and products and their building physical properties which are typically used in Finland at the moment. The material properties have been collected in to charts as an appendix. The material properties are gathered from literature and from the information that has been received from the manufacturers and suppliers of the products. Moisture technical and thermal technical operation of the building materials and products is described in an usage environment which is characteristic of them. The numerical values that have been collected in to the charts are analyzed from the point of view of the building physical operation of the products or materials.

The properties that have been measured to building materials are not unambiguous regular values but they can vary also on the same product according to, among others, the porosity, density and layer thickness of the material and according to the conditions of the environment. For many products the material properties vary according to temperature and humidity content.

The product manufacturers and suppliers often present fairly briefly properties which are related to the building physical operation of its products and the names and units which are used from the properties vary in which case the comparison of different products among themselves is difficult. In the brochures it would be good to bring out more clearly and more comprehensively the material properties which are related to the building physical operation.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennetekniikan laitoksen diplomityönä dosentti Juha Vinhan ja diplomi-insinööri Kimmo Lähdesmäen johdolla.

Kiitän dosentti Juha Vinhaa ja diplomi-insinööri Kimmo Lähdesmäkeä työn tarkastamisesta, ohjaamisesta ja neuvoista. Lisäksi haluan kiittää Rakennetekniikan laitoksen henkilökuntaa saamastani avusta ja neuvoista. Erityisesti haluan kiittää myös kaikkia rakennusmateriaalien ja -tuotteiden valmistajia ja toimittajia, jotka ovat ystävällisesti lähettäneet tuotteidensa materiaaliominaisuustietoja.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia läheisiäni saamasta tuesta ja kannustuksesta.

Tampereella 30.8.2010

Katariina Laine

SISÄLLYS

Tiivistelmä	III
Abstract	IV
Alkusanat	V
Termit ja niiden määritelmät	IX
1. JOHDANTO	1
1.1. Työn tausta	1
1.2. Tavoitteet	1
1.3. Suoritus	2
1.4. Tutkimuksen rajaus	2
2. RAKENTEIDEN LÄMPÖTEKNISEN TOIMINNAN PERUSTEET	4
2.1. Lämmön siirtymismuodot	4
2.1.1. Johtuminen	4
2.1.2. Konvektio	5
2.1.3. Säteily	6
2.2. Lämmön siirtyminen huokoisessa materiaalissa	9
2.3. Lämpökapasiteetti	9
2.4. Lämpötekniset suunnitteluarvot	9
3. RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN PERUSTEET	13
3.1. Yleistä	13
3.2. Kosteuden siirtymismuodot	14
3.2.1. Vesihöyryn diffuusio	14
3.2.2. Vesihöyryn konvektio	17
3.2.3. Kosteuden painovoimainen ja paineenalainen siirtyminen	17
3.2.4. Kapillaarinen siirtyminen	17
3.2.5. Kosteusdiffusiviteetti	18
3.2.6. Kosteuden kondensoituminen	19
3.3. Kosteuden sitoutuminen	20
3.3.1. Hygroskooppinen tasapainokosteus	20
3.3.2. Rakennusmateriaalien kosteus	21
4. MATERIAALIEN ILMAVIRTAUSTEKNISET OMINAISUUDET	23
4.1. Ilmanläpäisevyys	23
5. RAKENNUSMATERIAALIEN JA – TUOTTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET	25
5.1. Yleistä	25
5.2. Katemateriaalit	25
5.2.1. Yleistä	25
5.2.2. Kermit ja kermikatelevyt	26
5.2.3. Metalliohutlevyt	28
5.2.4. Kattotiilet	30
5.3. Aluskatteet	31

5.3.1.	Yleistä	31
5.3.2.	Aluskatemateriaalit	31
5.4.	Vedeneristeet	34
5.4.1.	Yleistä	34
5.4.2.	Kermit ja matot	34
5.4.3.	Vedeneristemassat	35
5.4.4.	Vedeneristelevyt	36
5.5.	Höyrynsulut	37
5.5.1.	Yleistä	37
5.5.2.	Höyrynsulkukalvot	37
5.5.3.	Höyrynsulkulevyt	40
5.5.4.	Pinnoitteet ja sivelyt	41
5.6.	Ilmansulut	41
5.6.1.	Yleistä	41
5.6.2.	Ilmansulkukalvot	41
5.6.3.	Ilmansulkulevyt	42
5.7.	Tuulensuojat	42
5.7.1.	Yleistä	42
5.7.2.	Tuulensuojakalvot	43
5.7.3.	Tuulensuojalevyt	44
5.8.	Lämmöneristeet	49
5.8.1.	Yleistä	49
5.8.2.	Mineraalivillat	49
5.8.3.	Muovikuitupohjaiset lämmöneristeet	51
5.8.4.	Luonnonkuitupohjaiset lämmöneristeet	51
5.8.5.	Solumuovilämmöneristeet	56
5.8.6.	Muut lämmöneristeet	61
5.9.	Runkomateriaalit	61
5.9.1.	Yleistä	61
5.9.2.	Betoni	62
5.9.3.	Kevytbetoni	65
5.9.4.	Kevytsorabetoni	66
5.9.5.	Tiilet	67
5.9.6.	Puu ja sahatavara	70
5.9.7.	Puutuotteet	72
5.9.8.	Teräs	75
5.9.9.	Alumiini	76
5.9.10.	Luonnonkivet	76
5.10.	Maalajit ja kiviainekset	78
5.11.	Sisälevyt	80
5.11.1.	Yleistä	80
5.11.2.	Puupohjaiset levyt	81

5.11.3.	Kipsi- ja sementtipohjaiset levyt	86
5.11.4.	Metalliohutlevyt	89
5.12.	Rappaukset ja tasoitteet.....	89
5.12.1.	Yleistä.....	89
5.12.2.	Pehmeälle alustalle tehtävä rappaus	89
5.12.3.	Kovalle alustalle tehtävä rappaus	92
5.12.4.	Laastit	95
5.12.5.	Tasoitteet	97
5.13.	Lasi.....	99
5.13.1.	Yleistä.....	99
5.13.2.	Eristyslaselementit.....	100
6.	YHTEENVETO	101
	LÄHTEET	104
	LIITTEET	122

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Diffuusio	Diffuusio on kaasumolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksessa olevia yksittäisen kaasun pitoisuuseroja (tai osapaine-eroja). Diffuusiosta kaasumolekyylit siirtyvät korkeammasta pitoisuudesta pienempään.
Diffuusiovastus	Materiaalin suhteellinen diffuusiovastus S_d kuvaa rakenteen läpi tapahtuvaa diffuusion nopeutta rakenteen paksuuden suhteen. Yksikkönä käytetään [m].
Diffuusiovastuskerroin	Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin μ ilmoittaa ilman vesihöyrynläpäisevyyden ja huokoisen aineen vesihöyrynläpäisevyyden suhteen.
Emissiviteetti	Emissiviteetti ε on pinnan ominaisuus lähettää pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Emissiviteetti vaihtelee välillä 0...1.
Hygroskooppisuus	Hygroskooppisuus tarkoittaa huokoisen aineen kykyä sitoa itseensä kosteutta ilmasta ja luovuttaa sitä takaisin ilmaan.
Hygroskooppinen tasapainokosteus	Hygroskooppinen tasapainokosteus tarkoittaa sitä kosteuspitoisuutta, joka sitoutuu ilmasta huokoiseen aineeseen ympäristön tietyssä suhteellisessa kosteudessa stationääritilassa.
Höyrynsulku	Höyrynsulku on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää vesihöyryn haitallinen diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa. Höyrynsulun vesihöyrynläpäisevyys on pieni.
Ilmanläpäisevyys	Ilmanläpäisevyydellä L tarkoitetaan ilman tilavuusvirtaa, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen läpi, kun ainekerroksen eri puolilla olevien ilmatilojen paine-ero on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään [$\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$].
Ilmanläpäisykerroin	Ilmanläpäisykerroin K_a ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti pintayksikön suuruisen materiaalin, kun

materiaalin eri puolilla olevien tilojen paine-ero on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään $[m^3/(m^2 \cdot s \cdot Pa)]$ tai $[m^3/N \cdot s]$.

- Ilmansulku** Ilmansulku on yhtenäinen ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on rajoittaa rakenteen läpäiseviä ilmavirtauksia. Ilmansulun ilmanläpäisevyys L on pieni.
- Johtuminen** Lämpöenergia siirtyy johtumalla molekyylien liike-energiana molekyylistä toiseen. Johtuminen on ainoa lämpöenergian siirtymismuoto kiinteissä aineissa.
- Kapillariteettikerroin** Kapillariteettikerroin A_w on verrannollinen vesimäärään, joka imeytyy vapaan vedenpinnan kanssa kosketuksessa olevaan kappaleeseen. Kapillariteettikerroin ei ole vakio, vaan muuttuu kappaleen kosteuspitoisuuden lähestyessä kapillaarista kyllästyskosteutta. Yksikkönä käytetään $[kg/(m^2 \cdot s^{0,5})]$
- Kondensoituminen** Kondensoituminen tarkoittaa ilmassa olevan vesihöyryn tiivistymistä rakenteen pintoihin vedeksi tai jääksi, kun ilman vesihöyrypitoisuus on saavuttanut pinnan lähellä kyllästyskosteuden (100 % RH).
- Lämmönjohtavuus** Lämmönjohtavuus λ ilmoittaa lämpömäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerrosten eri puolilla on yksikön suuruinen lämpötilaero. Yksikkönä käytetään $[W/(m \cdot K)]$.
- Lämmönläpäisykerroin** Lämmönläpäisykerroin U ilmoittaa lämpömäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun rakenteen eri puolilla vallitseva lämpötilaero on yksikön suuruinen. Yksikkö on $[W/(m^2 \cdot K)]$.
- Lämmönvastus** Lämmönvastus R ilmoittaa materiaalin lämmönsiirtymisvastuksen. Yksikkönä käytetään $[m^2 \cdot K/W]$.
- Ominaislämpökapasiteetti** Ominaislämpökapasiteetti c_p kuvaa materiaalin lämmönsitomiskykyä vakioaineessa tai vakiotilavuudessa.

Materiaalin ominaislämpökapasiteetti muuttuu materiaalin kostuessa. Yksikkönä käytetään [J/(kg·K)].

- Tuulensuoja** Tuulensuoja on ainekerros, jonka pääasiallisena tehtävänä on estää tuulen aiheuttama haitallinen ilmavirtaus rakenteessa ja lämmöneristekerroksessa. Tuulensuojan tulee olla hyvin vesihöyryä läpäisevää.
- Vesihöyrynläpäisevyys** Vesihöyrynläpäisevyys δ_v tai δ_p ilmoittaa sen vesimäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla olevien tilatilojen vesihöyrynpitoisuuksien ero (tai vesihöyryn osapaine-ero) on yksikön suuruinen. Yksikköinä käytetään $\delta_v = [\text{m}^2/\text{s}]$ ja $\delta_p = [\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})]$.
- Vesihöyrynläpäisykerroin** Vesihöyrynläpäisykerroin W_v tai W_p ilmoittaa vesimäärän, joka stationääritilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakenneosan, kun rakenneosan eri puolilla olevien tilatilojen vesihöyrynpitoisuuksien ero (tai vesihöyryn osapaine-ero) on yksikön suuruinen. Yksikköinä käytetään $W_v = [\text{m}/\text{s}]$ ja $W_p = [\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})]$.
- Vesihöyrynvastus** Vesihöyrynvastuksella Z_v tai Z_p tarkoitetaan vesihöyrynläpäisykerroimen käänteisarvoa. Yksikköinä käytetään $Z_v = [\text{s}/\text{m}]$ ja $Z_p = [\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}/\text{kg}]$.
- Vesihöyrypitoisuus** Ilman sisältämä vesihöyrypitoisuus v ilmoittaa ilmassa olevan vesihöyrymäärän vesihöyrypitoisuutena [kg/m^3]. Vesihöyrynpitoisuus p_v ilmoittaa vesihöyrypitoisuuden vesihöyryn osapaineena [Pa].

1. JOHDANTO

1.1. Työn tausta

Rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan tarkastelun lähtökohtana on tuntee rakenteessa käytettävien materiaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet mahdollisimman tarkasti. Suunnittelussa voidaan helposti tehdä virheitä, mikäli käytettävien materiaalien ominaisuuksia vallitsevissa olosuhteissa ei tunneta riittävän tarkasti. Tärkeintä on tietää materiaalien lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet sekä joidenkin materiaalien kohdalla ilmanläpäisevyys. Nämä ominaisuudet riippuvat mm. lämpötilasta, vallitsevasta suhteellisesta kosteudesta sekä materiaalin tiheydestä ja kerrospaksuudesta.

Lämpö- ja kosteusteknisiä ominaisuuksia sekä ilmanläpäisevyyttä on tutkittu, mutta saatavilla olevien materiaalitietojen tutkimustavat saattavat poiketa toisistaan, jolloin tulokset eivät ole vertailukelpoisia. Lisäksi materiaaliominaisuuksista käytettävät nimet ja yksiköt vaihtelevat eri lähteissä. Tutkimusmenetelmien ja -laitteiden kehittyessä on materiaalien ominaisuuksien tuntemus parantunut ja nykyisin saatavat tutkimustulokset ovat tarkempia.

Markkinoille tuodaan jatkuvasti uusia tuotteita, joiden ominaisuuksista ei useimmiten ole riittävästi tietoa saatavilla rakennusfysikaalisten tarkastelujen kannalta. Uusin tieto materiaaleista ja niiden ominaisuuksista on lähinnä yritysten tuotekehitysosastolla.

Olemassa oleva tieto on hajallaan monissa lähteissä, eikä kaikkien rakennusmateriaalien ja tuotteiden ominaisuuksia ole juuri saatavilla yhteen pakettiin koottuna. Materiaalien ominaisuuksia on koottu taulukoihin mm. julkaisuissa Kumaran (1996) ja Vinha et al. (2005) sekä joissakin rakennusfysiikan oppikirjoissa. Aiheesta on tehty samanniminen diplomityö, Heino (2000), Tampereen teknillisessä korkeakoulussa, jossa pääpaino on kuitenkin ominaisuuksien tutkimusmenetelmissä.

Tämän tutkimuksen taustalla on siis tilanne, jossa rakennusfysikaalista tarkastelua tekevän suunnittelijan on hankala löytää tietoa tai tietoa on haettava useista eri lähteistä.

1.2. Tavoitteet

Diplomityön päätavoitteena on tuoda esille Suomessa tyypillisesti käytettävät rakennusmateriaalit ja niiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Diplomityö on osa vuonna 2011 julkaistavaa Rakennusfysiikan käsikirjaa, jonka Suomen

Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry on tilannut Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselta. Uudessa käsikirjassa tullaan julkaisemaan tässä työssä kootut rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet.

Tässä työssä rakennusfysikaaliset materiaaliominaisuudet on koottu kattavasti taulukoihin niin, että eri lähteistä saatavat arvot ovat vertailukelpoisia keskenään. Materiaaliominaisuuksista käytettävät nimet ja yksiköt on pyritty yhtenäistämään ja puuttuvat arvot on laskettu kirjallisuuden arvoista, mikäli se on ollut mahdollista.

Markkinoilla olevien rakennusmateriaalien ja -tuotteiden kosteus- ja lämpötekniisiä ominaisuuksia on pyritty kuvaamaan niille ominaisessa käyttöympäristössä. Liitteenä olevien materiaalitaulukkojen lukuarvoja on pyritty kirjoittamaan tekstiosuudessa auki ja selittämään, mitä lukuarvo kyseisen tuotteen tai materiaalin toiminnasta kertoo. Tavoitteena on myös kertoa uusien tuotteiden ja niissä käytettävien materiaalien rakennusfysikaalisista ominaisuuksista.

1.3. Suoritus

Diplomityö on kirjallisuustutkimus. Tiedonhankinnan kannalta pääosassa ovat rakennusmateriaalien valmistajilta saatava tieto sekä julkaistuista lähteistä saatava tieto. Lähteinä käytetään sekä suomalaisia että ulkomaalaisia julkaisuja. Materiaaliominaisuuksien taulukoinnissa käytetään luotettavia ja uusimpia saatavilla olevia lähteitä. Puuttuvia ominaisuuksia täydennetään taulukoihin laskemalla muunnoskaavojen avulla.

1.4. Tutkimuksen rajaus

Tässä tutkimuksessa käsitellään rakennustuotteita ja -materiaaleja, joita käytetään Suomessa tällä hetkellä tai joita tulevaisuudessa voitaisiin käyttää Suomessa. Työstä on rajattu pois vanhemmat rakennusmateriaalit ja -tuotteet, joita ei enää käytetä rakentamisessa, koska niistä on saatavilla tietoa muissa lähteissä. Työssä on keskitytty laajasti käytössä oleviin tuotteisiin ja materiaaleihin.

Käsiteltävistä rakennusmateriaaleista ja -tuotteista rajattiin pois mm. maalit, lakat ja pohjusteet sekä erilaiset saumausaineet ja -massat, koska tuotteet poikkeavat paljon muista rakennusmateriaaleista ja -tuotteista. Nämä tuotteet ovat tyypillisesti tiiviitä, ohuita materiaalikerroksia, joiden ominaisuuksiin vaikuttavat niissä käytettävät kemikaalit. Aihealue on laaja ja kokonaisuudesta voisi tehdä toisen diplomityön. Työstä rajattiin myös pois tuuletusraollisen ulkoseinän verhoilussa käytettävät paneelit ja levyt, koska rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa ei yleensä huomioida tuuletusraon ulkopuolista rakennetta.

Taulukoihin koottavat rakennusfysikaaliset ominaisuudet rajattiin käsittelemään lämpö- ja kosteustekniisiä ominaisuuksia, koska nämä ominaisuudet ovat oleellisia

rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta ja koska näitä ominaisuuksia tarvitaan rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa.

2. RAKENTEIDEN LÄMPÖTEKNISEN TOIMINNAN PERUSTEET

2.1. Lämmön siirtymismuodot

Lämpö voi siirtyä johtumalla, konvektion avulla tai säteilemällä. Johtumista tapahtuu sekä kiinteässä aineessa että materiaalin ilmahuokosissa. Lämpöenergia siirtyy säteilyllä ja konvektiolla ainoastaan ilmahuokosissa. Käytännössä lämpö siirtyy kaikilla kolmella tavalla samanaikaisesti. (Hagentoft 2001.)

2.1.1. Johtuminen

Lämmön johtumisessa molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen sisäisen värähtelyn vaikutuksesta. Kaasuissa ja nesteissä liike-energia siirtyy translaatiolla, kiinteissä aineissa värähtelyn avulla ja johteissa vapaiden elektroneiden liikkeellä. Lämmön siirtymissuunta on aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan eli lämpötilagradientin vastakkaiseen suuntaan. Näin lämpöerot väliaineessa pyrkivät tasoittumaan. Johtumalla siirtyvän lämpövirran tiheys q [W/m²] isotrooppisessa ja homogeenisessa ainekerroksessa voidaan laskea Fourierin lain avulla kaavalla 2.1: (Hagentoft 2001.)

$$q = -\lambda \cdot \nabla T = -\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \lambda \frac{\partial T}{\partial y}, \lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right) \quad (2.1)$$

missä

q	lämpövirran tiheys [W/m ²]
λ	lämmönjohtavuus [W/(m·K)]
T	lämpötila K
x, y, z	lämpövirran suuntakoordinaatit [m].

Jatkuvuustilassa lämpötilajakauman ollessa lineaarinen materiaali-kerroksen läpi voidaan lämpövirran tiheys q laskea kaavalla 2.2:

$$q = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \quad (2.2)$$

missä

λ	materiaalikerroksen lämmönjohtavuus [W/(m·K)]
d	materiaalikerroksen paksuus [m]
$T_{1,2}$	materiaalikerroksen yli vallitseva lämpötilaero [K].

Rakenteen koostuessa useasta homogeenisesta ainekerroksesta, voidaan lämpövirran tiheys q laskea kaavalla 2.3:

$$q = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\sum R} \quad (2.3)$$

Materiaalin lämmönvastus R [m²·K/W] kuvaa materiaalin paksuuden d ja materiaalin lämmönjohtavuuden λ suhdetta (kaava 2.4). Lämmönvastus on rakennusosan tai ainekerroksen ominaisuus vastustaa lämmön siirtymistä johtamalla kyseisen kerroksen läpi. (Björkholtz 1997.)

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2.4)$$

Materiaalin läpi tapahtuva kokonaislämpövirta Φ [W] saadaan lämpövirran tiheyden ja pinta-alan tulona (kaava 2.5, Hagentoft 2001.)

$$\Phi = q \cdot A = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \quad (2.5)$$

missä

Φ	lämpövirran tiheys [W].
A	pinta-ala [m ²].

Rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuden muutos lämpötilan ja kosteuden funktiona on tunnettu asia. Materiaalien, jotka sitovat itseensä kosteutta, lämmönjohtavuus kasvaa sitä enemmän, mitä kosteampi ja tiheämpi materiaali on. Huokosissa jäänyt vesi lisää myös huomattavasti lämmönjohtavuutta, sillä jäätyneen veden lämmönjohtavuus on moninkertainen nestemäisen veden lämmönjohtavuuteen verrattuna. (Hagentoft 2001; Vinha et al. 2005.)

2.1.2. Konvektio

Konvektion avulla siirtyessään lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Kun kiinteän pinnan ja sen ohi virtaavan aineen välillä on lämpötilaero, siirtää

konvektio lämpöä pintaa kohti tai siitä pois päin. Luonnollinen konvektio tapahtuu lämpötilaerojen aiheuttamasta tiheyserosta. Yleensä lämpimän väliaineen tiheys pienenee lämpötilan noustessa, jolloin se kohoaa ylöspäin. Puhtaasti luonnollista konvektiota esiintyy rakenteissa melko harvoin, vaan yleensä siihen liittyy pakotettu konvektio. Pakotetussa konvektiossa kaasu tai neste liikkuu ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Pakotettuja virtauksia rakennuksen sisäpuolella saavat aikaan ihmisten liikkeet sekä ilmanvaihdon virtaukset, rakennuksen ulkopuolella tuulenpaine. Puhtaasti pakotettuun konvektioon vaikuttaa lämpötilaero vain vähän. (Björkholz 1997.)

Rakennusfysiikassa tarkastellaan ilman konvektiota. Rakenteiden ulkopintoja tarkasteltaessa painoarvo on suurempi pakotetulla konvektiolla, koska ilman virtausnoeus pinnan lähellä on melko suuri. Sisäpintoja tarkasteltaessa painoarvo on luonnollisella konvektiolla, mutta sen merkitys lämmön kokonaissiirtymisen kannalta on yleensä pienempi kuin säteilyn.

Suljetussa ilmvälissä ilma liikkuu luonnollisen konvektion vaikutuksesta. Rakenteiden sisäinen konvektio heikentää rakenteen lämmöneristystä. Lisäksi pystyrakenteissa, joissa lämpövirran suunta on vaakasuora, ilmvälillä alaosassa oleva ilma lämpenee ja kohdatessaan ilmvälillä lämpimän pinnan ilma alkaa nousta sitä pitkin ylöspäin. Kylmän pinnan kohdatessaan ilma jäähtyy ja alkaa vajota alaspäin. Ilmvälillä kiertävä konvektiovirtaus on sitä voimakkaampi, mitä suurempi lämpötilaero pintojen välillä on. Konvektiovirtaus lisää rakenteen läpi siirtyvää lämpövirtaa ja heikentää ilmvälillä lämmöneristävyyttä. (Vinha 2009.)

2.1.3. Säteily

Säteilyssä lämpöenergia siirtyy sähkömagneettisina aaltoina kahden eri lämpötilassa olevan pinnan välillä. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nolapisteen yläpuolella lähettävät eli emittoivat säteilyä ympäristöönsä. Säteilyn eteneminen ei vaadi väliainetta kuten johtumisessa ja konvektiossa, vaan väliaine voi päinvastoin hidastaa pintojen välillä etenevää säteilyä.

Lämpösäteily käsittää aallonpituusalueen $10^{-1} \dots 10^2 \mu\text{m}$, josta näkyvän valon osuus on $0,4 \dots 0,7 \mu\text{m}$. Mitä korkeampi on kappaleen lämpötila, sitä suurempi osa siitä lähtevästä säteilystä on lyhytaaltoista. Säteily voidaan jakaa pitkäaaltoiseen lämpösäteilyyn ja lyhytaaltoiseen auringonsäteilyyn. Lyhytaaltoista säteilyä on suoran auringon lähettämän säteilyn lisäksi ilmakehästä ja pilvistä heijastuva diffuusi säteily. Maan pinnalta ja rakennuksista heijastuva diffuusi säteily on pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Myös kappaleiden ja pintojen emittoima lämpösäteily ovat pitkäaaltoista lämpösäteilyä huonelämpötila-alueella. (Vinha 2009.)

Eniten säteilyä emittoi ideaalinen musta kappale, jonka säteilyteho E_b [W/m^2], voidaan laskea Stefan-Boltzmannin lain avulla kaavalla 2.6: (Hagentoft 2001.)

$$E_b = \sigma \cdot T^4 \quad (2.6)$$

missä

σ	Stefan-Bolzmännin vakio $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)]$
T	säteilyä lähettävän kappaleen pinnan lämpötila [K].

Käytännössä pintojen tarkasteluissa ainoastaan auringon lähettämä säteilyteho vastaa mustan kappaleen emittoimaa säteilytehoa. Todellisen pinnan säteilytehon E ja ideaalisen mustan kappaleen säteilytehon E_b suhdetta E/E_b kutsutaan pinnan emissiviteetiksi ε [-]. Emissiviteetti on kappaleen ominaisuus säteillä pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Emissiviteetin arvot vaihtelevat välillä 0...1. Emissiviteetti riippuu sekä aallonpituudesta että säteilyn lähtökulmasta pintaan nähden, mutta teknillisissä laskelmissa käytetään usein ns. harmaan pinnan approksimaatiota, jossa emissiviteetti oletetaan aallonpituudesta riippumattomaksi. Rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa pinnat emittoivat aina pitkäaaltoista säteilyä ja rakennusmateriaalien emissiviteetti on yleensä varsin suuri riippumatta pinnan väristä. Taulukkoon 2.1 on koottu erilaisten pintojen emissiviteettejä. Kaavalla 2.7 voidaan laskea todellisten pintojen säteilyteho E [W/m²]: (Hagentoft 2001; Vinha 2009.)

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.7)$$

Pintaan osuvasta säteilystä osa heijastuu, osa absorboituu ja läpäisevillä pinnoilla, kuten lasilla, osa säteilystä kulkee pinnan läpi. Eri säteilykomponentteja kuvataan seuraavilla kertoimilla: (Hagentoft 2001.)

ρ	heijastuskerroin [-]
α	absorptiokerroin [-]
τ	läpäisykerroin [-].

Kertoimien kesken on voimassa yhtälö (2.8.):

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.8)$$

Pinnan heijastuskerroin ρ on sitä suurempi, mitä vaaleampi pinta on. Absorptiokerroin α on erilainen lyhyt- ja pitkäaaltoisella säteilyllä. Ilman suurempia virheitä voidaan todeta, että harmaan pinnan $\varepsilon = \alpha$. Koska rakennusfysiikassa tarkastellaan lasia lukuun ottamatta yleensä materiaaleja, joilla ei ole merkittävää läpäisykerrointa, voidaan pinnan heijastuskerroin yleensä laskea kaavalla 2.9. Taulukossa 2.2 on esitetty eräiden pintojen heijastuskertoimia ja lyhytaaltoisen säteilyn absorptiokertoimia. (Vinha 2009.)

$$\rho = 1 - \alpha \quad (2.9)$$

Taulukko 2.1. Eräiden pintojen emissiviteettejä. (Björkholz 1997; Hagentoft 2001; Paloniitty & Kauppinen 2006.)

Pinta	ϵ	Lähde	Pinta	ϵ	Lähde
Alumiini, kirkas	0,05...0,09	1	Lastulevy	0,77...0,89	2
Alumiini, oksidoitunut	0,20...0,33	1	Lumi	0,82	1
Betoni	0,88...0,97	1,4	Lyijy, oksidoitunut	0,28	3
Galvanoitu metallilevy					
- uusi	0,13	4			
- oksidoitunut	0,28	4			
Huurre	0,99	1	Paperi	0,93	3
Jää, sileä	0,97	1	Polystyreeni	0,60	2
Kalkkiahiekkatiili	0,90	1	Posliini	0,92	3
Kattohuopa	0,92...0,95	1	Puu, höylätty	0,80...0,90	1, 3
Kipsi	0,80...0,90	2	Rappaus	0,90...0,93	2
Kulta, kiillotettu	0,02	3	Teräs		
Kupari, kiillotettu	0,02	3	- kuumavalssattu	0,77	3
Kupari, oksidoitunut	0,78	3	- pun. ruostunut	0,61	3
Maalit, lakat			- sinkitty	0,26	3
- alumiiniväri	0,27...0,62	1	- kiillotettu	0,27	3
- emalilakka	0,85...0,95	1	Savitiili, poltettu	0,91	1
- musta maali	0,80...0,97	1	Tiili, punainen	0,88...0,93	2
- valkoinen maali	0,90...0,97	1	Tiili, karkeapintainen	0,93	1
- öljymaali	0,94	3	Vesi	0,95	3
Lasi	0,92...0,94	1, 3			

1) Björkholz 1997. 2) Paloniitty & Kauppinen 2006. 3) Hagentoft 2001. 4) Vinha 2009.

Taulukko 2.2. Eri materiaalien pintojen heijastuskertoimia ρ ja auringon lyhytaaltoisen säteilyn absorptiokertoimia α_{sol} . (Björkholz 1997; Hagentoft 2001.)

Pinta	ρ	Lähde	Pinta	α_{sol}	Lähde
Uusi lumi	0,85	1	Bitumi	0,93	2
Valkoinen maali ja rappaus	0,70	1	Tummanharmaa		
Keltainen tiili, vaaleat värit	0,50	1	liuskekivi, kostea maa	0,90	2
Betoni, tummanpunainen			tumma tapetti ja lattia	0,80...0,90	3
tiili	0,30	1	Galvanoitu metallilevy		
Hiekka, sepeli, vaalea kivi	0,20	1	- uusi	0,65	3
Tummat värit	0,15	1	- oksidoitunut	0,80	3
Tumma kattohuopa, musta väri	0,10	1	Betoni, vaalea lattia	0,60...0,70	2
Vesi			Tiili, punainen	0,60...0,75	2, 3
- kesällä	0,20	1	Tiili, keltainen	0,70	2
- talvella	0,10	1	Vaaleat värit	0,30...0,50	2
			Alumiini	0,09...0,15	3
			Valkopestyt pinnat	0,30	2
			Valkoinen maali	0,25	2
			Lumi	0,15...0,16	2,3

1) Björkholz 1997. 2) Hagentoft 2001. 3) Vinha 2009.

2.2. Lämmön siirtyminen huokoisessa materiaalissa

Huokokset ovat kiinteässä aineessa olevia ilman tai veden täyttämiä pieniä tiloja, joiden koko voi vaihdella nanometreistä millimetreihin. Huokosrakenteet voivat olla suljettuja, puoliavoimia tai täysin avoimia ja huokosten muoto voi vaihdella ontelomaisesta putkimaiseen. Lämmön siirtyminen huokoisessa aineessa voi tapahtua kolmella tavalla:

- johtumalla kiinteän osan kautta
- johtumalla huokosissa olevan veden tai ilman kautta
- konvektiona vesihöyryn mukana, mikäli aineessa on vettä ja vallitsee lämpögradientti
- säteilyä pintojen välillä.

Hyvin pienissä huokosissa johtuminen tapahtuu molekyylien törmäilynä huokosten seinämien välillä. Luonnollista konvektiota ei tapahdu huokosten pienen koon takia. Huokosissa olevan veden määrä lisää materiaalissa tapahtuvaa lämmön siirtymistä, koska veden lämmönjohtavuus $\lambda = 0,60 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ on noin 20-kertainen ilman lämmönjohtavuuteen verrattuna, $\lambda = 0,025 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry 1984; Hagentoft 2001.)

2.3. Lämpökapasiteetti

Kappaleen massan kykyä sitoa ja luovuttaa lämpöä kutsutaan lämpökapasiteetiksi. Lämpökapasiteetti on riippuvainen paineesta ja lämpötilasta. Lämpötilaa nostettaessa materiaalin ominaislämpökapasiteetti kuvaa, kuinka paljon lämpöenergiaa materiaaliin sitoutuu lämpötilaeroa ja massaa kohden. Materiaalin ominaislämpökapasiteetista käytetään termiä c , [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]. Materiaalin tilavuuslämpökapasiteetti vakioaineessa kuvataan termillä ρ_c , [$\text{J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$]. (Hagentoft 2001.)

Materiaalien kykyä varata itseensä lämpöenergiaa voidaan hyödyntää energiateknisessä suunnittelussa. Ominaisuutta voidaan hyödyntää sekä rakennuksen lämmityksessä että jäädytyksessä.

2.4. Lämpötekniset suunnittelu-arvot

Rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa tarvittavat lämpötekniset suunnittelu-arvot voidaan johtaa ilmoitetuista lämpöteknisistä arvoista käyttämällä standardien SFS-EN ISO 10456 (2008), SFS-EN ISO 6946 (2008), SFS-EN 13370 (2008) ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n ohjetta RIL 225-2004 (2005), Rakennusosien lämmönläpäisykertoimen laskenta, mukaisia muunnosmenettelyjä. Lämmönjohtavuus λ ,

[W/(m·K)] ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen. (RIL 225-2004 2005.)

Keskimääräinen lämmönjohtavuus λ_{10} on lämmönjohtavuuden yksittäisten mittaustuloksien aritmeettinen keskiarvo, kun mittaukset on suoritettu +10 °C keskilämpötilassa.

Ilmoitettu lämmönjohtavuus $\lambda_{Declared}$ määritetään voimassaolevan EN-tuotestandardin mukaan tai sen puuttuessa määrittäminen tehdään eurooppalaisen teknisen hyväksynnän (ETA) mukaisesti, jolloin lämmönjohtavuus perustuu yleensä +10 °C keskilämpötilassa suoritettuihin mittauksiin sekä mittaustulosten tilastolliseen käsittelyyn. $\lambda_{Declared}$ -arvoa käytetään lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon lähtötietona.

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_{design} , on rakennusosien lämpötekniisessä suunnittelussa käytettävä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, joka määritetään EN-standardin mukaan tai valitaan EN-standardin taulukkoarvoista. Taulukoidut suunnitteluarvo pätevät yleensä +10 °C lämpötilassa olevalle aineelle. λ_{design} -arvon laskennassa otetaan termillä F_a huomioon materiaalin vanheneminen. Kaikille rakennusmateriaaleille voidaan olettaa 25...50 vuoden käyttöikä, paitsi eräille solumuoveille, kuten PUR-, XPS- ja PF- lämmöneristeille. Näiden vanheneminen on otettu huomioon jo $\lambda_{Declared}$ -arvossa, joten sitä ei enää toistamiseen oteta huomioon laskettaessa lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo voidaan laskea kaavalla 2.10: (RIL 225-2004 2005.)

$$\lambda_{design} = \lambda_{Declared} \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a + \Delta\lambda \quad (2.10)$$

missä

F_T	lämpötilan muuntotekijä
F_m	kosteuden muuntotekijä, kun suunnittelulämpötila $T \geq 0$ °C
F_a	vanhenemisen muuntotekijä

Lämpötilan muuntotekijä F_T lasketaan kaavalla 2.11:

$$F_T = e^{f_T(T_2-T_1)} \quad (2.11)$$

missä

f_T	lämpötilan muuntokerroin (standardin SFS-EN ISO 10456 (2008) taulukosta)
T_1	keskilämpötila, sovelletaan ilmoitettuun lämmönjohtavuuteen (+10 °C)
T_2	lämmöneristykseen suunnittelulämpötila

Kosteuden muuntotekijä F_m lasketaan kaavalla 2.12:

$$F_m = e^{f_u(U_2-U_1)} \quad (2.12)$$

missä

f_u	kosteuden muuntokerroin, kun kosteuspitoisuuden yksikkö on [kg/kg]
u_1	eristeen kosteuspitoisuus määritettäessä ilmoitettu lämmönjohtavuus [kg/kg]
u_2	eristeen suunnittelukosteus [kg/kg]

Vanhenemisen muuntotekijä F_a lasketaan kaavalla 2.13:

$$F_m = e^{f_\psi (\psi_2 - \psi_1)} \quad (2.13)$$

missä

f_ψ	kosteuden muuntokerroin, kun kosteuspitoisuuden yksikkö on [m^3/m^3]
ψ_1	eristeen kosteuspitoisuus määritettäessä ilmoitettu lämmönjohtavuus [m^3/m^3]
ψ_2	eristeen suunnittelukosteus [m^3/m^3].

Aineen lämmönjohtavuuden normaalissa suunnitteluarvossa λ_n otetaan huomioon kaikki lisäykset ja korjaukset, kuten aineen lämmönjohtavuuden hajonta, suunnitelmien mukainen aineen kosteuspitoisuus käyttökohteessa sekä lämmönjohtavuuden palautumaton muuttuminen käyttöiän aikana. Samoin huomioon otetaan myös sisäiset ilmavirtaukset. Normaalian lämmönjohtavuuden arvot pätevät aina +10 °C lämpötilassa, ellei muuta ole mainittu. λ_n -arvoissa on myös huomioitu lämmöneristyksen sisäisten ja sen kautta kiertävien vähäisten ilmavirtojen vaikutus. Normaalin lämmönjohtavuus λ_n lasketaan kaavalla 2.14: (Ympäristöministeriö 2003.)

$$\lambda_n = \lambda_{10} + \Delta\lambda_{hajonta} + \Sigma\Delta\lambda \quad (2.14)$$

missä

λ_n	normaalinen lämmönjohtavuus [W/(m·K)]
λ_{10}	+10 °C keskilämpötilassa mitattujen lämmönjohtavuustulosten keskiarvo [W/(m·K)]
$\Delta\lambda_{hajonta}$	valmistusteknisistä syistä johtuvan lämmönjohtavuuden hajonnan huomioon ottava lisäys [W/(m·K)]
$\Sigma\Delta\lambda$	lämmönjohtavuuden lisäysten summa [W/(m·K)].

Lämmöneristeiden λ_n -arvot ja λ_{design} -arvot poikkeavat toisistaan sekä määrittäisperusteiltaan että yleensä myös lukuarvoiltaan, eikä λ_n -arvoja tule käyttää lähtötietoina EN-standardien mukaisissa laskelmissa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry 2005). Eurooppalaiset standardit, kuten SFS-EN ISO 10456 (2008) ja SFS-EN 12524 (2000), ilmoittavat materiaalien lämmönjohtavuudet suunnitteluarvoina. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa C4 Lämmöneristys (2003), ilmoitetaan rakennusmateriaalien lämmönjohtavuudet λ_n -arvoina, mutta tulevaisuudessa tullaan

siirtymään eurooppalaisten tuote- ja suunnittelustandardien mukaisiin λ_{design} -arvoihin. Myös materiaalivalmistajat ovat siirtymässä näihin arvoihin.

3. RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN PERUSTEET

3.1. Yleistä

Kosteus voi esiintyä kolmessa eri muodossa; kaasuna eli vesihöyrynä, nesteenä eli vetenä tai kiinteässä muodossa jäänä. Veden olomuoto määräytyy vallitsevan lämpötilan ja paineen mukaan. Veden ominaisuudet vaihtelevat olomuodon, lämpötilan ja tiheyden suhteen, kuten taulukossa 3.1 on esitetty. Vesi on kemiallinen yhdiste, jonka vesimolekyylit ovat kooltaan hyvin pieniä. Siksi vesimolekyyli pystyy läpäisemään pienimmätkin huokokset. Vedellä ominaislämpökapasiteetti c_p on kaikista aineista korkein, noin 4200 J/(kg·K). Vesi laajenee jäätyessään normaali-ilmanpaineessa 9 %, millä on suuri merkitys huokoisten rakennusmateriaalien kestävyydelle. (RIL 225-2004 2005.)

Taulukko 3.1. Veden ominaisuuksia. (Björkholz 1997; Hagentoft 2001; Vinha 2009.)

Veden olomuoto	Tiheys ρ [kg/m ³]	Lämmönjohtavuus λ [W/(m·K)]	Ominaislämpökapasiteetti c_p [J/(kg·K)]
Vesihöyry	-	-	1870 (0 °C...100 °C)
Neste	1000 (+27 °C)	0,55 (0 °C) 0,59 (+20 °C) 0,62 (+40 °C)	4190 (0 °C...100 °C)
Suolainen vesi (-22 °C)	1500...1200	3,27...5,02	-
Suolainen vesi (-10 °C)	1100...1300	3,35...3,60	-
Jää	917	2,61 (-60 °C) 2,44 (-20 °C) 2,23 (0 °C)	2200
Lumi	100 300 500 900	0,05 0,23 0,64 2,21	-

Huokoisessa aineessa kosteus voi olla materiaaliin sitoutuneena, vapaana nesteenä tai vesihöyrynä. Rakennustekniikassa materiaalien kosteuspitoisuus ilmoitetaan yleisimmin paino-osina, painoprosentteina, vesimääränä tilavuutta kohden, tilavuusosina tai tilavuusprosentteina. Materiaalin sisältämä kosteuspitoisuus vesimääränä tilavuutta kohden w [kg/m³] voidaan laskea kaavalla 3.1. (Vinha et al. 2005.)

$$w = \frac{m_w}{V_d} \quad (3.1)$$

missä

m_w kappaleeseen sitoutuneen veden massa [kg]

V_d kappaleen tilavuus kuivana [m^3].

Kosteuspitoisuus paino-osina u [kg/kg] lasketaan kaavalla 3.2. josta saadaan kosteuspitoisuuden painoprosentteina kertomalla tulos sadalla. Kappaleen kosteuspitoisuus painoprosentteina saadaan kertomalla kosteuspitoisuus luvulla 100. (Vinha et al. 2005.)

$$u = \frac{m_w}{m_d} \quad (3.2)$$

missä

m_d kappaleen massa kuivana [kg].

3.2. Kosteuden siirtymismuodot

Kosteus esiintyy materiaaleissa ja rakenteissa sekä nesteinä että vesihöyryinä veden määrästä ja huokosrakenteesta riippuen. Kosteus siirtyy usein eri muodoissa samanaikaisesti. Kosteuden siirtymiseen tarvitaan potentiaaliero kahden tilan tai materiaalin välillä, kuten höyrynpaine-, lämpötila- tai tuulenpaine-ero. Lisäksi tarvitaan jokin voima. Veden siirtyessä nestemäisessä muodossa vaikuttavana voimana on vedenpaine, ylipaine, tuulen paine, gravitaatiovoima tai kapillaarinen imu. Lumi ja jää voivat liikkua esimerkiksi gravitaatiovoiman ja tuulenpaineen avulla. Vesihöyry siirtyy joko diffuusiolla tai konvektion vaikutuksesta. (RIL 225-2004 2005.)

3.2.1. Vesihöyryn diffuusio

Diffuusio on kaasumolekyylien liikettä, jonka seurauksena kaasun pitoisuuserot tai osapaine-erot pyrkivät tasoittumaan. Diffuusio tapahtuu korkeammasta pitoisuudesta matalampaan. Diffuusio voi tapahtua yksisuuntaisesti, jolloin vain toinen kaasu diffuntoituu toiseen tai kaksisuuntaisesti, jolloin molemmat kaasut diffuntoituvat toisiinsa. Diffuusion suuruus voidaan ilmoittaa vesihöyrynpitoisuuserona Δv [kg/m^3] tai vesihöyryn osapaine-erona Δp [Pa]. Homogeenisessa ainekerroksessa diffuusiolla siirtyvä kosteusvirran tiheys g , [$kg/(m^2 \cdot s)$], voidaan laskea Fickin lain avulla seuraavalla sivulla olevalla kaavalla 3.3: (Hagentoft 2001.)

$$g = -\delta_p \cdot \Delta p_v \quad (3.3)$$

missä

δ_p vesihöyrynläpäisevyys [kg/(m·s·Pa)]
 Δp_v vesihöyryn osapaine-ero [Pa].

Rakenteen koostuessa useista homogeenisista ainekerroksista voidaan rakenteen läpi kulkevan kosteusvirran tiheys laskea sisä- ja ulkoilman vesihöyrynpitoisuuksien sekä rakenteen kerrosten vesihöyrynvastuksen suhteena. Kosteusvirran tiheys voidaan laskea vesihöyryn pitoisuuseron avulla (kaava 3.4) tai vesihöyrynpitoisuuksien osapaineiden eron avulla (kaava 3.5). Tavallisesti ilman vesihöyrynpitoisuus rakennuksen sisäpuolella on suurempi kuin ulkopuolella mm. asumistoiminnoista johtuen. Siksi vesihöyry pyrkii siirtymään rakennuksen sisältä ulospäin. (Vinha 2009.)

$$g = \frac{v_s - v_u}{\sum Z_v} \quad (3.4)$$

$$g = \frac{p_s - p_u}{\sum Z_p} \quad (3.5)$$

missä

v_s, v_u vesihöyrynpitoisuudet sisä- ja ulkoilmassa [kg/m³]
 p_s, p_u vesihöyryn osapaine sisä- ja ulkoilmassa [Pa]
 Z_v vesihöyrynvastus [s/m]
 Z_p vesihöyrynvastus [m²·s·Pa/kg].

Vesihöyrynläpäisevyys ilmoittaa sen vesihöyrymäärän, joka läpäisee huokoisen materiaalin tai rakenteen diffuusion avulla. Materiaalin vesihöyrynläpäisevyyteen vaikuttavat mm. materiaalin tiheys, lämpötila ja huokosilmassa vallitseva suhteellinen kosteus. Vesihöyrynläpäisevyys kasvaa ilman kosteuspitoisuuden ja lämpötilan kasvaessa. Vesihöyrynläpäisevyys voidaan ilmoittaa vesihöyrynpitoisuuksien eron avulla, δ_p [kg/(m·s·Pa)] tai vesihöyrynpitoisuuksien osapaine-eron avulla, δ_v [m²/s]. (Vinha et al. 2005.)

Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin μ [-] ilmoittaa ilman vesihöyrynläpäisevyyden ja huokoisen aineen vesihöyrynläpäisevyyden suhteen (kaava 3.6). Kerroin voidaan laskea myös kaavalla 3.7, joka ilmoittaa tietyn paksuisen tarvikkeen vesihöyrynvastuksen ja yhtä paksun ilmakerroksen vesihöyrynvastusten suhteen. (Hagentoft 2001.) Seisovan ilman vesihöyrynläpäisevyytenä δ_p voidaan käyttää arvoa $195 \cdot 10^{-12}$ kg/(m·s·Pa). (RIL 107-2000 2009.) Mitä suurempi diffuusiovastuskerroin μ on, sitä vähemmän materiaali läpäisee vesihöyryä. Arvo ei ole

vakio, vaan hygroskooppisilla materiaaleilla μ pienenee suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaessa. (Vinha et al. 2005.)

$$\mu = \frac{D_a}{\delta_v} \quad (3.6)$$

missä

D_a ilman vesihöyrynläpäisevyys $(22,2 + 0,14 \cdot \theta) \cdot 10^{-6}$ [m²/s]

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta_v} \quad (3.7)$$

missä

δ_a ilman vesihöyrynläpäisevyys eri lämpötiloissa
 $(2,0 \cdot 10^{-7} \cdot T^{0,81}) / P_n$ [kg/(m·s·Pa)]

P_n ilmakehän normaalipaine 101325 [Pa]

Diffuusiovastuskertoimesta voidaan johtaa materiaalin suhteellinen diffuusiovastus S_d [m], joka on diffuusiovastuskertoimen ja materiaalin paksuuden tulo (kaava 3.8). Suhteellinen diffuusiovastus kertoo materiaalin vastustavan vesihöyryn osapaineen tasaantumista yhtä paljon, kuin saman paksuinen ilmakerros. Myös S_d -arvot pienenevät hygroskooppisilla materiaaleilla ilman suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaessa. (Vinha 2009.)

$$S_d = \mu \cdot d \quad (3.8)$$

missä

d materiaalikerroksen paksuus [m].

Materiaalin ominaisuutta vastustaa lävitseen tapahtuvaa vesihöyryn virtausta kutsutaan vesihöyrynvastukseksi tai diffuusiovastukseksi. Vesihöyrynvastus kertoo materiaalin paksuuden ja vesihöyrynläpäisevyyden suhteen (kaavat 3.9 ja 3.10). Vesihöyrynvastukselle on olemassa kaksi arvoa riippuen siitä, onko arvo määritetty vesihöyrynpitoisuuseron, $Z_v = [s/m]$, vai vesihöyryn osapaine-eron avulla $Z_p = [m^2 \cdot s \cdot Pa/kg]$. Vesihöyrynvastus on myös vesihöyrynläpäisykertoimen käänteisarvo $Z_v = I / W_v$ tai $Z_p = I / W_p$. (Vinha et al. 2005.)

$$Z_v = \frac{d}{\delta_v} \quad (3.9)$$

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p} \quad (3.10)$$

3.2.2. Vesihöyryn konvektio

Kosteus siirtyy vesihöyrynä paine-erojen vaihtelun mukana, kuten lämpöenergiakin. Paine-eroja saavat aikaan tuuli, lämpötilaerot sekä esimerkiksi ilmanvaihtolaitteet. Ilmavirtojen kuljettama kosteus voi kondensoitua rakenteeseen ilman vesihöyryn pitoisuuden saavuttaessa kyllästyskosteuspitoisuuden. Näin tapahtuu, kun lämmin, kostea ilma kohtaa kylmän pinnan ja ilman vesihöyry kondensoituu pinnalle. Pystysuorassa suljetussa ilmaraossa lämpötilaerojen takia kiertävä konvektiovirtaus voi kuljettaa kosteutta rakenteisiin. Kondensoitumisen riski on suurin rakenteen kylmäsiltojen kohdalla ja pystysuoran ilmaraon yläosassa. (RIL 155 1984.)

Ilmavirtauksen tapahtuessa raon tai reiän läpi rakenteen lämpimältä puolelta kylmempään päin voi rakenteen ulkopinnalle kondensoitua vettä. Rakenne voi puolestaan kuivua ilmavirtauksen tapahtuessa rakenteen kylmemmältä puolelta lämpimämpään suuntaan. (Hagentoft 2001.)

3.2.3. Kosteuden painovoimainen ja paineenalainen siirtyminen

Vesi siirtyy materiaalin huokosissa pääasiassa gravitaatiovoiman avulla, kun huokoskoko on $>10 \mu\text{m}$. Sade ja pintavedet voivat kulkeutua rakenteisiin sekä painovoiman että tuulen aiheuttaman paineen vaikutuksesta. Molemmat voimat voivat vaikuttaa myös yhtäaikaaisesti, esimerkiksi rakenteen altistuessa viistosateelle. Viistosade on sateen vaakasuora komponentti. Viistosade ei kohdistu tasaisesti koko seinäpinnalle vaan rasisitus vaihtelee rakennuksen korkeuden, muodon, ilmansuunnan ja lähiympäristön mukaan. Korkeisiin rakennuksiin kohdistuu suurempi viistosademäärä kuin mataliin ja rasisitus on suurempi seinän yläosissa ja nurkissa. Etelä- ja länsisuuntaan olevat julkisivut altistuvat yleensä runsaammalle saderasitukselle yleisesti vallitsevien tuuliolosuhteiden takia. Rasisitus on voimakkaampaa saaristossa ja rannikolla kuin sisämaassa. (Pentti & Hyypöläinen 1999.) Tuulenpaine voi nostaa sadetta myös ylöspäin seinäpinnalla. Myös kevyt pakkaslumi voi tunkeutua tuuleen vaikutuksesta pieniinkin rakosiin ja kastella rakenteita. (RIL 183-3.1...2-19 1994a.)

3.2.4. Kapillaarinen siirtyminen

Kapillaarisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä imeä itseensä vettä vapaasta vedenpinnasta huokosalipaineen vaikutuksesta. Kapillaarisuuden edellytyksenä on oikeanlainen kapillaarinen huokoskoko ja yhtenäinen huokosverkosto. Kapillaarisen imuvoiman suuruus riippuu veden pintajännityksestä. Veden kapillaarisen liikkeen

aiheuttavat aineen eri osissa olevat huokosalipaineiden erot. Huokosalipaine eli kapillaari-imupaineen suuruus riippuu aineen kosteudesta ja meniskuksen reunakulmasta. Huokosalipaine ja veden kapillaarinen nousukorkeus ovat sitä suurempia, mitä pienempiä huokokset ovat. Vesi siirtyy kapillaarisesti huokosissa, jotka ovat kooltaan 0,1...10 μm . Suuremmissa ja pienemmissä huokosissa kapillarivoimat vaikuttavat heikosti. Kapillaarista siirtymistä vastustavia voimia ovat kitkavoimat sekä painovoimat. (Björkholtz 1997; Leivo et al. 2002a.)

Kosteus siirtyy kapillaarisesti huokosesta toiseen niin kauan, kun huokosten muodostama vesimatriisi on yhtenäinen. Kapillaarivirtaus kasvaa, kun materiaalin kosteuspitoisuus kasvaa. Aineen saavuttaessa kriittisen kosteuden w_{crit} , nopeutuu kosteuden siirtyminen kapillaarisesti. Kun aineen kosteuspitoisuus on suurempi kuin kriittinen kosteus w_{crit} , on veden kapillaarinen siirtyminen yleensä niin nopeaa, että materiaalin pintaan ehtii kertyä haihtumista vastaava vesimäärä. Saavutettaessa kapillaarinen kyllästyskosteus w_{max} , on veden imeytyminen materiaalin hidastunut huomattavasti. Kyllästyskosteus voidaan saavuttaa tyhjiössä, mutta käytännön kokeissa sitä ei koskaan saavuteta.

Kun pinnan kosteus laskee alle w_{crit} , ei vesi pääse enää nousemaan kapillaarisesti pintaan. Aineen vesipitoisuuden vähetessä tyhjentyvät ensin suuret huokokset, jolloin kosteuden siirtyminen pysähtyy kapillaarivirtauksen katkaisevaan suureen huokoseen. Kaikki vesi ei kuitenkaan pääse poistumaan huokosista. Huokosiin jäävän ilman määrä vaihtelee kosteuden eri liikkumismuodoissa. Osa ilmasta voi jäädä huokosiin jopa vuosiksi. (RIL 155 1984.)

Kapillaarisia ominaisuuksia ovat mm. veden nousunopeuden ilmaiseva kapillariteettikerroin A_w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$] ja kapillaarinen tunkeutumiskerroin B_w [$\text{m}/\text{s}^{0,5}$]. Kapillariteettikerroin ei ole vakio, vaan se pienenee kosteuden lisääntyessä. Kappaleeseen kapillaarisesti imeytyvä vesimäärä on verrannollinen ajan neliöjuureen. Kapillariteettikerroin A_w määritetään yhtälöllä 3.11: (Vinha et al. 2005.)

$$W = A_w \cdot \sqrt{t} \quad (3.11)$$

missä

W	kappaleeseen imeytynyt vesimäärä pinta-alaa kohti [kg/m^2]
A_w	kapillariteettikerroin [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$]
t	aika [s].

3.2.5. Kosteusdiffusiviteetti

Kosteusdiffusiviteetti D_w , [m^2/s] on materiaalin kosteuspitoisuuden muutosnopeutta kuvaava materiaaliominaisuus. Kosteusdiffusiviteetti kertoo, miten nopeasti materiaali saavuttaa uuden tasapainokosteuden, kun materiaaliin siirtyvä kosteusvirran tiheys muuttuu. Mitä suurempi kosteusdiffusiviteetti on, sitä nopeampaa on materiaalin

kuivuminen ja kostuminen. Kosteusdiffusiviteetti määritetään tavallisesti kapillaarisella kosteusalueella kokeellisesti erilaisin menetelmin. Materiaalin kosteusdiffusiviteetti voidaan laskea kaavalla 3.12: (Vinha et al. 2005.)

$$D_w = \frac{\delta_v \cdot v_k}{\frac{\partial w}{\partial \varphi}} \quad (3.12)$$

missä

δ_v	[m ² /s]
v_k	kyllästyskosteus [kg/m ³]
w	kosteuspitoisuus [kg/m ³]
φ	ympäröivän ilman suhteellinen kosteus murto-osana [-].

3.2.6. Kosteuden kondensoituminen

Kastepisteessä ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Lämpötilan laskiessa ilman suhteellinen kosteus nousee ja lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus laskee, vaikka vesihöyryn määrä ilmassa ei muuttuisikaan. Jos lämpötilaa lasketaan kastepisteeseen saakka, on suhteellinen kosteus 100 %. Jos lämpötilaa lasketaan edelleen, osa vesihöyrystä tiivistyy materiaalin pinnalle vedeksi.

Vesihöyryä voi tiivistyä eli kondensoitua rakenteiden sisälle ja rakenteiden pintoihin. Tyypillisesti kosteuden kondensoitumisen rakenteen sisällä aiheuttaa vesihöyryn siirtyminen konvektion tai diffuusion avulla. Kun ilma joutuu kosketuksiin sellaisen pinnan kanssa, jonka lämpötila on ilman lämpötilaa alhaisempi, voi ilmassa oleva vesihöyry tiivistyä materiaalin pinnalle. Olosuhteiden jatkuessa kondensoituvan kosteuden määrä jatkuvasti kasvaa.

Kosteuden tiivistymiseen ulkoseinärakenteen pinnalle vaikuttavat rakenteen lämmönvastus, sisäpinnan lämmönvastus sekä kosteuspitoisuus ja ulkoilman lämpötila. Näistä ulkoilman lämpötilaan ei pystytä vaikuttamaan, mutta kolmea muuta tekijää voidaan muuttaa teknisin toimenpitein. Jos tiivistymistä tapahtuu rakennuksen sisäpinnoilla ja sen katsotaan olevan haitallista rakenteille, voidaan vesihöyryn tiivistyminen estää tehostamalla ilmanvaihtoa ja nostamalla rakenteen pintalämpötilaa.

Kosteuspitoisuudet rakennuksen vaipan sisällä vaihtelevat jatkuvasti. Tämä johtuu ympäröivien olosuhteiden suuresta vaihtelusta (vuodenajat, sateet, auringonpaiste jne.). Rakenteet eivät saa olla sellaisia, että rakenteen kosteuspitoisuus ajan kuluessa kasvaa. (Björkholtz 1997.)

3.3. Kosteuden sitoutuminen

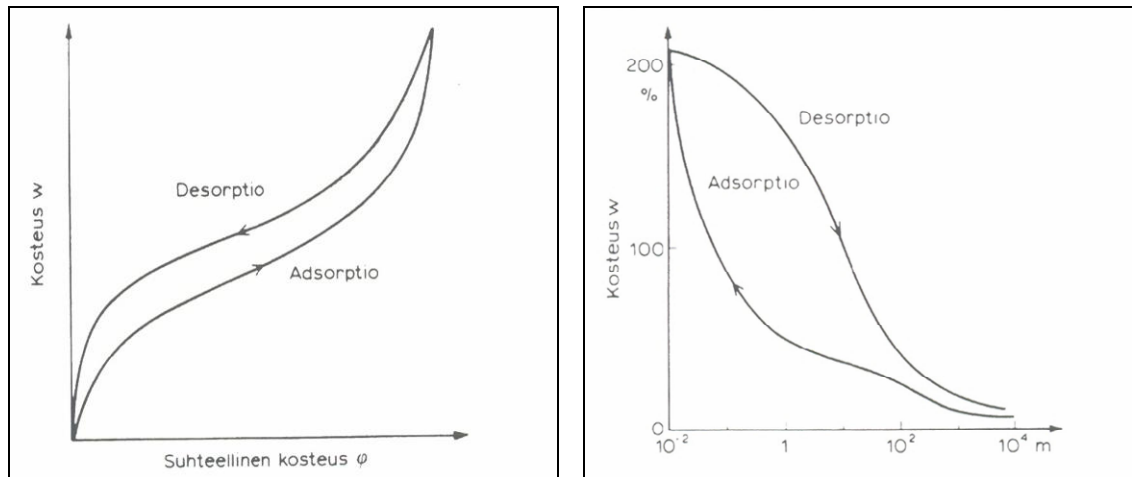
Rakennusmateriaalit voidaan jakaa hygroskooppisiin eli huokoisiin materiaaleihin ja ei-hygroskooppisiin. Suuri osa rakennusmateriaaleista on huokoisia, poikkeuksen tekevät metallit, lasi ja tietyt muovit. Kosteus voi sitoutua huokoiseen materiaaliin kemiallisesti tai fysikaalisesti. Kemiallisesti sitoutunut vesi on sitoutunut ioni- tai molekyyllisidoksella kiinteäksi osaksi aineen rakennetta. Kemiallisesti sitoutunutta vettä ei yleensä huomioida kosteusteknisissä tarkasteluissa, koska vesi ei liiku. Veden fysikaaliset sitoutumismuodot ovat adsorptio, kapillaari-imu sekä osmoottinen sitoutuminen. Fysikaalisesti sitoutunut vesi yleensä haihtuu, kun materiaali lämmitetään +105 °C lämpötilaan. Osmoottinen sidos johtuu veden osmoottisesta paineesta, joka syntyy diffuusiosta puoliläpäisevän kalvon läpi. Rakennusmateriaaleissa olevat suolat sitovat itseensä vettä. Osmoottisen sitoutumisen merkitys on käytännössä pieni. Rakennusfysikaalisesti merkittävämpää tuntee materiaalin hygroskooppinen ja kapillaarinen käyttäytyminen. (RIL 183-3.1...2-19 1994.)

3.3.1. Hygroskooppinen tasapainokosteus

Hygroskooppiset materiaalit pyrkivät tasoittumaan ympäröivän ilman suhteelliseen kosteuteen sitomalla tai luovuttamalla kosteutta. Tasapainokosteudella tarkoitetaan kosteusmäärää, jonka materiaali sitoo itseensä tietyssä lämpötilassa ja kosteuspitoisuudessa. Hygroskooppisesti täyttyvien huokosten halkaisijat ovat kooltaan pienempiä kuin 10 µm. Materiaalin huokosiin sitoutuvan kosteuden määrä riippuu sidosvoimien suuruudesta sekä siitä, onko aine kosketuksissa ilman vai vedenpinnan kanssa. Tämän mukaan voidaan määritellä kaksi tasapainokosteuden muotoa, joita kutsutaan yhteisnimellä sorptio: (RIL 155 1984.)

- hygroskooppinen tasapainokosteus eli tasapaino ilman sisältämän kosteuden kanssa
- kapillaarinen tasapainokosteus eli tasapaino vapaan vedenpinnan kanssa.

Kuvaaja 3.1 on esimerkki kummastakin tasapainokosteuskäyrästä. Käytännössä rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa tasapainokosteudella tarkoitetaan aina hygroskooppista tasapainokosteutta. Tasapainokosteus riippuu lämpötilasta, materiaalin huokoisuudesta sekä ympäristön suhteellisesta kosteudesta. Materiaalin tiettyä lämpötilaa vastaava tasapainokosteuskäyrä voidaan määrittää muuttamalla ympäristön suhteellista kosteutta ja pitämällä lämpötila vakiona. Kosteuden sitoutumista kuivaan aineeseen kutsutaan adsorptioksi ja kosteuden poistumista märästä aineesta desorptioksi. Adsorptiokäyrä kuvaa materiaalin kastumisen tasapainokosteutta ja desorptiokäyrä kosteudella kyllästetyn materiaalin kuivumisen tasapainokosteutta. (Björkholtz 1997.)



Kuvaja 3.1. Vasemmalla esimerkki hygroskooppisesta tasapainokosteuskäyrästä ja oikealla kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä. (RIL 155 1984.)

Eri materiaalien tasapainokosteudessa on huomattavia eroja. Lisäksi aineen kastumisella ja kuivumisella on yleensä erilainen tasapainokosteuskäyrä. Adsorptiokäyrän ja desorptiokäyrän välistä eroa kutsutaan hystereesiksi. Ilmiön syytä ei tunneta tarkasti, mutta sen arvellaan johtuvan siitä, että aineen huokosiin jää ilmaa materiaalin kostuessa ja ilman poistuminen veteen liukenemalla on hidasta. Lisäksi huokosten muodot ovat sellaiset, että kuivuminen tapahtuu merkittävästi alhaisemmassa ilman kosteudessa kuin kostuminen. Tasapainokosteuksien mittauskokeissa käytettävät tasaantumisaajat saattavat myös olla liian lyhyet. (Björkholtz 1990.)

3.3.2. Rakennusmateriaalien kosteus

Rakennusmateriaalin ja sen ympäristön välillä vallitsee jokin seuraavista olosuhteista: (Björkholtz 1997.)

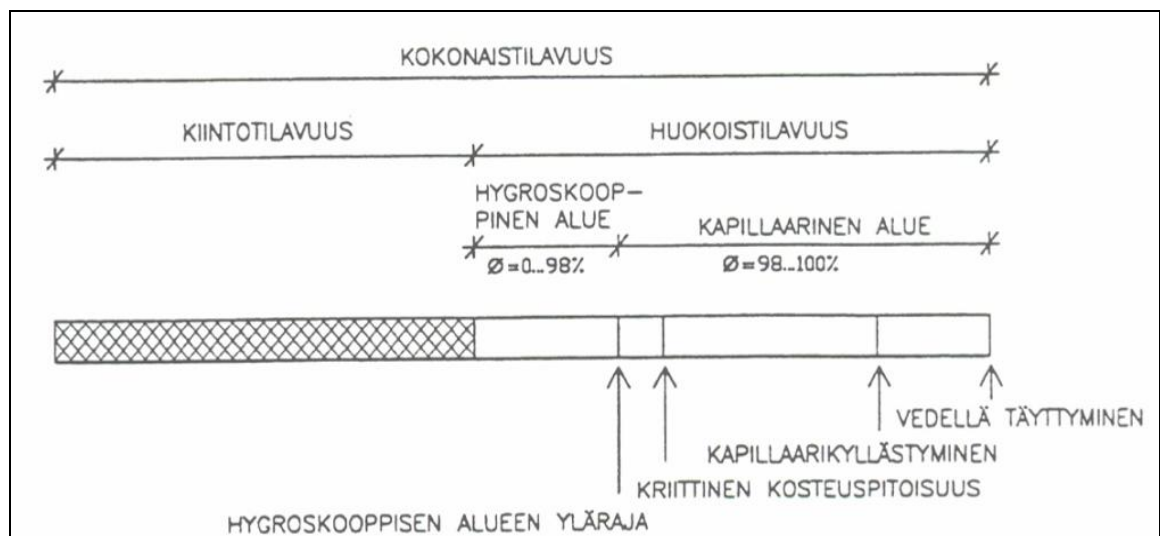
- Rakennusaine sitoo vettä ympäristöstään (adsorptio)
- Rakennusaine luovuttaa vettä ympäristöön (desorptio)
- Rakennusaine on tasapainossa ympäristönsä kanssa.

Rakennekosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka poistuu rakenteesta ennen kuin rakenne on tasapainokosteudessa ympäristönsä kanssa. Rakennekosteus voi olla rakenteeseen rakennusvaiheessa joutunutta vettä (ilmankosteus, sadevesi) tai se voi olla rakennusosan valmistuksessa käytettyä vettä. Esimerkiksi lattiabetoni, jonka vesisementtisuhte on 0,7...0,9 sisältää valmistusvaiheessa vettä 180...200 l/m³. Osa vedestä sitoutuu kemiallisesti betonin hydratoituessa, osa sitoutuu fysikaalisesti adsorptiolla tai imeytyy kapillaarisesti betonin huokosrakenteeseen. Loput valmistuksessa käytetyssä vedestä on rakennekosteutta, jonka on haihduttava betonista

ennen kuin rakenne voi saavuttaa tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa. (Leivo & Rantala 2002a.)

Rakennusmateriaalin kriittinen kosteus RH_{kr} , on kosteuspitoisuuden yläraja, jolla materiaali toimii tyydyttävästi pitkiä aikajaksoja. Jotta materiaali toimisi halutulla tavalla, tulee suhteellisen kosteuden RH olla alhaisempi kuin RH_{kr} . Kriittinen kosteus vaihtelee materiaaleittain. Kriittinen kosteuspitoisuus voidaan määrittää esimerkiksi ruostumisen, lahoamisen ja homeenkasvun alkamiselle. Rakennusmateriaalin kastuminen täysin kuivasta täysin märeksi on esitetty kuvassa 3.2 ja voidaan kuvata seuraavasti: (Björkholtz 1990; Björkholtz 1997.)

- Täysin kuivaan materiaaliin sitoutuu ensimmäiseksi ympäröivässä ilmassa oleva vesihöyry materiaalin hygroskooppisiin huokosiin, joiden koko on alle 1 μm . Hygroskooppisella alueella ilman suhteellinen kosteus vaihtelee välillä RH 0...98 %. Hygroskooppisen kosteuden yläraja saavutetaan ilman suhteellisessa kosteuspitoisuudessa RH 98 %.
- Kun materiaalin kriittisen kosteuspitoisuuden raja ylittyy, kosteus siirtyy nestemäisessä olomuodossa. Käytännössä kun hygroskooppiset huokokset ovat täyttyneet vedellä, alkaa nestemäinen vesi imeytyä kapillaarisesti huokosiin, joiden koko on 1...10 μm . Kapillaarisella alueella ilman suhteellinen kosteus vaihtelee välillä 98...100 %.
- Kapillaari-imu ei pysty täyttämään rakenteen kaikkia huokosia. Kapillaarinen kyllästyskosteus saavutetaan, kun aine on riittävän kauan kosketuksissa veden kanssa. Kapillaarinen kyllästyskosteus on hyvin lähellä materiaalin kyllästymiskosteutta.
- Kyllästymiskosteus saavutetaan, kun kaikki huokokset ovat täyttyneet vedellä. Kyllästymiskosteutta ei saavuteta säilyttämällä ainetta vedessä, vaan se vaatii keittämistä tai tyhjiökäsittelyä.



Kuva 3.2. Materiaalin kostuminen hygroskooppisesti ja kapillaarisesti. (Björkholtz 1997.)

4. MATERIAALIEN ILMAVIRTAUSTEKNISET OMINAISUUDET

4.1. Ilmanläpäisevyys

Materiaalin ilmanläpäisevyys vaikuttaa huokoisten materiaalien materiaaliominaisuuksiin. Rakennusfysikaalisten tarkastelujen kannalta ilmavirtausteknisillä ominaisuuksilla on merkitystä tarkasteltaessa rakenteiden lämmöneristävyyttä, koska ilman virtaus materiaalin läpi vaikuttaa lämmön siirtymiseen johtamalla ja konvektion avulla. Ilmavirtaukset avohuokoisen lämmöneristeen pinnalla heikentävät merkittävästi lämmöneristävyyttä ja lisäävät eristeen huokosissa tapahtuvaa sisäistä konvektiota, jolla on lämmönjohtavuutta kasvattava vaikutus.

Materiaaleille ilmoitetaan yleensä ilmavirtaustekniset suureet ilmanläpäisevyys L , [$\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$] ja ilmanläpäisykerroin K_a , [$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$]. Ilmanläpäisevyys L ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun ainekerroksen eri puolilla oleva ilmanpaine-ero on yksikön suuruinen. Ilmanläpäisevyys L lasketaan kaavalla 4.1: (RIL 225-2004 2005.)

$$L = \frac{k}{\eta} \quad (4.1)$$

missä

k huokoisen aineen permeabiliteetti ilman suhteen [m^2]

η ilman dynaaminen viskositeetti vakioilämpötilassa [$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$].

Ilmanläpäisykerroin K_a ilmoittaa ilman tilavuusvirran, joka jatkuvuustilassa laminaarisena virtauksena läpäisee kohtisuorasti pintayksikön suuruisen tarvikkeen, kun tarvikkeen eri puolilla oleva ilmanpaine-ero on yksikön suuruinen. Ilmanläpäisykerroin K_a lasketaan kaavalla 4.2: (Nevander & Elmarsson 1994)

$$K_a = \frac{k}{\eta \cdot L} \quad (4.2)$$

Materiaalille voidaan ilmoittaa myös permeabiliteetti k , jonka suuruuteen vaikuttaa materiaalin huokosten koko ja huokosjakauma. Permeabiliteetti k määritellään kaavalla 4.3: (RIL 225-2004 2005.)

$$r = -\left(\frac{k}{\eta}\right) \cdot gradP \quad (4.3)$$

missä

r	kaasuvirran tiheys- eli nopeusvektori huokoisessa aineessa [m ³ /(m ² ·s)]
k	huokoisen aineen permeabiliteetti ilman suhteen [m ²]
η	ilman dynaaminen viskositeetti vakiolämpötilassa [N·s/m ²]
P	ilman paine [Pa].

Taulukossa 4.1 on koottu eräiden rakennusmateriaalien ilmanläpäisevyydet ja permeabiliteetti. Ilmavirtausteknisiin ominaisuuksiin vaikuttaa materiaalin huokoskoon ja huokosjakauman lisäksi kuitujen tai huokosten suuntaus. Esimerkiksi mineraalivillan ilmanläpäisevyys on pienempi kohtisuoraan levyä vastaan kuin pitkittäin kuitujen suuntaisesti.

Taulukko 4.1. Rakennusmateriaalien ilmavirtausteknisiä arvoja. (Nevander & Elmarsson 1994; Hagentoft 2001; RIL 225-2004 2005.)

Materiaali	Tiheys [kg/m ³]	Ilmanläpäisevyys ·10 ⁻⁶ [m ³ /(m·s·Pa)]	Permeabiliteetti ·10 ⁻¹² [m ²]	Lähde
Betoni	-	0,000005...0,0005	0,0001...0,01	3
Kevytbetoni	-	0,001...0,04	0,02...0,15	3
Tiili	1470	0,005...0,05	0,1...1	3
Puu, kuusi tangentin suuntaan	410	-	0,2 ·10 ⁻¹⁵	1
Kova puukuitulevy	960	-	5,1 ·10 ⁻¹⁵	1
Huokoinen puukuitulevy	215	-	6,7	1
Mineraalivillalevy, ohut kohtisuoraan levyä vastaan	10...50	80...400	1500...7500	3
Mineraalivillalevy, ohut pitkittäin levyn suuntaisesti	10...50	160...800	3000...1500	3
Irtopuhallettava puukuitueriste	30...45	50...120	-	2
Irtopuhallettava mineraalivillaeriste	23...40	250...700	-	2
Kutterinlastu	100	500...800	11 5000	3
Kalkkilaasti	-	0,005	0,1	3
Kalkki-sementtilaasti	-	0,0003...0,004	0,006	3

1) Hagentoft 2001. 2) RIL 225-2004 2005. 3) Nevander & Elmarsson 1994.

5. RAKENNUSMATERIAALIEN JA – TUOTTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET

5.1. Yleistä

Tässä luvussa tarkastellaan rakennusmateriaalien ja -tuotteiden lämpö- ja kosteusteknisiä ominaisuuksia sekä ilmatiiviyttä. Rakennusmateriaalit voidaan jakaa hygroskooppisiin ja ei-hygroskooppisiin. Käytännössä kaikki muut materiaalit käyttäytyvät hygroskooppisesti, paitsi metallit ja lasi. Hygroskooppisten materiaalien materiaaliominaisuudet riippuvat yleensä ympäristön kosteuspitoisuudesta.

Rakennusmateriaaleille mitatut ominaisuudet eivät ole yksiselitteisiä vakioarvoja, vaan ne voivat käytännössä vaihdella samallakin tuotteella mm. materiaalin huokoisuuden, tiheyden ja kerrospaksuuden sekä ympäröivien olosuhteiden mukaan. Esimerkiksi lämmönjohtavuus riippuu mm. materiaalin tiheydestä, huokoisuudesta sekä ympäristön lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta.

Standardeissa, määräyksissä ja ohjeissa on myös esitetty vaatimukset, jotka rakennusmateriaalin ja -tuotteen tulee tietyssä käyttötarkoituksessaan täyttää. Niissä määrätään myös, mitkä ominaisuudet on ilmoitettava, kun tuotetta halutaan markkinoida ja myydä tiettyyn käyttötarkoitukseen. Ominaisuuksien määrittämisessä käytetään standardeissa ilmoitettuja mittausmenetelmiä. Usein ominaisuuksien tulee sijoittua annettujen raja-arvojen sisään.

Rakennusmateriaalien ominaisuuksia määrittävät pääasiassa teknilliset tutkimuslaitokset sekä yliopistot, jotka antavat tarvittaessa mm. lausuntoja tai voivat myöntää tuotesertifikaatteja. Ominaisuudet määritetään laboratoriokokein ja niitä verrataan kirjallisuudesta saataviin arvoihin. Mittaustulokset vaihtelevat mm. mittausvälineistön, mittajaan ja mittausolosuhteiden mukaan. Mittauslaitteistojen ja menetelmien kehittyessä ovat nykyään saatavat arvot tarkempia kuin ennen.

5.2. Katemateriaalit

5.2.1. Yleistä

Katteella tarkoitetaan vesikaton pintarakennetta, joka riittävästi kallistettuna suojaa alapuolisia rakenteita vesi- ja lumisateen haitallisilta vaikutuksilta. Jatkuva kate on vesitiivis vedenpaineen vaikutuksen alaisena. Jatkuvia katteita voidaan käyttää

tuotteesta riippuen loivasti kallistetuissa 1:80 katoissa aina pystysuoriin kattoihin. Jatkuvia katteita ovat esimerkiksi kermit. Epäjatkuvassa katteessa on tiivistämättömiä limisaumoja tai muita saumoja, jotka eivät ole vesitiiviitä vedenpaineen vaikutuksen alaisena. Epäjatkuvia katteita voidaan käyttää tuotteesta riippuen 1:10 kaltevilla ja tätä jyrkemmissä vesikatoissa. Epäjatkuvia katteita ovat metalliohutlevykatteet ja tiilikatteet sekä kermikatelevyt. Suomessa vesikatteen pintalämpötila voi nousta kesällä noin +80 °C lämpötilaan ja vastaavasti talvella useita kymmeniä asteita pakkasen puolelle. Katemateriaalin tulee säilyttää ominaisuutensa suurissa lämpötilan- ja säänvaihteluissa. (RIL 107-2000 2009.)

5.2.2. Kermit ja kermikatelevyt

Loivasti kallistetuilla katoilla käytetään katteena yleisesti kermejä, jotka toimivat samalla vedeneristeenä. Kermit ovat jatkuvia katteita. Ne voidaan jaotella valmistustavan mukaan modifioidusta bitumista valmistettuihin, muovista valmistettuihin ja kumista valmistettuihin kermeihin. Lisäksi on nestemäisenä levitettäviä tuotteita, jotka voivat olla bitumi- tai polymeeripohjaisia (polyuretaanit, akryylit, epoksit yms.).

Yleisimpiä modifioituja bitumeja ovat SBS (styreeni-butadieeni-styreeni) -kumibitumi ja APP (ataktinen polypropeeni) -muovibitumi. Massat eroavat toisistaan siten, että kumibitumi on elastista, eli muodonmuutokset palautuvat osittain tai kokonaan. Muovibitumi puolestaan on plastista, eli sen muodonmuutokset ovat pysyviä. Suomessa käytetään nykyään pääasiassa SBS-kumibitumikermejä. Kermi on vahvistettu lasikuitu- tai polyesteritukiverkolla. Modifioidusta bitumista valmistetut kermien saumat liimataan tai hitsataan asennusvaiheessa vesitiiviiksi. Kermejä on yleensä useita kerroksia päällekkäin. Bitumikermikatteita on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 5.1. Kolmiorimakate ja kermikatelevyistä tehty katto. (Lemminkäinen 2010.)

Muovi- ja kumibitumikermejä käytetään yksikerroskatteina ja ne saumataan liimaamalla, kuumahitsaamalla tai erityisillä saumanauhoilla. Bitumiset kattolaatat ovat

yksikerroskatteita. Ne on valmistettu yleensä puhalletusta bitumista ja lujitetukudoksesta (SBS-kumi) ja ne on päällystetty sirotteella. Laattojen kiinnitys tehdään liimaamalla. Bitumiset kattolaatat ovat epäjatkuvia katteita, eli ne eivät ole vesitiiviitä kuten yhtenäiset kermit. Niiden alla käytetään yleensä kermiä aluskatteena. (RIL 107-2000 2009.)

Polyesteriverkolla tai lasikuidulla vahvistettu pehmeästä PVC-muovista valmistettu yksikerroskate (kuva 5.2) on elastinen sekä UV-säteilyn ja säänkestävä. PVC-katteen tukikerros on joko lasikuitua tai polyesterikangasta. Katteiden paksuus on noin 1,2...2 mm. Katteen saumat hitsataan. PVC-kate läpäisee hyvin vesihöyryä. Polyesterillä vahvistetun PVC-katteen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $9...12 \cdot 10^{-12}$ kg/(m²·s·Pa) ja lasikuidulla vahvistetun PVC-katteen W_p on $7...9,5 \cdot 10^{-12}$ kg/(m²·s·Pa). Katteita käytetään pinta-alaltaan hyvin suurissa katoissa (esim. hallit) sekä korjausrakentamisessa. (Protan Oy 2005; RT N-37634 2008.)



Kuva 5.2. Vasemmalla PVC-muovista valmistettu yksikerroskate ja oikealla peltikatto. PVC-kate saadaan haluttaessa näyttämään peltikatolta profiileilla, jotka asenetaan katteen päälle kuumailmalla hitsaten. (RT N-37634 2008.)

Tiheydeltään $1000...1050 \text{ kg/m}^3$ olevan bitumin lämmönjohtavuus λ on 70 °C lämpötilassa $0,15 \text{ W/(m·K)}$. Bitumin lämpölaajenemiskerroin on $0,06 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Bitumin vesihöyrynläpäisevyys δ_p on $0,1...1 \cdot 10^{-15} \text{ kg/(m}^2\cdot\text{s·Pa)}$, eli bitumikermit ovat käytännössä vesi- ja ilmatiiviitä. (Kuntsi 1998.) Jos kermiä käytetään rakenteen höyrynsulkuna, eikä diffuusiovastuserrointa μ ole mitattu, voidaan käyttää μ :n arvona 20 000. (SFS-EN ISO 10456 2008.) Taulukossa 5.1 on esitetty kermien diffuusiovastuskertoimia.

Taulukko 5.1. Kermien diffuusiovastuskertoimia. (Kuntsi 1998.)

Kermityyppi	μ
Kumibitumikermit, liimattavat	20 000
Kumibitumikermit, itseliimautuvat	25 000
Muovibitumikermit	60 000
Bitumikermit	100 000
PVC (polyvinyylikloridi)	16 500...20 000
PVC (tukikerroksella tai pohjahuovalla)	10 000...18 000

Bitumin absorptiokerroin α on 0,93 eli bitumi sitoo itseensä erittäin hyvin auringon säteilyä. Vihreän kattohuovan absorptiokerroin α on 0,85. Tummiin kattohuopien heijastuskerroin ρ on pieni, 0,10. Yhdessä nämä ominaisuudet aiheuttavat sen, että kermikatteen lämpötila voi nousta paljon ympäröivien rakenteiden lämpötilaa korkeammaksi, jopa +80 °C:seen. Suojaamaton bitumikermikate menettää vanhentuessaan elastisuuttaan UV-säteilyn, hapen, otsonin, kosteuden ja korkeiden lämpötilojen takia. Kumibitumikatteet kestävät elastisuutensa takia paremmin alustan lämpölaajenemisliikkeitä. Vanhentuessaan bitumikermikatteen päällimmäiseen kermiin syntyy pakkovoimien vaikutuksesta syviä halkeamia, kun kermin pinta kovettuu ja haurastuu. Vesi voi päästä tukikerrokseen, mutta pintakermin vanhenemisen ei pitäisi aiheuttaa vuotoja, jos kate on huolellisesti tehty ja pintakermin alla on yksi tai kaksi kermiä tiiviisti saumattuina ja yhteen bitumilla liimattuina. Halkeamakuvioissa jäätyvä ja sulava vesi rapauttaa bitumia. Kumibitumikermien halkeamakuvio on tiheämpi kuin puhalletulla bitumilla, mutta niin matala, ettei vesi siihen kerääny eivätkä halkeamat ulotu alempaan kermiin. Korkeat lämpötilat kovettavat muovikatteita. (Tampereen teknillinen korkeakoulu 1994; Kuntsi 1998.)

5.2.3. Metalliohutlevyt

Metallit muodostavat noin 80 alkuaineen ryhmän, jonka yhteisenä ominaisuutena on mm. hyvä lämmönjohtavuus, diffuusiotiiveys ja muokattavuus. Seostamalla voidaan merkittävästi vaikuttaa metallien ominaisuuksiin, kuten lujuuteen, sitkeyteen ja korroosionkestävyyteen. Käytännössä kaikki metalleista valmistetut tuotteet ovat seostettuja.

Metalliohutlevykate voi olla valmistettu kuparista, sinkistä, alumiinista, teräksestä tai ruostumattomasta teräksestä. Vesikatteena käytettävät teräsohutlevyt on aina kuumasinkitty hyvän korroosiosuojan varmistamiseksi. Teräsohutlevykatteet ovat sileitä levyjä tai profiili- eli muotopeltikatteita tai itsekantavia poimulevykattoja. Muotopeltikatteet, kuten kuvassa 5.3, ovat ohuesta teräslevystä kylmänä taivutettuja levyjä, jotka on sinkitty ja usein myös pinnoitettu maalaamalla. Molemmiin puolin sinkityn ja pinnoitetun teräsohutpellin paksuus on 0,5 mm tai 0,6 mm.



Kuva 5.3. Sinkitystä teräksestä valmistettu pinnoitettu muotopeltikate. Pinnoite koostuu useista kerroksista. (Rautaruukki Oyj 2010.)

Pinnoite vaikuttaa metallikatteen ominaisuuksiin. Sinkitty teräsohutlevy voi olla pinnoitettu esim. PVDF-, polyuretaani- tai polyesteripinnoitteella. Pelkän sinkityn teräsohutlevyn emissiivisyys ε on 0,05...0,1. Yleisesti voidaan sanoa, että kaikkien maalipinnoitteiden emissiivisyys ε on 0,8...0,9. Tietyillä sideaineilla ja pigmenteillä saadaan maalipinnoitteen emissiivisyys ε laskettua tasolle 0,3...0,6. Auringonsäteilyn heijastavuus on sitä alhaisempi, mitä tummempi pinnoitteen sävy on. Tavallisilla väreillä heijastuskerroin α on 0,05...0,7. Erityisillä lämpöä heijastavilla pigmenteillä voidaan maalin heijastuskyky nostaa tasolle 0,3...0,7. Edellä mainittujen maalien tiheys on 1,2...1,8 kg/m³ ja lämmönjohtavuus λ lämpötilassa +23 °C:tta on 0,1...0,3 W/(m·K). Maalipinnoitteiden vedenimeytyminen on erittäin pieni. (Kesti & Sipilä 2010.)



Kuva 5.4. Kuparikatteita on käytetty varsinkin hieman vanhemmassa rakennuskannassa. (Rautaruukki Oyj 2010.)

Kuparikate asennetaan yleensä suoraan aluskatteena toimivan kermin päälle. Kuparilevyt ovat paksuudeltaan 0,5...1 mm ja metalli on pehmeää. Kuparin tiheys on 8900 kg/m³ ja lämmönjohtavuus λ_{design} on 380 W/(m·K). Kuparikate on pitkäikäinen, ja kupari on käytännössä ruostumaton, koska metallin korroosio on hyvin hidasta. Aluksi kuparikatto himmenee ja tummenee hapettuessaan, ja noin kymmenen käyttövuoden jälkeen sen väri alkaa muuttua vihertäväksi. Eri-ikäisiä kuparikatteita on esitetty kuvassa 5.4. Katteissa ja julkisivuissa käytetään kupariseosta Cu-DHP. Kuparin pituuden muutos on noin 1,7 mm/m lämpötilamuutoksen ollessa 100 °C. (SFS-EN 504 2000; Luvata 2002; SFS EN-ISO 10456 2008.)

Kaikki metallit johtavat hyvin lämpöä. Teräksen tiheys on 7850 kg/m³ ja lämmönjohtavuus λ_{design} on 50 W/(m·K). Sinkin tiheys on 7140 kg/m³ ja lämmönjohtavuus λ_{design} on 100 W/(m·K). Metallikatteen lämpötilasta aiheutuvat muodonmuutokset ovat suuret, koska metallien lämpöliikkeet ovat kohtalaisen suuret. Kupari- ja teräsohutkatteen lämpölaajenemiskerroin on 16,8 ·10⁻⁶ 1/K.

Teräsohutlevykatteen suosteltava maksimipituus on 8 m levyn lämpöliikkeiden vuoksi. Alumiinikatteen pituuden lämpölaajenemiskerroin on $23...24 \cdot 10^{-6} 1/K$ ja siksi varsinkin alumiinikatteissa on vältettävä pitkien, yhtenäisten levyjen käyttöä. Alumiiniseokset ovat muita metalleja kevyempiä, niiden tiheys on 2800 kg/m^3 . Alumiiniseoksen lämmönjohtavuus λ_{design} on $160 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. (SFS-EN ISO 10456 2008; RIL 107-2000 2009.)

Metallikatteen ovat kondenssiherkkiä, sillä niiden alapintaan tiivistyy kosteutta. Sisäilman lämmin, kostea ilma pyrkii yläpohjarakenteiden läpi ulkoilmaan ja kohdatessaan tuuletustilassa metallikatteen kylmän pinnan, kondensoituu vesihöyry siihen. Aluskate vähentää kondenssiveden kulkeutumista alla oleviin rakenteisiin. Ajoittaisen kondenssin haittavaikutusten ehkäisemiseksi voidaan käyttää myös kosteutta imevää kerrosta katteen ja/tai aluskatteen alapinnassa. (RIL 107-2000 2009.)

5.2.4. Kattotiilet

Kattotiilenä käytetään betonikattotiiliä ja savikattotiiliä. Savikattotiilet valmistetaan savesta polttamalla ja betonikattotiilet valmistetaan sementistä, hiekasta, vedestä ja pigmenteistä. Molemmat tuotteet voivat olla pinnoitettuja vesitiiveyden saavuttamiseksi. Betonikattotiilet voidaan päällystää esimerkiksi polymeeripohjaisella pinnoitteella, joka pidentää myös katteen kestävyyttä. Betonikattotiilen vesihöyrynläpäisevyys δ_v on $3,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Savikattotiilet voidaan pinnoittaa esimerkiksi lasituksella. Savikattotiilien valmistus loppui Suomessa 1950-luvulla, joten Suomessa käytettävät savikattotiilet on valmistettu tämän jälkeen muualla.

Aaltolevykatteita valmistetaan kuitusementistä, bitumista ja muovista. Kuitusementistä valmistetaan aallotettuja katelevyjä ja -liuskeita. Katteen valmistuksessa käytetään portlandsementtiä, jota on lujitettu polymeeri- ja selluloosakuiduilla. Kuitusementtikatteiden valmistuksessa Suomessa ei ole vuoden 1988 jälkeen käytetty asbestikuituja. Muovipohjaisissa katelevyissä voi olla esimerkiksi polyesteriä, polymetyylimetakrylaattia tai PVC-muovia. (SFS-EN ISO 10456 2008; RT 37805 2009.)

Kattotiilet ja aaltolevykatteet ovat epäjatkuvia katteita ja siksi niiden kanssa on aina käytettävä aluskatetta. Kattotiilien limisaumat eivät ole vesitiiviit vedenpaineen vaikutuksen alaisena. Vaativissa kohteissa käytetään raakaponttilaudoitusta ja aluskatteena vähintään BTL 3 -tuoteluokan kermiä. Savikattotiilet asennetaan aina raakaponttilaudoituksen ja kermialuskatteen päälle, samoin betonikattotiili, kun katon kaltevuus on 1:4...1:3. Kattotiilet eivät ole yhtä kondenssiherkkiä kuin metallikatteen, koska hygroskooppisina materiaaleina ne voivat sitoa itseensä ympäröivän ilman kosteutta ja luovuttaa sitomaansa kosteutta. (RIL 107-2000 2009.)

5.3. Aluskatteet

5.3.1. Yleistä

Aluskatteella tarkoitetaan vesikatteen alapuolista ainekerrosta, joka estää katteen saumojen tai reunojen kautta mahdollisesti tunkeutuvan veden tai lumen ja satunnaisesti vesikatteen alapintaan tiivistyvän kosteuden pääsyn yläpohjaan. Aluskatteen tarkoituksena on olla ns. varavedeneriste ja varmistaa vesikatteen alapuolisen tuuletustilan rakennusfysikaalista toimivuutta. Aluskatteen limitykset, liittymät ja lävistyksien tiivistykset tehdään siten, että sitä pitkin valuvat vedet kulkeutuvat riittävän pitkälle ulkoseinälinjan ulkopuolelle. Aluskate on vesitiivis siten, että se säilyttää tiiviytensä käytössä esiintyvän vedenpaineen alaisena. Aluskatteen pinnalle kerääntyvän veden poisjohtamiseksi ja lämpölaajenemisen ja -kutistumisen aiheuttamien repeytymisten ehkäisemiseksi vapaasti asennettava aluskate asennetaan siten, että se on kattotuolien välissä taipuneena 20...30 mm. Kermit asennetaan yleensä kiinteälle alustalle ja elastisuutensa tai plastisuutensa takia ne kestävät alustan lämpöliikkeistä aiheutuvat rasitukset. Aluskatteen ja vesikatteen väliin tulee jäädä riittävästi tuulettuva tuuletusväli. Pelti-, tiili- ja muiden epäjatkuvien katteiden alla tulee käyttää aluskatetta. (Icopal Oy 2009a; RIL 107-2000 2009.)

5.3.2. Aluskatemateriaalit

Aluskatteena voi toimia bitumi-, muovi- tai kumikermi, muovilaminoitu kartonkialuskate, yhdestä tai useammasta muovista ja lujitteesta laminoitu aluskate tai kuitulevystä valmistettu aluskate. Lisäksi voidaan käyttää erilaisia vesihöyryä läpäiseviä ns. diffuusioavoimia aluskatteita.

Diffuusioavoimet aluskatteet

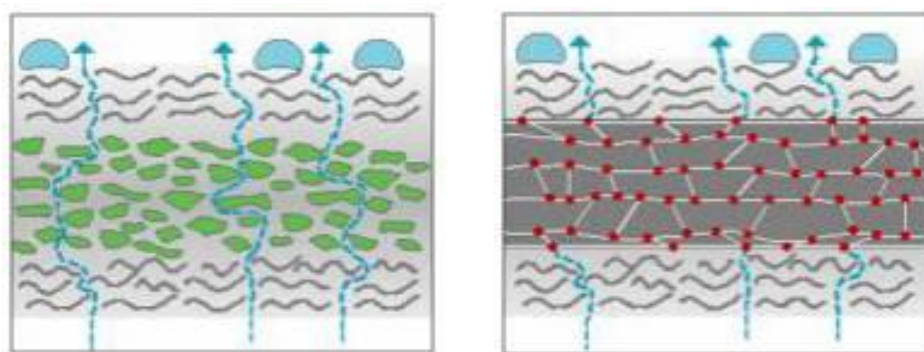
Diffuusioavoimet aluskatteet ovat monikerroslaminaatteja, jotka vesitiiveydestä huolimatta päästävät vesihöyryn hyvin lävitseen. Diffuusioavoimen aluskatteen suhteellinen vesihöyrynvastus S_d on hyvin pieni, noin 0,01...0,09 m. Suhteellinen vesihöyrynvastus pienenee jonkin verran ilman suhteellisen kosteupitoisuuden kasvaessa, mutta vesihöyrynläpäisevyys on lämpötilasta riippumaton. Diffuusioavoimen aluskatteen ja lämmöneristeen väliin ei tarvita erillistä tuuletusrakoa, koska aluskate päästää alhaalta tulevan vesihöyryn lävitseen. Aluskatteen läpäissyt vesihöyry poistuu joko aluskatteen ja vesikatteen välisessä tuulettuvassa tilassa ilman mukana tai se kondensoituu vesikatteen alapinnalle, josta se valuu pois. Diffuusioavoimaa aluskatetta ei suositella käytettäväksi rakennusaikaisena rakenteiden suojana, ellei siitä tuotteessa erikseen mainita.

Diffuusioavoin aluskate on esimerkiksi kuvassa 5.5 oleva polyolefiinikuiduista valmistettu kalvo, joka läpäisee vesihöyryä, muttei pintajännityksen avulla koossa pysyviä vesipisaroita. Kalvo muodostuu monista ohuista säikeistä, jotka yhdessä muodostavat sitkeän, huopamaisen kudoksen. (RT N-37226 2006.)



Kuva 5.5. Diffuusioavoimen polyolefiinikuidusta valmistetun aluskatteen suhteellinen diffuusiovastuskerroin S_d on 0,02 m. (RT N-37226 2006.)

Diffuusioavointen aluskatteiden valmistuksessa voidaan käyttää vesihöyryä läpäisevää polypropeenaa (PP) kalvona tai erilaisina kuitukankaina. Polypropeenikalvon valmistusprosessissa kalsiumkarbonaattia lisäämällä ja venyttämällä saadaan kalvoon mikrohuokosia, jotka läpäisevät vesihöyryä, mutta eivät pintajännityksen avulla koossa pysyviä vesipisaroita. Kalvo läpäisee hyvin vesihöyryä, mutta jos kalvon pintaan muodostuu yhtenäinen vesikalvo, polypropeenikalvosta tulee tiivis. On huomioitava, että vesipisaroiden pintajännitys voi laueta esimerkiksi suolojen, öljyjen tai puunsuoja-aineiden vaikutuksesta, jolloin aluskate muuttuu vettä läpäiseväksi. Kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi polypropeenikalvo ei saa olla kosketuksissa puunsuoja-aineita sisältävän puun tai puukuitulevyn kanssa. Siksi polypropeenikalvo on usein laminaattirakenteen sisällä esimerkiksi polypropeenikudoskerrosten välissä.



Kuva 5.6. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on polypropeenikalvo ideaalitapauksessa, jossa kalvon mikrohuokokset läpäisevät vesihöyryä, mutta eivät vesipisaroita. Oikealla on TEEE-kalvo, joka läpäisee vettä. Kalvo on kahden tiiviin kuitukankaan välissä, jotka läpäisevät vesihöyryä, mutta eivät vesipisaroita. (Pro Clima 2010.)

Diffuusioavoin aluskate voi myös olla TEEE (Thermoplastic Elastomer-Ether-Ester) -kalvo, jonka molekyyliketjut kuljettavat vesimolekyylit lävitseen. Mitä enemmän

TEEE-kalvon pinnassa on vettä, sitä nopeammin kalvo sitä läpäisee. Kalvo on pinnoitettu molemmin puolin kuitukankaalla, joka läpäisee vesihöyryä, mutta ei vesipisaroita. Pinnoitteet pysyvät vesitiiviinä, vaikka vesipisaroiden pintajännitys hajoaisikin. Polypropeenikalvon ja TEEE-kalvon toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 5.6. (Pro Clima 2010.)

Kondenssisuojatut aluskatteet

Käytettäessä muovikalvoja- ja kudoksia, jotka eivät läpäise vesihöyryä, on aluskatteen ja lämmöneristeen välisen tilan hyvästä tuuletuksesta huolehdittava, jotta vesihöyry ei pääsisi haitallisissa määrin kondensoitumaan aluskatteen alapinnalle tai rakenteiden pinnoille. Aluskatteen alapinnalle kondensoituva kosteus voi alkaa valua pintaa pitkin ja kulkeutua rakenteisiin. Vesihöyryä hyvin läpäisevät aluskatteet eivät ole niin arkoja toiminnallisille virheille. (RIL 107-2000 2009.)

Kondenssisuojatun aluskatteen alapinnassa on jokin huokoinen kerros, joka sitoo ilmassa olevan kosteuden itseensä estäen sen tiivistymisen aluskatteen alapinnalle. Kerros voi olla esimerkiksi polypropeeninukka tai polyesterikerros. Monikerroslaminaatti, jossa co-polymeerikalvon välissä on polypropeenitukiverkko ja jonka alapinnassa on polypropeeninukka, on kondenssisuojattu aluskate. Tuotteen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on hyvin pieni, $0,175 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (Icopal Oy 2010b). Kondenssisuojaus voi olla sekä diffuusioavoimen että tiiviin aluskatteen, kuten kumibitumikermin alapinnalla. Kumibitumikermiä käytetään aluskatteena vaativissa kohteissa jyrkissä katoissa, kun alustana on raakaponttilaudoitus tai kosteudenkestävä vaneri. Ohut, taipuisa kumibitumikermi voidaan asentaa roikkuvaksi tai kiinteälle alustalle. Kumibitumikermin vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $7,2 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (Icopal Oy 2009a; Icopal Oy 2009b.)

Kartonkipohjaiset aluskatteet ovat myös kondenssisuojattuja, koska kartonki sitoo itseensä kosteutta, joka muuten voisi kondensoitua kylmille pinnoille. Nelinkertainen kartonki on laminoitu muovilla, jolloin se säilyttää muotonsa kosteuspitoisuuden vaihteluissa. Tällaista aluskatetta käytetään tyypillisesti kuitusementtikatteiden kanssa. (Cembrit 2010.)

Tuulettuvissa harjakatoissa käytettäväksi tarkoitettu bitumilla impregnoitu huokoinen puukuitulevy läpäisee vesihöyryä. Sen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $0,55 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Aluskatetta käytetään esimerkiksi betonikattotiili- ja teräs-poimulevykattojen kanssa, mutta se ei sovellu sellaisen vesikatteen alle, jonka saumoista voi kulkeutua sadevettä tai lunta. Aluskatteen ilmanläpäisykerroin K_a on pieni, $3,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Tuotteen U -arvoksi on mitattu $0,36 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Aluskatteen vaikutus kattorakenteen lämmöneristävyyteen on kuitenkin vähäinen. Aluskatteen alapinta imee kosteutta, joten tuote on kondenssisuojattu. Mittausten mukaan kosteuden absorptiokyky on noin $50 \text{ g}/\text{m}^2$. (VTT 210/05 2005.)

5.4. Vedeneristeet

5.4.1. Yleistä

Vedeneristys on ainekerros, joka saumoineen kestää jatkuvaa kastumista ja jonka tehtävänä on estää nestemäisen veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen, kun rakenteen pinta kastuu. Vedeneristys katkaisee veden painovoimaisen liikkumisen ja kapillaarivirtauksen. Vedeneriste on puolestaan tarvike, jolla vedeneristys tehdään. Vedenpaineeneristys on ainekerros, joka saumoineen ja tukirakenteineen kestää rakenteelle asetetun jatkuvan vedenpainevaatimuksen ja jonka tehtävänä on estää nestemäisen veden haitallinen tunkeutuminen rakenteeseen vedenpaineen vaikutuksesta. Vedeneristysjärjestelmän vesitiiviydellä tarkoitetaan järjestelmän kykyä eristää nestemäistä vettä ja kapillaarisesti imeytyvää vettä. Sen sijaan järjestelmät ja tuotteet läpäisevät usein vesihöyryä, joka on tarkoituksenmukaista, eikä heikennä tuotteen vedeneristävyysominaisuuksia. Tässä luvussa käsitellään vedeneristeitä, joita käytetään tavanomaisten märkätilojen vedeneristeinä. Esimerkiksi uimahallien tai uima-altaissa on käytettävä käyttötarkoitukseen suunniteltuja, vedenpaineen kestäviä ratkaisuja. (RIL 107-2000 2009.)

5.4.2. Kermi ja matot

Vedeneristykseen voidaan käyttää erilaisia bitumi-, muovi- tai elastomeerituotteita. Kermi on vedeneristystarkoitukseen käytettävä vettä läpäisemätön tuote, joka yksinään tai liitettynä toisiin samankaltaisiin tai vastaaviin tuotteisiin muodostaa yhtenäisen vedeneristyskerroksen. Muovi- ja elastomeerikermejä käytetään yleensä yhtenä kerroksena. Modifioituja bitumikermejä ja bitumikermejä, jotka kuuluvat tuoteluokkiin BTL1...BTL4, voidaan käyttää vedeneristeinä myös laatoituksen alla. (RIL 107-2000 2009.)

Asuintilojen ja julkisten tilojen märkätiloissa muovimatto ja – tapetti voivat toimia pintamateriaalina sekä joissakin tapauksissa vedeneristeinä laatoituksen alla. Märkätiloihin tarkoitettut muovimatot ovat tasa-aineisia ja huomattavasti tiiviimpiä kuin asuinhuoneissa käytettävät muovimatot. Tällöin muovimaton ja laattojen kiinnityslaastin yhteensopivuus on varmistettava. Mattojen paksuuden tulee olla vähintään 1,5 mm ja tapettien vähintään 1 mm. Muovimatto- ja tapetit ovat vesitiiviitä, mutta läpäisevät jonkin verran vesihöyryä. Lattialle asennettavan muovimaton vesihöyrynläpäisykerroin W_p on hyvin pieni, $3 \cdot 10^{-12}$ kg/(m²·s·Pa). Seinälle asennettava muovitapetti läpäisee vesihöyryä huomattavasti enemmän, sen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $50 \cdot 10^{-12}$ kg/(m²·s·Pa). Saumat, nurkat, kulmat sekä nostot seinille on aina tiivistettävä muovisella hitsauslangalla. (VTT C372/05 2005; RIL 107-2000 2009; VTT C110/00 2000.)

5.4.3. Vedeneristemassat

Siveltävä vedeneristysjärjestelmä koostuu vedeneristeen pohjusteesta, mahdollisesta kosteussulkukerroksesta ennen vedeneristettä ja vedeneristeen kanssa käytettävistä nurkka-, läpivienti- yms. vahvikkeista sekä laatoitusten kiinnityslaastista ja laattojen saumausaineista. Vedeneristysjärjestelmät ovat tuotevalmistajien kehittämiä kokonaisuuksia. Erään vedeneristysjärjestelmän työvaiheita on esitetty kuvassa 5.7.



Kuva 5.7. Vedeneristysjärjestelmä koostuu useasta eri tuotteesta ja työvaiheesta, joista muutamia on esitetty kuvasarjassa. Eri tuotekerrosten tasaisessa levittämisessä auttavat tuotteiden selkeät värierot. (maxit Oy Ab 2008a.)

Pohjuste eli primer on ohut, yleensä vedellä laimennettu massa, jonka tarkoituksena on tunkeutua alustan huokosiin ja luoda hyvä tartunta vedeneristeelle. Pohjuste toimii kosteussulkukerroksena, joka lisää vesihöyrynvastusta ja parantaa vedeneristeen tartuntaa. Kosteussulkua käytetään kosteutta kestävämmillä alustoilla, mutta myös kivirakenteelle voidaan levittää kosteussulkua. Eri alustoille on valmistettu käytettäväksi erilaisia pohjusteita. Vedeneristemassalla käsitellään ja kiinnitetään ensin vahvikekankaat, jonka jälkeen vedeneriste sivellään koko pinnalle. Käsittely tehdään vähintään kahteen kertaan. Vedeneristemassoja ovat erilaiset muovi- ja kumipohjaiset massat ja -pinnoitteet, jotka koostuvat yleensä sideaineesta ja täyteaineesta. Vedeneristeen päälle levitetään sementtipohjainen laatoituksen kiinnityslaasti, joka toimii sekä vedeneristeenä että laattojen kiinnityksineen. Laasti koostuu sementistä sekä vesitiiviyyttä, kemiallista kestävyyttä ja halkeamankestävyyttä parantavasta polymeeristä ja täyteaineesta. Vesitiiviys riippuu polymeerin määrästä ja tyypistä. Vedeneristysjärjestelmä viimeistellään sementtipohjaisella, polymeerejä sisältävällä saumalaastilla sekä silikonimassalla. (Aarnio 2010; RIL 107-2000 2009; VTT 141/00 2010.) Osa vedeneristysmassoista läpäisee hyvin vesihöyryä ja tällaiset tuotteita voidaan

käyttää kohteissa, joissa on ollut kosteusvaurio ja joissa kosteuden poistuminen rakenteesta halutaan varmistaa.

Vedeneristemassat ovat vesitiiviitä ja koko vedeneristejärjestelmä on ilmatiivis. Yksikomponenttisen polymeeridispersio-pohjaisen vedeneristysjärjestelmän vesihöyrynläpäisykerroin W_p seinille on $110 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja lattioille $15 \dots 60 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (VTT 141/00 2010; VTT-C-5605-10 2010.) Kaksikomponenttinen, sementti-polymeeridispersiopohjaisen järjestelmän vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $200 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (VTT-C-690-06 2006.) Synteettisen kumilateksiin perustuvan vedeneristysjärjestelmän vesihöyrynläpäisykerroin W_p on seinille on $30 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja lattioille $96 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (VTT-C-870-06 2009.)

Tärkeintä vedeneristysjärjestelmien kosteusteknisen toimivuuden kannalta on niiden huolellinen asennus ja riittävien kerrospaksuuksien varmistaminen. Huoneilman korkea kosteuspitoisuus vaikeuttaa eristeen kuivumista ja kuivumisen pitkittyessä huomattavasti häiriintyy kalvonmuodostus, joka vaikuttaa mm. tuotteen vetolujuuteen. Jokaisessa vedeneristysjärjestelmässä tulee käyttää vain siihen kuuluvia tuotteita. Lisäksi tuotteen sopivuus käyttökohteeseen on aina varmistettava. Nestemäiset vedeneristeet soveltuvat käytettäväksi ainoastaan jatkuvasti lämpimissä tiloissa, kuten asuntojen pesuhuoneissa. (Aarnio 2010.)

5.4.4. Vedeneristelevyt

Kiviainespohjainen rakennuslevy, joka on päällystetty vedeneristeellä voi toimia märkätiloissa vedeneristeenä. Vedeneristykseenä voi toimia esimerkiksi kuitusementtilevy, joka on valmistettu sementistä, selluloosasta ja mineraaleista ja joka on pinnoitettu vedeneristeellä valmiiksi tehtaalla. Pinnan vedeneristeen ansiosta levy on vesitiivis ja sen tiheys on $1350 \dots 1450 \text{ kg}/\text{m}^3$. Levy läpäisee vesihöyryä ja sen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $30 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Levyjen asennuksen jälkeen saumat, läpiviennit ja ruuvinkannat käsitellään vedeneristysnauhalla tai -massalla. (VTT C 122/00 2010.)

Vedeneristeenä voi toimia XPS-levy, joka on päällystetty molemmin puolin lasikuituverkkovahvistetulla sekä polymeerimodifioidulla sementtipohjaisella laastilla. Levy asennetaan lattiaan ja seinään. Levyjen saumat, läpiviennit ja märkätilan lattia kauttaaltaan tiivistetään vedeneristysjärjestelmään kuuluvalla polymeeripohjaisella vedeneristemassalla. Saumat tiivistetään butyyliisaumanauhalla. Vedeneristysjärjestelmää voidaan käyttää kaikissa märkätiloissa, mutta löylyhuoneeseen se ei sovellu, koska XPS alkaa menettää lujuusominaisuutensa lämpötilan kohotessa yli $+75 \text{ °C}$ ja koska levy säilyttää muotonsa noin $+90 \text{ °C}$ asti. Levyä ei ole tarkoitettu osaksi vuotta kylmänä oleviin tiloihin. Järjestelmä on vesitiivis ja sen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $25 \dots 160 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, riippuen XPS-levyn paksuudesta $12,5 \dots 80 \text{ mm}$. XPS-ytimen lämmönjohtavuus λ_{10} on $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. (VTT-C-3043-08 2010.)

5.5. Höyrinsulut

5.5.1. Yleistä

Höyrinsulku on ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio ja ilmavirtaukset rakenteeseen ja rakenteessa. Höyrinsulkuna pidetään rakennustarviketta, jonka vesihöyrynvastus Z_p normaalihuonetiloissa on vähintään $15 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg}$. Kosteammissa tiloissa ja suljetussa rakenteessa tulee vesihöyrynvastuksen olla suurempi. Höyrinsulkuna voi toimia rakennuskalvo, -levy, pinnoite tai sively sekä tiivis rakenne, kuten betoniseinä. Höyrinsulku toimii rakenteessa usein myös ilmansulkuna. Höyrinsulun käyttö on perusteltua aina, kun laskelmin voidaan osoittaa diffuusion seurauksena tapahtuva vesihöyryn tiivistyminen vaipparakenteisiin. Höyrinsulun saumakohdat, läpiviennit ja liittymät rakenteisiin on tehtävä huolellisesti, jotta höyrinsulusta tulee tiivis. Avohuokoisen lämmöneristyksen lämpimällä puolella olevan vesihöyrynvastuksen tulee Suomen ilmastossa lämmityskauden oloissa olla vähintään viisinkertainen verrattuna kylmällä puolella olevan ainekerroksen höyrynvastukseen. (Kokko et al. 1999; RIL 107-2000 2009.) Tämä ehto ei ole yksistään riittävä seinärakenteen luotettavalle kosteustekniselle toiminnalle, vaan materiaalien kosteuskapasiteetin suuruudella on myös vaikutus. (Vinha 2007.)

5.5.2. Höyrinsulkukalvot

Rakennuskalvot ja – paperit, joita käytetään höyrinsulkuina, voidaan jakaa kahteen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat tuotteet, joiden diffuusiovastus on ympäristön olosuhteista riippumaton ja toiseen ryhmään kuuluvat tuotteet, joilla on ympäröivän kosteuden mukaan vaihtuva diffuusiovastuskyky. Perinteiset höyrinsulkukalvot eivät juuri päästä läpi vesihöyryä tai valuvaa vettä. Yleisesti höyrinsulkukalvona käytetyn pehmeän polyeteenikalvon (PEL) paksuus on 0,20 mm tai suurempi ja muovikalvo on läpinäkyvä tai sävytetty. Polyeteeni on herkkä UV-säteilylle ilman erityistä UV-stabilisointiainetta, jota ilman höyrinsulun käyttöikä voi jäädä muuta rakennetta lyhyemmäksi. Muovikalvohöyrinsulkuna tuleekin käyttää ainoastaan tarkoitukseen valmistettuja tuotteita, sillä vain ne täyttävät vaaditut kosteustekniset ominaisuudet ja käyttöikävaatimukset. Höyrinsulkumuovin vesihöyrynläpäisevyys on riippumaton ympäristön olosuhteista, eli se on aina yhtä vesihöyryntiivis. Höyrinsulkumuovin vesihöyrynläpäisykerroimen W_p tulee olla alle $10 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. 0,2 mm paksun polyeteenistä valmistetun höyrinsulkukalvon vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $2 \dots 9,78 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Vesihöyrynläpäisevyys pienenee kalvon kerrospaksuuden kasvaessa. Suhteellinen diffuusiovastuskerroin S_d on noin 20...99 m. (RIL 107-2000 2009.)

Alumiinia sisältävien höyrinsulkukalvojen vesihöyrynläpäisevyys on myös kaikissa olosuhteissa vakio. Monikerroslaminaatissa on ilma- ja diffuusiotiivis

alumiinifolio, joka on pinnoitettu polyeteenikalvolla. Alumiinikalvon sisältävä höyrynsulkukalvo on huomattavasti tiiviimpi kuin muovihöyrynsulkukalvo. Sen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $0,4 \cdot 10^{-12}$ kg/(m²·s·Pa) ja suhteellinen diffuusiovastuskerroin S_d on 495 m. (RIL 107-2000 2009.)

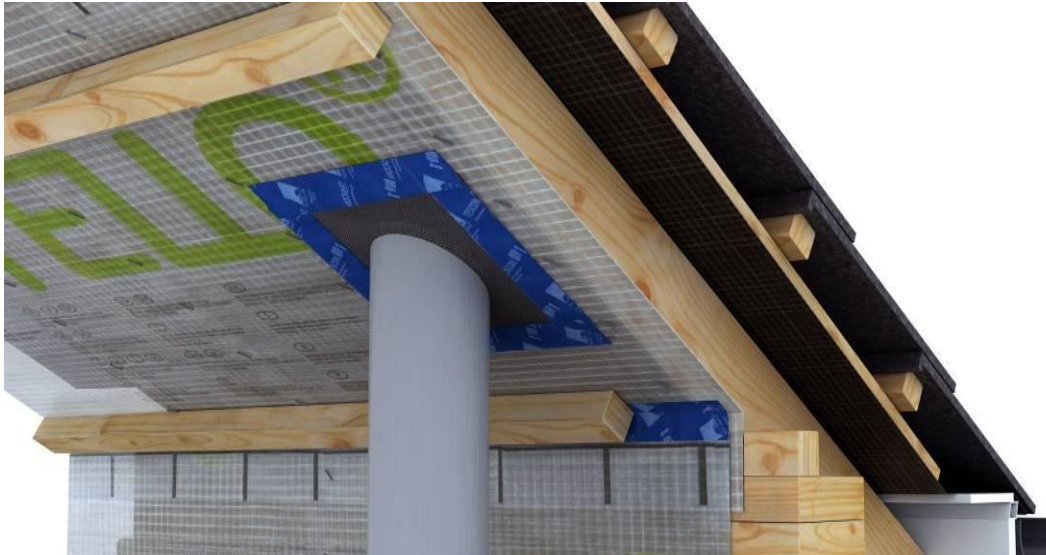
Toiseen ryhmään kuuluvat höyrynsulkukalvot, jotka päästävät tietyissä olosuhteissa lävitseen vesihöyryä. Tällaisilla kosteutta tasaavilla höyrynsulkukalvoilla on ympäröivän kosteuden mukaan vaihtuva diffuusionvastustuskyky. Diffuusioavoimiksi määritellään DIN 4108-3 mukaan rakennusosat, joiden suhteellinen diffuusiovastuskerroin S_d on pienempi kuin 0,50 m. Höyrynsulkumuovien S_d on yleensä suurempi kuin 20 m, mutta kaksitoimisten höyrynsulkukalvojen suhteellinen diffuusiovastuskerroin S_d voi vaihdella esimerkiksi välillä 0,25...10 m, riippuen ilman suhteellisesta kosteuspitoisuudesta. (Pro Clima 2010.)

Kosteutta tasaavan höyrynsulun ideana on, että vesihöyry ei pääse tiivistymään rakenteisiin diffuusion suunnasta riippumatta. Kosteutta tasaava höyrynsulku päästää kosteuden poistumaan rakenteista vuodenajan ja ilman kosteuspitoisuuden mukaan joko sisälle- tai ulospäin. Talvella, kun ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on pieni, höyrynsulun diffuusiovastus on korkea ja se ei päästä ulkoilman vesihöyryä rakenteisiin. Kun ilman suhteellinen kosteuspitoisuus kesällä nousee, höyrynsulusta tulee vesihöyryä läpäisevä ja vesihöyry pääsee siirtymään rakenteista huonetilaan. Kosteutta tasaava höyrynsulku on monikerroslaminaatti, jonka materiaaleina käytetään mm. vesihöyryä läpäisevää polypropeenaa. Polypropeenikalvon vesihöyrynläpäisevyyden toimintaperiaate on esitetty luvussa 4.3.2. Polypropeeni voi olla höyrynsulussa kalvona tai kudottuna kankaana yhdessä esimerkiksi polyeteenikopolymeerikalvon tai -kudoksen kanssa. Tällaisen, kuvassa 5.8 olevan höyrynsulkukankaan vesihöyrynläpäisykerroin W_p vaihtelee kosteuspitoisuuden mukaan välillä $0,19...0,00107 \cdot 10^{-12}$ kg/(m²·s·Pa). Höyrynsulkukankaan suhteellinen diffuusiovastuskerroin S_d vaihtelee suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvun mukaan välillä 10...0,25 m, eli höyrynsulku vastustaa vesihöyryn osapaineen tasaantumista yhtä paljon kuin vastaavan paksuinen ilmakerros.

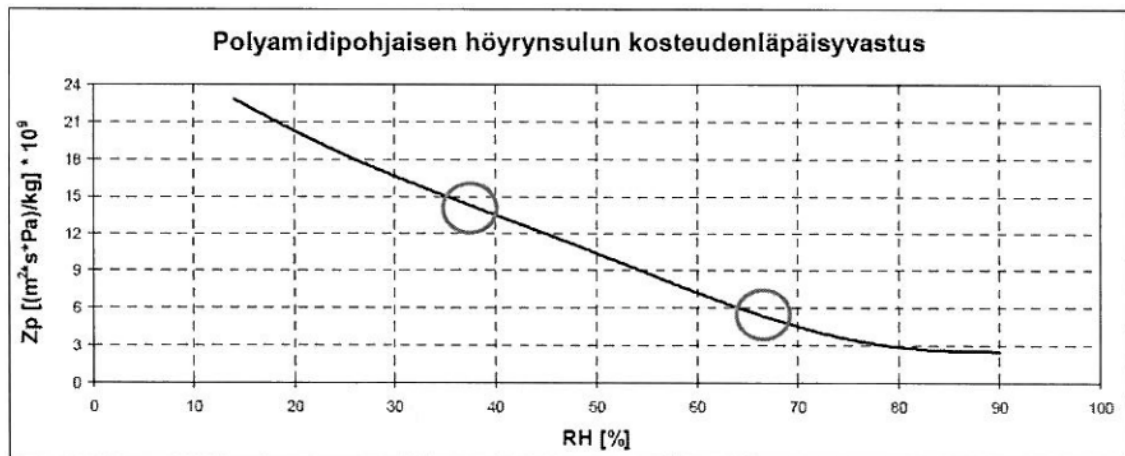
Kosteutta tasaavana höyrynsulkuna voi toimia myös höyrynsulkupaperi, jossa kaksinkertainen paperi on pinnoitettu halogeenivapaalla polyeteenikalvolla. Tällaisen höyrynsulkupaperin suhteellisen diffuusiovastuskertoimen vaihteluväli on hieman pienempi, 4...0,6 m. Sekä höyrynsulkukangas että -paperi ovat ilmatiiviitä. (Pro Clima 2010.)

Kosteutta tasaavan höyrynsulun materiaalina voi myös olla polyamidi (PA), joka läpäisee vesihöyryä, kun vesimolekyylit sitoutuvat polyamidin pitkien polymeeriketjujen väliin, jolloin veden liikkumiskyky lisääntyy. Polymeeriketjujen koko kasvaa vesimolekyylien sitoutuessa niihin, jolloin syntyy vettä imeviä materiaalihuokosia, jotka kuljettavat lävitseen vesihöyryä sitä enemmän, mitä suurempi ympäristön suhteellinen kosteus on. Kuivemmissä olosuhteissa huokokset pienenevät ja kalvon vesihöyrynläpäisevyys pienenee. Modifioidusta polyamidista valmistetun höyrynsulkukalvon sisätiloihin päin tuleva puoli on päällystetty nukkaisella

polypropeenikuitukankaalla. Polyamidipohjaisen höyrnsulkukalvon vesihöyrnvastuksen muuttuminen ilman suhteellisen kosteuden suhteen on esitetty kuvassa 5.9. Kalvon suhteellinen diffuusiovastuskerroin S_d vaihtelee suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaessa välillä 5...0,3 m. (Saint-Gobain Isover G+H AG 2009; Sievola & Keinänen 2009.)



Kuva 5.8. Kosteutta tasaavia höyrnsulkukalvoja käytetään mm. puurakenteisissa asuinrakennuksissa. (NSAI Agrément (Irish Agrément Board) 2007.)



Kuva 5.9. Polyamidipohjaisen höyrnsulun vesihöyrnvastus Z_p , [$m^2 \cdot s \cdot Pa / kg$], kasvaa ilman suhteellisen kosteuden laskiessa. (Sievola & Keinänen 2009.)

Höyrnsulkukalvo tulisi asentaa hieman löysälle, jotta se kestäisi repeämättä rakenteen muodonmuutokset. Lisäksi kalvon saumojen tiivistämiseen käytetään höyrnsulkukalvon kanssa käytettäväksi tarkoitettuja liimoja, teippejä ja saumausnauhoja, joiden käyttöikä on vähintään sama kuin höyrnsulkukalvolla. Kokonaisuuden on oltava tiivis koko rakennuksen käyttöiän ajan. Rakentamisvaiheessa höyrnsulkuun ei saisi missään vaiheessa tulla reikiä.

5.5.3. Höyrinsulkulevyt

Höyrinsulkuna voi toimia rakennuslevy, jonka vesihöyrinvastus Z_p on suurempi kuin $15 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg}$. Levyt on yleensä pinnoitettu diffuusiotiiviillä pinnoitteella. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi XPS-eristelevy tai alumiinilaminaatilla pinnoitettu polyuretaanilevy. Polyuretaanilevyn vesihöyrinvastus Z_p on suuri, $0,1 \dots 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Levyn pinnan 0,140 mm paksu alumiinilaminaatti on kolmikerrosrakente, joka koostuu voimapaperista, polyeteenikalvosta ja 0,008 mm paksusta alumiinikalvosta, jonka pinnalla on lakkakerros estämässä alumiinin hapettumisen. Polyuretaanin hyvän lämmöneristävyuden takia, λ_{design} on $0,023 \dots 0,027 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$, höyrinsulkulevyä käytetään yleensä lämmöneristeenä ja höyrinsulkuna samanaikaisesti. Levyä (kuvassa 5.10) käytetään höyrinsulkuna ja lämmöneristeenä mm. saunan rakenteissa sekä seinien sisäpuoliseen lisäeristykseen sekä korjausrakentamisessa. (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations 2006; SPU Systems Oy 2009.)



Kuva 5.10. Omakotitalon lämpimän kuistin katon höyrinsulku on tehty polyuretaanilevyillä, joka toimii samalla lämmöneristeenä. Levyjen päälle ja koko yläpohjaan puhalletaan kivivillaeristettä. (Passiivitalo 2010.)

XPS-levyn vesihöyrinvastus Z_p on suuri, $1,5 \cdot 10^{-12} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja lämmöneristävyys hyvä, λ_{design} on 30 mm paksulle levyllä $0,032 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ ja 50 paksulle levyllä $0,035 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$. Levyä käytetään seinissä ja katoissa höyrinsulkuna ja ilmansulkuna ja lämmöneristeenä. Saunan rakenteisiin se ei sovellu, koska XPS alkaa menettää lujuusominaisuutensa lämpötilan kohotessa yli $+75 \text{ }^\circ\text{C}$. XPS-levy voi olla myös päällystetty pinnoitteella, kuten epoksihöyrinsulkukerroksella. (Finnfoam 2010a.)

5.5.4. Pinnoitteet ja sivelyt

Vesihöyrytiiviyysvaatimuksen täyttää myös lukuisa joukko polymeeri-sideaineisia maaleja ja pinnoitteita, joista osa kestää myös vedenpainetta. Tiiviiden pinnoitteiden ja maalien tyypillisiä sideaineita ovat alkydit, akrylaatit ja epoksit. Sivelyistä käytetään usein nimeä kosteussulku, ja niitä käytetään tavallisesti vedeneristejärjestelmän osana parantamassa vedeneristeen tartuntaa. Sivelyjä voidaan käyttää höyrynsulkuna roiskevedelle altistumattomilla seinäpinnoilla, esimerkiksi kodinhoitohuoneessa tai märkätilan roiskevesialueen ulkopuolelle jäävillä pinnoilla. Sivelyt on tarkoitettu huonetilasta rakenteisiin siirtyvän kosteuden estämiseen. (RIL 107-2000 2009.)

5.6. Ilmansulut

5.6.1. Yleistä

Painovoima ei vaikuta vesihöyryn diffuusioon, mutta aivan olennaisesti ilmavirtauksiin ja vesihöyryn konvektioon. Ilmavirtausten mukana kulkeutuu vesihöyryä, ja on ilmeistä, että suurin osa sisäilman vesihöyryn aiheuttamista kosteusvaurioista on seurausta haitallisesta vesihöyryn konvektiosta.

Ilmansulku on tärkein rakennuksen kokonaistiiviyteen vaikuttava rakenneos. Ilmatiiviyys toteutetaan ilmansulkukerroksella, ellei rakenne itsessään ole riittävän ilmanpitävä. Massiivinen betonirakenne toimii itsessään ilmansulkuna, mutta muurattu harkkorakenne ei ole sellaisenaan riittävän ilmanpitävä, vaan ilmansulkuna toimii pintakäsittely, kuten rappaus.

Ilmansulku on ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavuoto rakenteen läpi puolelta toiselle. Suomessa se sijoitetaan lähelle rakenteen sisäpintaa, jolloin se rajoittaa kaikkea sisäilman virtausta rakenteeseen. Ilmansulkuna pidetään rakennustarviketta, jonka ilmanläpäisykerroin K_a on $\geq 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Ilmansulun ilmanläpäisykerroimen K_a maksimiarvoksi suositellaan arvoa $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Usein höyryn- ja ilmansulku toteutetaan yhtenä kerroksena, jolloin toimintavaatimusten toteutumisesta täytyy huolehtia. Ilmansulku voi olla rakennuspaperi, pahvi, (höyrynsulku)levy, matto tai kalvo tai jokin pinnoitettu paperi tai pahvi. (Kokko et al. 1999; RIL 107-2000 2009.)

5.6.2. Ilmansulkukalvot

Puu- ja teräsrunkoisissa ulkoseinissä käytetään yleensä ilmansulkua, joka toimii samalla höyrynsulkuna. Näin ilmansulku voi olla joko diffuusioavoin tai diffuusiotiivis. Diffuusioavoin ilmansulkukalvo läpäisee vesihöyryä ja satavaa tai valuvaa vettä, mutta on riittävän ilmatiivis estääkseen haitalliset ilmavirtaukset rakenteessa. Diffuusioavoimia ilmansulkukalvoja käytetään lähinnä rakenteissa, joissa käytetään

luonnonkuitupohjaisia, hygroskooppisia lämmöneristeitä. Ilmansulkukalvona voi toimia kartonkipohjainen monikerroslaminaatti tai rakennuspaperi, jossa on bitumikäsittely tai ilmansulku voi olla diffuusioavoin monikerroslaminaatti. Diffuusioavoimen ilmansulkupaperin ilmanläpäisykerroin K_a on noin $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (RIL 107-2000 2009; Isolina Oy 2010.)

5.6.3. Ilmansulkulevyt

Ilmansulkulevynä voi toimia esimerkiksi höyrynsulkulevy, kuten alumiinilaminaatilla pinnoitettu polyuretaanilevy. Alumiinilaminaatti on ilmatiivis. Levyillä voidaan parantaa esimerkiksi vanhan rakennuksen yläpohjan ilmantiiviyttä.

Ilmatiiveys voidaan saada aikaan myös sisäverhouslevyllä. Kipsilevyn ilmanläpäisykerroin K_a on $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, joten levyä voidaan käyttää rakenteen ilmansulkuna, kun rakenteen ilmantiiveys varmistetaan levyjen saumojen saumauksella. (Gyproc Oy 2006.)

5.7. Tuulensuojat

5.7.1. Yleistä

Tuulensuoja on lämmöneristyksen ulkopintaan tai sisälle asennettava ainekerros, jonka pääasiallinen tarkoitus on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuolisen rakenteen osaan ja takaisin. Lisäksi avoimuksen mineraalivillaisen tuulensuojalevyn tarkoituksena on parantaa rakenteen lämmöneristyskykyä. Tuulensuojan vesihöyrynvastuksen tulee olla riittävän pieni, jotta se voi päästää lävitseen sisäpuolelta tunkeutuvan vesihöyryn, rakennuskosteuden ja mahdolliset satunnaiset kosteuskuormat. Vesihöyrynläpäisevyyden tulisi olla mahdollisimman suuri erityisesti lähellä vesihöyryn kyllästysolosuhteita myös jäätymisalueella, jotta tuulensuojattu rakenne toimisi kosteusteknisesti hyvin myös ankarassa kosteusrasituksessa. Tällöin kuivuminen myös pakkasjakson aikana on mahdollista. (Kokko et al. 1999.)

Mikäli tuulensuojan kosteudenläpäisykykyä erityisesti lämmityskauden oloissa halutaan parantaa, voidaan tuulensuojan ulkopintaan asentaa ohuehko, jäykähkö mineraalivillaeristelevy. Näin tuulensuojan toimintalämpötila nousee ja mikäli seinärakenteessa on höyrystyvää kosteutta, vesihöyryn osapaine-ero tuulensuojan yli olennaisesti kasvaa. Tällöin rakennetta kuivattava diffuusiovirta tuulensuojan läpi kasvaa merkittävästi verrattuna siihen, että tuulensuoja on asennettu lämmöneristyksen ulkopintaan. Ulkopuolisen lisälämmöneristyksen hyöty on pienempi materiaaleilla, joiden vesihöyrynläpäisevyys on jo alun perin korkea (mineraalivillat). Tämä johtuu siitä, että vesihöyryn osapaine-ero tuulensuojan sisäpinnan ja ulkoilman välillä ei juurikaan kasva ja koska ulkopuolinen lisälämmöneristys aiheuttaa kosteuden siirtoon lisävastuksen. Hyvin vesihöyryä läpäisevillä tuulensuojilla hyödytään ulkopuolisesta

lisäeristyksestä eristepaksuuksilla 25...50 mm, suuren vesihöyrynvastuksen omaavien eristepaksuus voi olla suurempi. (Vinha et al. 2008.)

Tuulensuojan tulee myös olla riittävän ilmatiivis. Mitä ilmatiiviimpi ja vesihöyryntiiviimpi tuulensuoja on, sitä suurempi on tuulensuojaan rajoittuvan rakenteen kosteusjakauma ja rakenteeseen syntyvät paikalliset kosteuspiitoisuudet. Kosteuskertymän paikalliset huiput säilyvät pitkään rakenteissa. Tuulensuojaan rajoittuvan huokoisen lämmöneristeen kosteuskertymä kasvaa tasaisesti alhaalta ylöspäin. (Kokko et al. 1999.)

Tuulensuojana voi toimia esimerkiksi käyttötarkoitukseen valmistettu kalvo, paperi, kova mineraalivillalevy tai puukuitulevy. Tuulensuojana pidetään rakennustarviketta, jonka ilmanläpäisykerroin K_a on $\geq 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (RIL 107-2000 2009.) Tuulensuojan ilmanläpäisykerroin K_a saa olla enintään $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ (Ympäristöministeriö 2003).

Seinärakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta kriittisin paikka on yleensä tuulensuojan sisäpinnassa, johon kosteus kondensoituu. Kosteusteknisesti turvallisesti toimivilla rakenteilla tulisi olla ylimääräistä kuivumiskykyä rakentamisen aikaisen rakennekosteuden ja satunnaisten, pienten ylimääräisten kosteuskuormien varalle. Tuulensuojan lämmöneristyskyky ja pieni vesihöyrynvastus alentavat suhteellisen kosteuden tasoa tuulensuojan sisäpinnassa. Rakennusvaiheessa tuulensuoja altistuu säärasiutuksille, jolloin seinärakenteeseen kertyy rakennusaikaista kosteutta. Siksi seinärakenteen ei tulisi olla ilman verhoilua muutamaa kuukautta pidempää aikaa, jotta seinärakenteen sisään jäävän rakennekosteuden määrä olisi mahdollisimman pieni. (Vinha et al. 2008.)

5.7.2. Tuulensuojakalvot

Tuulensuojakalvo tai -paperi voi olla pinnoitettu pahvi tai paperi tai laminoitu monikerroslaminaatti. Se päästä läpi vesihöyryä, mutta ei satavaa tai valuvaa vettä. Tuulensuojakalvon vesihöyrynvastuksen Z_v tulisi olla pienempi kuin $5 \cdot 10^3 \text{ s/m}$ tai $0,68 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$. Jos tuulensuojakalvon vesihöyrynvastus Z_v on suurempi kuin $1 \cdot 10^3 \text{ s/m}$ tai $0,13 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$, tulee seinärakenteen sisäpinnassa käyttää höyrynsulkua. Kalvo on nopea asentaa verrattuna perinteisiin levyihin ja se ei kasvata seinäpaksuutta, minkä takia kalvot soveltuvat hyvin myös korjausrakentamiseen. (Vinha et al. 2008.)

HDPE:stä (high-density polyethylene) valmistetun mikrokuiturakenteisen tuulensuojakalvon vesihöyrynvastus Z_v on hyvin pieni, $0,82 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. HDPE- kalvo läpäisee hyvin vesihöyryä, mutta ei nestemäistä vettä. Kalvoa käytetään sekä erillisenä tuulensuojakalvona että integroituna mineraalivillaisen tuulensuojalevyn pinnassa. Kalvon ilmanläpäisykerroin K_a on $10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (Paroc Oy Ab 2003; RT N-37226 2006.)

Polypropeenilla päällystetyn kuitukankaan vesihöyrynvastus on myös pieni. Vinha (2007) mukaan Z_v on $3,23 \cdot 10^3 \text{ s/m}$, valmistaja antaa tuotteelle arvon $8 \cdot 10^3 \text{ s/m}$.

Tuulensuojakangas on myös hyvin ilmatiivis, sen ilmanläpäisykerroin K_a on $0,02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (Vinha 2007; RT L-37625 2008; Ypap Oy 2010a.)

Tuulensuojakalvo voi myös olla molemmin puolin bitumilla päällystetty rakennuspaperi tai -kreppi. Tuotteet on tarkoitettu sekä uudis- että korjausrakentamiseen, mutta niiden pääasiallisena käyttökohteena ovat vanhat puurunkoiset ulkoseinät. Bitumivuorauspapereiden vesihöyrynvastus Z_v vaihtelee välillä $3,70 \dots 4,70 \cdot 10^3 \text{ s/m}$ ja niiden ilmanläpäisykerroin K_a on suuri, alle $28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, joka täyttää Ruotsin ilmanläpäisykertoimen vaatimuksen. Bitumivuorauspaperi sekä muita rakennuskalvoja on kuvassa 5.11. (Ypap Oy 2010b.)

Kalvoille on tyypillistä, että niiden vesihöyryn diffuusiovastuskerroin μ pienenee ilman suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaessa. Polypropeenilla päällystetyn kuitukankaan diffuusiovastuskerroin μ on kuitenkin ilman suhteellisesta kosteuspitoisuudesta riippumaton. Kalvojen toiminnan kannalta oleellista on, että ne läpäisevät vesihöyryä riittävästi myös silloin, kun lämpötila on pakkasen puolella. (Vinha et al. 2005.)



Kuva 5.11. Erilaisia rakennuskalvoja. Vasemmalta oikealle: ilmansulkupaperi, rakennuskartonki, bitumivuorauspaperi (tuulensuoja), polyeteenipinnoitettu paperi (höyrynsulku) ja alumiinipinnoitettu höyrynsulkukalvo. (Lemminkäinen 2010.)

5.7.3. Tuulensuojalevyt

Tuulensuojana voidaan käyttää mineraalivillasta, kipsistä, puukuiduista, puusta tai eri materiaalien yhdistelmistä valmistettuja levyjä. Tuulensuojalevyn kosteusteknisen toiminnan kannalta suuri vesihöyrynläpäisevyys on tärkeää. Huokoiset tuulensuojalevyt toimivat myös lämmöneristeenä. Hyvin lämpöä eristävän tuulensuojan

vesihöyrynvastuksen Z_v suositeltava maksimiarvo on $15 \cdot 10^3$ s/m tai Z_p suositeltava maksimiarvo on $2,05 \cdot 10^9$ m²·s·Pa/kg. (Vinha et al. 2008.)

Puukuitupohjaiset tuulensuojalevyt

Tuulensuojana voidaan käyttää huokoisia puukuitulevyjä. Huokoiset puukuitulevyt valmistetaan pääasiassa luonnonpuukuidusta sekä hartsista ja vahasta, jotka kyllästävät levyn tasaisesti ja jotka lisäävät levyn tiiviyyttä ja jäykkyyttä. Levyt ovat koostumukseltaan homogeenisia ja niiden sideaineena toimii puun ligniini. Levyn pinta voi olla käsitelty vettä hylkiväksi. Huokoisia puukuitulevyjä käytetään yleisesti puurunkoisissa asuinrakennuksissa, uudis- ja korjausrakentamisessa. (RT 37721 2009.)

Huokoinen puukuitutuulensuojalevy saavuttaa tasapainokosteuden kahdessa tai kolmessa kuukaudessa. Levyt läpäisevät hyvin vesihöyryä, eikä levyjen vesihöyrynvastus juuri muutu lämpötilan tai suhteellisen kosteuden muuttuessa. Levyjen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $2...3 \cdot 10^{-9}$ kg/(m²·s·Pa). Levyjen vesihöyrynvastus Z_v on $1,88...4,29 \cdot 10^3$ s/m. Huokoisten puukuitulevyjen kapillariteettikertoimet ovat muita puupohjaisia levyjä selvästi alhaisemmat. Levyt imevät vettä melko hitaasti itseensä, jolloin levy ei kastu helposti sadeveden vaikutuksesta. Siksi huokoinen puukuitulevy voi toimia rakennuksen väliaikaisena suojana, kuten kuvassa 5.12. Pitkäaikaisessa altistuksessa myös huokoinen puukuitulevy imee itseensä huomattavasti vettä. (Vinha et al. 2005.) Levyjen ilmanläpäisykerroin K_a on korkeintaan $10 \cdot 10^{-6}$ m³/(m²·s·Pa), joka on tuulensuojille asetettu ilmanläpäisykertoimen yläraja.

Puukuitupohjaisten tuulensuojalevyjen lämmönjohtavuus kasvaa kosteuspitoisuuden kasvaessa. Varsinkin huokoisilla tuulensuojalevyillä on merkitystä seinärakenteen lämmöneristävyyden kannalta. Huokoisten puukuitutuulensuojalevyjen lämmönjohtavuus $\lambda_{Declared}$ on 0,052 W/(m·K). (RT 37721 2009.)

Bitumilla kyllästetyt huokoiset puukuitutuulensuojalevyt ovat ilmatiiviimpiä kuin ainoastaan puukuitua sisältävät levyt. Levyjen ulkopuolelle tuleva pinta on tiiviimpi, koska sen bitumipitoisuus on suurempi. Bitumilla kyllästettyjä puukuitutuulensuojalevyjä käytetään huokoisten puukuitutuulensuojien tapaan puurunkoisten pientalojen tuulensuojana. Levyjen paksuudet ovat 12 mm ja 25 mm. Levyjen vesihöyrynläpäisykerroin W_p on suuri, $0,63...1,2 \cdot 10^{-9}$ kg/(m²·s·Pa) ja se kasvaa levyn paksuuden kasvaessa. Lämmönjohtavuus on myös parempi, $\lambda_{Declared}$ ohuemmalle levyllä on 0,049 W/(m·K) ja levyjen mitattu lämmönjohtavuus λ_{10} on 0,045...0,046 W/(m·K). Levyt ovat myös ilmatiiviimpiä. Ohuemman levyn Ilmanläpäisykerroin K_a on $8 \cdot 10^{-6}$ m³/(m²·s·Pa) ja paksumman levyn K_a on $4 \cdot 10^{-6}$ m³/(m²·s·Pa). (VTT-C-713-06 2006.)



Kuva 5.12. Huokoinen puukuitutuulensuojalevy voi toimia rakennuksen väliaikaisena suojana, mutta rakennusta ei saa jättää talvehtimaan pelkän tuulensuojalevyn varaan. (RT 37721 2009.)

OSB, lastulevyt ja vanerit

Puupohjaisia tuulensuojatuotteita ovat myös OSB (Oriented Strand Board), lastulevyt ja vanerit. VTT:n tiedotteessa Puurakenteiden kosteustekninen toiminta, (Kokko et al. 1999), on esitetty rakenteiden kuivumiskyky eri tuulensuojatapauksissa. Tutkimuksen mukaan OSB-levy, kuivui kokeessa kaikkein hitaammin. OSB on Pohjois-Amerikassa tyypillisesti käytetty tuulensuoja ja aluskate. Sekä OSB:n, lastulevyn että vanerin vesihöyrynvastus on korkea, eli ne läpäisevät huokoisia puukuitulevyjä selvästi hitaammin vesihöyryä. Vesihöyrynvastus laskee lämpötilan laskiessa ja suhteellisen kosteuspitoisuuden noustessa. OSB:n vesihöyrynvastus on alhaisissa kosteuksissa (alle 70 % RH) alemmissa lämpötiloissa suurempi kuin korkeammassa lämpötiloissa ja suuremmissa kosteuksissa päinvastoin. OSB:n vesihöyrynvastus Z_v on $71,9 \cdot 10^3$ s/m, V313 lastulevyn $60,9 \cdot 10^3$ s/m ja havuvanerin $33 \cdot 10^3$ s/m. Koska levyt altistuvat rakennusaikana säärasituksille, niihin sitoutuu väistämättä kosteutta. Levyt imevät vettä melko hitaasti, mutta niiden kapillaarinen kyllästyskosteus on korkea, $590 \dots 1000$ kg/m³. Levyjen tasapainokosteudet ovat varsin lähellä puun tasapainokosteutta ja huomattavasti suuremmat kuin muilla tuulensuojalevyillä. Tasapainokosteuden saavuttaminen voi kestää puoli vuotta. Levyt eivät kestä jatkuvaa vesialtistusta. OSB:n, V313 lastulevyn ja vanerin kosteusdiffusiviteetit ovat pienet, eli levyissä oleva kosteus poistuu niistä hitaasti. Näiden tekijöiden takia OSB:n, lastulevyn ja vanerin käyttön tuulensuojalevynä tulee kyseenalaistaa. (Kokko et al. 1999; Vinha et al. 2005; Vinha et al. 2008.)

Levyjen kuivumiskykyä voidaan kuitenkin parantaa huomattavasti käyttämällä tuulensuojan ulkopuolista, tuuletusväliin avointa lämmöneristystä. Vinha (2007)

mukaan vaneria tai kovalevyä voidaan käyttää tuulensuojana puurunkoisissa ulkoseinärakenteissa silloin, kun tuulensuojalevyn ulkopuolelle asennetaan erillinen avohuokoinen lämmöneristys ja kun ulkoseinärakenteen lämmöneristeenä käytetään alhaisen tai keskimääräisen kosteuskapasiteetin lämmöneristeitä. Näitä ovat mm. mineraalivillat sekä puukuitu- ja pellavaeristeet.

Kipsipohjaiset tuulensuojalevyt

Kipsituulensuojalevy läpäisee yhtä hyvin vesihöyryä kuin huokoinen puukuitutuulensuojalevy, sen vesihöyrynvastus Z_v on $2,62 \cdot 10^3$ s/m eikä levyn vesihöyrynvastus juuri muutu lämpötilan tai suhteellisen kosteuden muuttuessa. Kipsituulensuojalevy on hyvin ilmatiivis, sen ilmanläpäisykerroin K_a on vain $0,2 \cdot 10^{-6}$ m³/(m²·s·Pa). (Vinha 2007; Gyproc Oy 2006.)

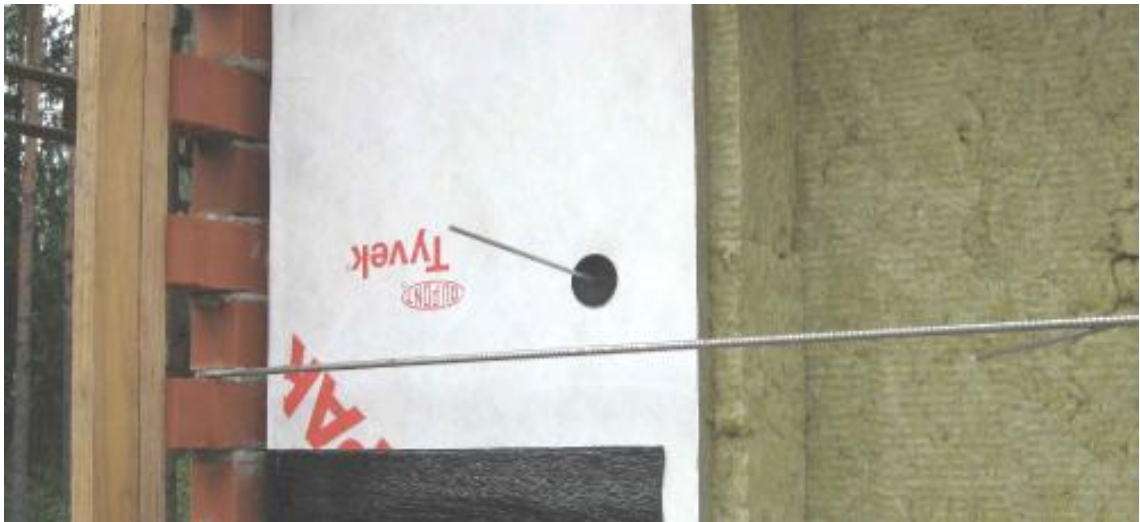
Kipsituulensuojalevyä käytettäessä rakenteen ulkoverhous tulee toteuttaa siten, etteivät tuulensuojalevyt ole käytön aikana kosketuksissa valuma- tai muun veden kanssa. Jos ulkoverhouksena on kuorimuuri, voidaan levyn pintaan asentaa mineraalivillaa estämään laastipurseiden kosketuksiin joutuminen tuulensuojalevyn kanssa, koska purseet johtavat seinärakenteeseen vettä. Kipsituulensuojalevyn ulkopuolinen lämmöneriste nostaa tuulensuojalevyn toimintalämpötilaa ja nopeuttaa levyn vesihöyrynläpäisevyyttä. Kipsituulensuojalevy imee kapillaarisesti vettä suhteellisen nopeasti. Levyn reunojen kautta tapahtuva kapillaari-imu on huomattavasti voimakkaampaa kuin veden imeytyminen kartonkipinnan kautta, koska kartonki on käsitelty silikonilla ja vahalla vettä hylkiväksi. Siksi tuulensuojalevyn ja sokkelin väliin tulee jäädä vähintään 15 mm kapillaarikatko. Lisäksi on huolehdittava siitä, ettei vesi pääse imeytymään tuulensuojalevyyn levyn reunojen kautta. Kipsituulensuojalevyn kosteuden vaihtelusta aiheutuva muodonmuutos suhteellisen kosteuden alueella 40...90 % RH on 0,4 mm/m.

Komposiittikipsituulensuojalevyjen kosteudenkestävyysominaisuudet ovat verrattain paremmat kuin kipsituulensuojalevyn. Levy on pinnoitettu vettähylkivällä akryylipinnoitteella ja lasikuituverkolla ja sen ydin on impregnoitu ja lasikuituvahvistettu. Siksi levyn pinta ei ole yhtä arka esimerkiksi yllä mainituille laastipurseille. Levyn vesihöyrynvastus Z_p ja ilmanläpäisykerroin K_a ovat samat kuin kipsituulensuojalevyllä. Levyn kosteuden aiheuttama muodonmuutos suhteellisen kosteuden alueella 40...90 % RH on 0,2 mm/m, joka on pienempi kuin kipsituulensuojalevyllä. Komposiittikipsilevytuulensuoja myös sitoo itseensä hygroskooppisesti vähemmän kosteutta pakkasjakson aikana ja sen kosteuspitoisuus säilyy matalampana kuin tavallisen kipsituulensuojalevyn. (Gyproc Oy 2006; Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Gyproc 2010a; Hyttinen 2010.)

Mineraalivillapohjaiset tuulensuojalevyt

Avohuokoisesta mineraalivillasta valmistetun tuulensuojalevyn riittävä ilmatiiviyys varmistetaan usein pinnoittamalla levyn ulkopinta pahvilla, laminaatilla, lasikuituhuovalla tai jollain muulla pinnoitteella. Integroitu pinnoite antaa suojaa

tuulelta ja sateelta. Diffuusioavoimet pinnoitteet päästävät lävitseen vesihöyryä mutta eivät nestemäistä vettä. Eräs tällainen pinnoite on HDPE:stä valmistettu mikrokuitukalvo, jota käytetään myös erillisenä tuulensuojakalvona. Kuvassa 5.13 on erään passiivitalon seinärakenne, jossa on käytetty kyseisellä pinnoitteella varustettua tuulensuojalevyä. (RT N-37226 2006.) Pinnoite tekee mineraalivillalevystä tuulen- ja vedenpitävän. Tuulensuojavillojen ilmanläpäisykerroin K_a on suurempi kuin muilla tuulensuojatuotteilla, korkeintaan $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (VTT-C-3212-21-08 2008.)



Kuva 5.13. Erään passiivitalon seinärakenne, jossa tiilirunkoseinän ja kuoritiilimuurin välissä $2 \times 150 \text{ mm}$ kivivillaa ja 30 mm tuulensuojakalvolla päällystetty kivivillatuulensuojalevy. (Passiivitalo 2010.)

Tuulensuojavillojen vesihöyrynvastus vaihtelee hyvin vähän lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muuttuessa. Alhaisemmissa lämpötiloissa vesihöyrynvastus on hieman suurempi. Niiden vesihöyrynvastus Z_v vaihtelee välillä $1,58 \dots 1,85 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Tuulensuojavillojen hygroskooppisuus on muiden villojen tavoin lähes olematon ja tasapainokosteuden saavuttaminen tapahtuu hyvin nopeasti. Mineraalivillaiset tuulensuojalevyt eivät ime kapillaarisesti vettä. Tuulensuojalevyt ovat osa rakenteen lämmöneristekerrosta. Kosteuden vaikutus lämmönjohtavuuteen hygroskooppisella alueella on lähes olematon. (Vinha et al. 2005; Vinha 2007.)

Kuitusementtipohjaiset tuulensuojalevyt

Kuitusementtipohjaiset tuulensuojalevyt ovat säänkestäviä rakennuslevyjä. Levyt valmistetaan portlandsementistä, filleristä, selluloosasta, kiilteestä ja pienestä määrästä muovikuitua. Kuitusementtilevyn materiaaliominaisuudet ovat verrattavissa betonin ominaisuuksiin. Kuitusementistä valmistetun tuulensuojalevyn vesihöyrynvastus Z_v on suuri verrattuna muihin tuulensuojatuotteisiin, $10,7 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Levyn ilmanläpäisykerroin K_a on $0,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (Cembrit Oy 2003; Vinha 2007.)

5.8. Lämmöneristeet

5.8.1. Yleistä

Lämmöneriste on ainekerros, jota käytetään estämään lämmönsiirtyminen rakenteen puolelta toiselle. Lämmöneristeet voidaan jakaa huonosti lämpöä johtaviin eristeisiin, heijastaviin eristeisiin ja tyhjiöeristeisiin. Usein lämmöneristeen toiminta perustuu sekoitukseen useampia eristetyyppejä. Lämmöneristeitä valmistetaan mm. mineraalivillasta, luonnonkuitupohjaisista materiaaleista sekä muovikuiduista että solumuoveista. Lisäksi lämmöneristeenä voi toimia jokin rakennusosa tai rakennuksen massiivinen kantava runko, joka on esim. tiiltä tai hirttä.

Lämmöneristeet jaetaan niiden hygroskooppisuuden mukaan kahteen ryhmään. Lievästi hygroskooppisiin eristeisiin voi sitoutua kosteutta enintään 2 % eristeen kuivapainosta. Tällaisia eristeitä ovat mm. mineraalivillat, solumuovieristeet, muovikuitueristeet, solulasi, ja kevytsora. Lämmöneristeet ovat hygroskooppisia, jos niiden tasapainokosteus on yli 2 % eristeen kuivapainosta. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi kaikki luonnonkuitueristeet.

5.8.2. Mineraalivillat

Mineraalivilla on yleisnimitys useille erilaisille kuitumaisille, ulkonäöltään villan kaltaisille epäorgaanisille eristeille. Mineraalivillat jaetaan raaka-aineen mukaan lasi- ja kivivilloihin. Mineraalivillaeriste koostuu ohuista kuiduista, jotka on tavallisesti sidottu yhteen sideaineella (hartsit) ja jotka on käsitelty usein öljyllä pölyn sitomiseksi ja vedenhylykivyyden parantamiseksi. Mineraalivillojen tilavuudesta noin 92...99 % on ilmaa tuotteesta riippuen. Mineraalivillojen ominaisuuksiin vaikuttavat tiheyden lisäksi kuidun paksuus ja sideainemäärä. Kivivillan kuidut ovat kooltaan 4...12 μm ja niiden keskipituus on noin 2...4 mm. Lasivillan kuidut ovat pidempiä, niiden pituus on noin 5...10 mm. Lyhyet kuidut asettuvat tuotteessa sattumanvaraisesti asentoihin, kun taas pitkällä kuiduilla on taipumus asettua tuotteissa pinnansuuntaisesti. Kuvassa 5.14 kivivillaa on käytetty irtoeristeenä yläpohjassa ja levynä ulkoseinärakenteessa. (RIL 155 1984.)

Mineraalivillan mitattu lämmönjohtavuus riippuu tiheydestä, lämpötilasta ja materiaalipaksuudesta. Lämmönjohtavuus ei ole riippuvainen materiaalin kosteuspitoisuudesta, koska villa ei ime kapillaarisesti vettä ja sen hygroskooppinen tasapainokosteus on hyvin pieni. Mineraalivillassa lämpö siirtyy johtumalla, säteilyllä ja konvektiona. Johtuminen tapahtuu kuituja pitkin ja osittain ilmahuokosten kautta. Eri siirtymiskomponenttien suuruuteen ja suhteelliseen osuuteen suljetussa eristetilassa vaikuttavat mm. lämpötilaerot, tiheys ja villan sisäinen rakenne. (RIL 155 1984; Vinha et al. 2005.) Lasivillalevyn, jonka paksuus on 50 mm lämmönjohtavuus $\lambda_{\text{Declared}}$ on 0,033...0,037 W/(m·K) ja yhtä paksun kivivillalevyn $\lambda_{\text{Declared}}$ on 0,034...0,039 W/(m·K). (Paroc Oy Ab 2003; Saint-Gobain Isover G+H AG 2008.)



Kuva 5.14. Passiivitaloksi rakennetun omakotitalon yläpohjan lämmöneristys on tehty 700 mm kerroksella puhallusvillaa. Ulkoseinän lämmöneristyksessä on kaksi 150 mm kivivillalevyä päällekkäin sekä 30 mm tuulensuojalevy. (Passiivitalo 2010.)

Mineraalivillan lämmöneristysominaisuudet perustuvat soluissa paikallaan pysyvän ilman eristävyYTEEN. Ilmavirtaukset aiheuttavat eristekerroksessa sisäisen konvektion, joka heikentää eristeen lämmöneristävyYTTÄ. Ilmavirtojen mukana liikkuu lämpöenergiaa ja kosteutta. Sisäisen konvektion suuruuteen vaikuttavat pintojen lämpötilaerot, huokosten koko, eristekerroksen paksuus sekä ilmanläpäisevyys, joka on suoraan verrannollinen tiheyteen. Kivivillalevyjen, joiden tiheys on $30\text{--}50\text{ kg/m}^3$ ilmanläpäisevyys L on $125\text{--}55 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ ja tiheydeltään $23\text{--}35\text{ kg/m}^3$ kivipuhallusvillojen ilmanläpäisevyys L on $400\text{--}700 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$. Lasivillalevy, jonka tiheys on $40\text{--}60\text{ kg/m}^3$ ilmanläpäisevyys L on $22\text{--}40 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$, kun lasikuitujen paksuus on $5\text{--}6\text{ }\mu\text{m}$. Lasikuitujen paksuuden ollessa $10\text{--}12\text{ }\mu\text{m}$ ja tiheyden ollessa sama, ilmanläpäisevyys L on $60\text{--}100 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$. Ulkoseinärakenteissa ilman virtaus lämmöneristeen reunoilla kasvattaa sisäistä konvektiota, joka voi heikentää lämmöneristeen U -arvoa eristepaksuudesta riippuen n. $10\text{--}20\%$. Seinärakenteissa sisäinen konvektio voidaan estää hyvin vesihöyryä läpäisevillä konvektiokatkoilla. (RIL 225-2004 2005; Vinha et al. 2008.)

Mineraalivillan vesihöyrynläpäisevyys on varsin suuri ja siksi kosteus pääsee usein liikkumaan ilmavirtojen ja diffuusion avulla rakenteessa. Kosteus liikkuu villassa vesihöyrynä tiivistymättä mineraalivillan sisälle villan alhaisen vesihöyrynvastuksen takia, Z_v on $2,24 \cdot 10^3\text{ s/m}$. Vesihöyryn tiivistyminen tapahtuu vasta mineraalivillan kylmemmällä puolella ensimmäisessä kohtaamassaan kylmässä pinnassa jolloin mineraalivilla itsessään säilyy kuivana. (Paroc 2010.) Mineraalivillalle, jonka tiheys on 37 kg/m^3 , on mitattu diffuusiovastuskertoimen μ arvoksi 1,2. Mittaustulosten puuttuessa pinnoittamattomien ja avoimella rakenteella pinnoitettujen mineraalivillatuotteiden diffuusiovastuskertoimen μ voidaan olettaa olevan 1. (Vinha 2007; SFS-EN 13162 2009.)

5.8.3. Muovikuitupohjaiset lämmöneristeet

Polypropeeni (PP) on kestävä, usein muita muoveja jäykempi materiaali. Polypropeeni ei sido itseensä hygroskooppisesti vettä ja siitä tehty kalvo tai kudus läpäisee vesihöyryä, kuten rakennuskalvoja käsittelevissä luvuissa on todettu. Polypropeenikuiduista valmistetun nauhaeristeen lämmöneristyskyky perustuu soluissa paikallaan pysyvän ilman eristävyteen. Eriste on kimmoisaa ja joustavaa. Nauhaeristeen paksuus on 5...40 mm ja sen lämmönjohtavuus λ on 0,033 W/(m·K). Eristysnauhaa käytetään esimerkiksi hirsien saumoissa kuten kuvassa 4.15, vanhan hirsirakennuksen tilkitsemisessä ja ikkuna- ja ovikarmien tiivistyksessä. (Jyremark saumaeristeet 2010.) Polypropeenista valmistetaan ulkoimailla myös jäykkiä eristelevyjä, joita käytetään betonisandwichelementeissä.

Kierrätettävistä PET (polyetyleenitereftalaatti) -muovijuomapulloista valmistetaan polyesterikuitueristettä. Polyesterikuidut yhteen lämmön avulla sitomalla valmistetaan villamaisia eristelevyjä, joiden paksuus on 50...100 mm. Kuidut asettuvat levyssä syvyysuuntaan, joten eriste ei painu rakenteessa. Kuvassa 5.15 olevien levyjen lämmönjohtavuus λ_{design} on 0,040 W/(m·K) ja $\lambda_{Declared}$ on 0,045 W/(m·K). Polyesterikuitueristeen, jonka tiheys on 20 kg/m³, ilmanläpäisevyys L on suuri, $300 \cdot 10^{-6}$ m³/(m·s·Pa). (RIL 225-2004 2005; Ewona Finland Oy 2010.)



Kuva 5.15. Vasemmalla: polypropeenikuidusta valmistettua eristenauhaa käytetään hirsirakenteen saumojen eristeenä. (Jyremark saumaeristeet 2010.) Polyesterikuidusta valmistettuja eristelevyjä käytetään monipuolisesti sekä uudis- että korjausrakentamisessa. (Ewona Finland Oy 2010.)

5.8.4. Luonnonkuitupohjaiset lämmöneristeet

Puukuitueristeet

Puukuiduista valmistetaan puhaltamalla ja kuivaruiskuttamalla asennettavaa irtoeristettä sekä eristelevyjä. Puukuidut ovat muutamien millimetrien pituisia putkimaisia rakenteita, joissa on selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä. Selluloosa on kaupallinen nimi pitkäketjuiselle polysakkaridille, joka on kasvisolujen seinämien tukiainetta. Puukuituieriste valmistetaan kierrätysmateriaaleista. Kierrätysmateriaali on valikoitua sanomalehtikeräyspaperia. Puukuitueristelevyt valmistetaan uudesta puukuidusta. Eristeen sideaineena toimii puun oma ligniini. Molempiin lisätään palonestoaineita palonkestävyyden saavuttamiseksi sekä boorimineraaleja estämään kosteuden aiheuttamaa lahoa ja biologisia vaurioita. Irtoeriste asennetaan suoraan rakenteeseen puhaltamalla tai kuivaruiskuttamalla, kuten kuvassa 5.16. Irtoeristettä käytetään usein yläpohjien lämmöneristeenä sekä lisälämmöneristämiseen. (Salonvaara & Kokko 1999; Suomen Selluvilla-Eriste Oy 2006.)

Puukuitueriste on hygroskooppinen materiaali, ja sen kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta on lähes sama kuin puutavaralla. Puukuitueriste pystyy sitomaan ja luovuttamaan nestettä 5...10 -kertaisesti painoonsa verrattuna. Eristeen kapillaarisuus on samaa luokkaa kuin puulla. Vesihöyry läpäisee eristeen helposti. Eristelevyjen (kuva 5.17) ja puhallettavien irtoeristeiden, joiden tiheys on $35...63 \text{ kg/m}^3$, vesihöyrynvastus Z_v on hyvin pieni, $1,88...2,48 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Samoin diffuusiovastuskerroin μ arvo on pieni, $1,2...2$. Puukuitueriste tasaa rakenteiden kosteutta ja lämpövirtoja ja mahdollistaa myös kaasujen (hiilidioksidi, happi) siirtymisen diffuusiolla rakenteen läpi. (Salonvaara & Kokko 1999; Vinha 2007.)



Kuva 5.16. Kuivaruiskuttamisen etuna on, että eriste liimaantuu rakenteisiin täyttäen ja tiivistäen raot ja kolot. Ylimääräisen kosteuden on haihduttava pois eristemassasta ennen rakenteen sulkemista. (Suomen Selluvilla-Eriste Oy 2006.)

Puhallettavien ja kuivaruiskutettavien irtoeristeiden lämmöneristävyys vaihtelee irtoeristeen tiheyden, asennustavan ja sullonta-asteen mukaan. Lämmönjohtavuus λ_{design}

puhalletulle eristeelle on 0,040 W/(m·K) ja kuivaruiskutetulle 0,041 W/(m·K). Puhallettavan irtoeristeen $\lambda_{Declared}$ on 0,038...0,039 W/(m·K) ja kuivaruiskutettavan 0,038 W/(m·K). Irtoeristeiden ilmanläpäisevyys on suuri. Irtopuhallettavan eristeen ilmanläpäisevyys L on 50...100 ·10⁻⁶ m³/(m·s·Pa) ja kuivaruiskutettavan L on 100 ·10⁻⁶ m³/(m·s·Pa). (RIL 225-2004 2005; VTT-C-1829-07 2007; RT K-37555 2008.) Uudesta puukuidusta valmistetun, 25...50 mm paksun eristelevyn lämmönjohtavuus λ_{10} vaihtelee kosteuspitoisuudesta riippuen välillä 0,037...0,050 W/(m·K) ja levyjen ilmanläpäisevyys L on 45...50 ·10⁻⁶ m³/(m·s·Pa). (RT K-37006 2005; Vinha 2007.)



Kuva 5.17. Puukuitueristelevy sopii uudis- ja korjausrakentamiseen. Sitä voidaan käyttää lisäeristämiseen esimerkiksi puurakenteissa, joissa on eristeenä sahanpurua. Se soveltuu myös hirsiseinien lisäeristämiseen. (Ekovilla Oy 2010a.)

Huokoinen puukuitulevy, jonka tiheys on 260...280 kg/m³ on edellä mainittuja eristeitä huomattavasti ilmatiiviimpi ja jäykempi. Sen ilmanläpäisykerroin K_a on 15 ·10⁻⁶ m³/(m²·s·Pa), joka lähestyy tuulensuoja- ja ilmansulkutuotteille asetettua ylärajaa. Tiheys kasvattaa levyn lämmönjohtavuutta λ_{10} , joka on noin 0,055 W/(m·K). Levyn vesihöyrynläpäisevyys on samaa luokkaa kuin muilla puukuitueristeillä. Vesihöyrynläpäisykerroin W_p on 1,04 ·10⁻⁹ kg/(m²·s·Pa). Levyä käytetään mm. puu- ja hirsitalon sisäpuoliseen lisäeristämiseen yksin tai yhdessä kuivaruiskutettavan puukuitueristeen kanssa. Tällöin levy toimii rakenteessa sekä lämmöneristeenä että sisäverhouslevynä. (RT 37721 2009.)

Sahanpuru ja kutterinlastu

Aikaisemmin käytettiin yleisesti lautaseinissä eristeenä sahanpurua, kutterinlastua tai näiden sekoitetta (sekoitussuhde 1:1). Konehöylälastua eli kutterinlastua, joka on puhdistettu isommista kappaleista, käytettiin yläpohjissa painotäyteen alla ja seinissä yhdessä sahanpurun kanssa. Seinissä käytettiin sahanpurun ja kutterinlastun seosta, koska seinissä lämmön johtumissuunta on lastun suuntainen ja siksi pelkän kutterinlastun lämmöneristävyys olisi ollut heikko. Yhdistämällä saadaan molempien

materiaalien hyvät ominaisuudet hyödynnettyä, eli sahanjauhon tiivistyvyys ja kutterinlastun huokoisuus ja kimmoisuus kosteuden vaihteluissa. (RIL 155 1984.)

Lämmöneristeenä käytettävän sahanpurun ja kutterinlastun kosteuspiitoisuus saa olla enintään 13 ± 2 painoprosenttia. Märkkää sahanpurua ei saa käyttää, koska purun hidas kuivuminen rakenteessa voi johtaa rakenteen homehtumiseen ja eristeen liialliseen painumiseen. Kosteaa, paksuna kerroksena oleva sahanpuru myös lämpiää ja siinä syntyy hidas palamisreaktio, jonka seurauksena puru tummuu ja kutistuu voimakkaasti.

Painumisen minimoimiseksi eriste on sullottava tavoitetiheyteen, joka tuotteesta riippuen on noin $120 \dots 190 \text{ kg/m}^3$. Sahanpuru painuu ajan kuluessa kasaan, joten sitä pitää lisätä noin joka kahdeskymmenes vuosi, jotta eristyskyky säilyisi samana. (Heino & Sundholm 1995; Kauriinvaha et al. 2001.)

Sahanpurun, kutterinlastun ja niiden sekoitteen lämmönjohtavuus kasvaa selkeästi kosteuspiitoisuuden kasvaessa. Lämmönjohtavuus λ_{10} eristetiheydelle 149 kg/m^3 vaihtelee välillä $0,052 \dots 0,064 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Tasapainokosteudet ovat lähellä massiivipuun arvoja. Kutterinlastulla ja sahanpurulla on muita lämmöneristeitä selkeästi suurempi vesihöyrynvastus, niiden sekoitteen Z_v on $4,20 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Vesihöyrynvastukset ovat suurempia alhaisemmissa lämpötiloissa kuin lämpimämmässä. Sahanpurun ja kutterinlastun sekoitteen diffuusiovastuskerroin μ on 2,3. (Vinha et al 2005; Vinha 2007.)

Pellavaeriste

Pellavaeristeet valmistetaan pellavakuidusta, johon valmistuksen yhteydessä lisätään palonestoaineita. Pellavatuotteiden lämmönjohtavuus kasvaa tiheyden kasvaessa. Irtoeristeiden lämmönjohtavuus λ_{10} muuttuu sullonta-asteesta riippuen keskilämpötilassa $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ välillä $0,039 \dots 0,057 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Levyeristeen (kuva 5.18) lämmönjohtavuus λ_{10} vaihtelee välillä $0,035 \dots 0,041 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Eristeen tiheyden alentuessa lämmönjohtavuus alenee, mutta ilmanläpäisevyys kasvaa. Pellavaeristeen kuivatiheys on sullonta-asteesta riippuen välillä $35 \dots 97 \text{ kg/m}^3$. Pellavatuotteiden ilmanläpäisevyys L vaihtelee sullomattomana välillä $1,2 \dots 8,4 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ ja sullottuna välillä $0,4 \dots 4,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$. Levyn ilmanläpäisevyys L on $230 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$. Pellavaeristeinen rakenne tulee varustaa sisäpinnastaan ilmasululla ja ulkopinnastaan tuulensululla. Ilmanläpäisevyys aiheuttaa eristekerroksessa luonnollisen konvektion, joka heikentää eristeen lämmöneristävyyttä. Ilmanläpäisevyyden lisäksi luonnolliseen konvektioon vaikuttavat lämpötilaerot sekä eristeontelon koko. Laskennallisessa tarkastelussa 200 mm pellavaeristekerroksessa, jonka tiheys on 40 kg/m^3 ja jonka ulko- ja sisäpinnan välinen lämpötilaero on $40 \text{ }^\circ\text{C}$, on konvektiosta aiheutuva lämmönjohtavuuden kasvu $5 \dots 10 \%$.



Kuva 5.18. Vasemmalla hirsien saumoissa käytettävää pellavasta valmistettua nauhaeristettä, jossa näkyvät hyvin pellavan puumaiset kuidut. Vieressä pellavakuiduista valmistettu eristelevy: (Domus Classica Oy Ltd 2010.)

Pellava on hygroskooppinen materiaali, joka hyvän kosteudensitomis- ja luovutuskykynsä ansiosta mukautuu nopeasti ympäröivään kosteustilaan. Pellavan sorptiokäyrä on paino-prosentteina esitettynä muodoltaan samanlainen kuin kuusen sorptiokäyrä ilman suhteelliseen kosteuspitoisuuteen 80 % asti. Tätä korkeammissa kosteuspitoisuuksissa pellavan kosteudensitomis- ja luovutuskyky kasvaa jyrkemmin kuin puulla, koska materiaalipartikkelien väliin kiinnittyy kosteutta. Pienen tiheydensä takia pellava sitoo itseensä vähemmän vettä kuin puu ja sahanpuru. Pellava kestää kertaluonteisia kostumistiloja homeiden kasvuille kriittisissäkin olosuhteissa. Jos kastuminen yli hygroskooppisen kosteuspitoisuuden on jatkuvaa, pellava homehtuu muutamassa päivässä. Pellavalla on korkea alkukosteus, joka suurentaa vaurioitumisriskiä. Homehtumisriski on otettava huomioon pellavan korjuussa ja varastoinnissa. (Rissanen & Viljanen 1998; Vinha et al. 2005.)

Pellavaeristeen kapillaarisuuteen vaikuttaa oleellisesti kuitujen suuntaus. Kuitujen suunnassa kapillarietteettikerroin A_w on noin nelinkertainen verrattuna kuituja vastaan kohtisuoraan mitattuun arvoon. Pellava on kuitenkin hygroskooppisista eristeistä selkeästi vähiten kapillaarinen. A_w kuitujen suunnassa on $0,015 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ ja kohtisuoraan kuituja vastaan on $0,0037 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. (Vinha et al. 2005.) Pellavan vesihöyrynvastus on pieni, Z_v on $2,48 \cdot 10^3 \text{ s}/\text{m}$. Diffusiovastuskerroin μ on 1,4. (Vinha 2007.)

Muita luonnonkuitueristeitä

Viime vuosina on tutkittu mahdollisuuksia hyödyntää erilaisia luonnonkuituja eristemateriaalina. Uusiutuvia, eristeissä käytettäviä luonnonmateriaaleja ovat esimerkiksi kaisla, hamppu, olki, maissi ja lampaanvilla. Eristeissä käytetään rakenteen tukiaineena esimerkiksi puukuitua, biopolymeerejä tai muita muoveja.

Hamppu on nopeasti kasvava puumainen kasvi, josta valmistetaan haketta ja kuitua. Hamppukuidusta valmistetaan eristelevyjä ja -mattoja sekä puhallettavaa

hamppukuitueristettä. Eristelevyssä (kuva 5.19), kuidun tukiaineena toimii polyesteri tai maissista saatava biopolymeeri. Palonkesto-ominaisuudet ja biologinen kestävyys saadaan aikaan soodakylpykäsittelyllä. Hamppu on luonnonkuituna hygroskooppinen materiaali, ja se on materiaaliominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen kuin pellavaeriste. Se läpäisee vesihöyryä hyvin pellavaeristeen tapaan. Diffuusiovastus μ vaihtelee välillä 1...2. Eristeen lämpökapasiteetti c_p on suuri, 1600 J/(kg·K), jolloin eriste pystyy sitomaan ja luovuttamaan lämpöä. Lämpökapasiteetti kasvaa eristeen tiheyden kasvaessa. Lämmönjohtavuus kasvaa ympäristön suhteellisen kosteuden kasvaessa. Irtoeristeen ja eristelevyn, joiden tiheys on 30...42 kg/m³, lämmönjohtavuus λ_{10} on 0,040 W/(m·K). (Deutsche Institut für Bautechnik 2006; Hock GmbH & Co. KG. 2009.)



Kuva 5.19. Hamppueristelevy. (Fermodes Lifestyle Magazin 2010.)

5.8.5. Solumuovilämmöneristeet

Solumuoveiksi kutsutaan muoveja, joilla on solumainen rakenne. Solut voivat olla avoimia (esim. ns. vaahtomuovi) tai suljettuja. Lämmöneristeenä käytetään pääasiassa jäykkiä solumuoveja, joiden avoimien ja suljettujen solujen määrien suhde tunnetaan. Suomessa käytetään lähinnä polystyreeni- ja polyuretaanisolumuoveista valmistettuja lämmöneristeitä. (RIL 155 1984.)

EPS (expanded polystyrene)

EPS on umpisolusta, paisutettua polystyreenimuovia, jonka raaka-aineena ovat pienet lasimaiset ponnekaasua sisältävät polystyreenihelmet. Polystyreenihelmet paisutetaan ponnekaasun ja lämpötilakäsittelyn avulla suuremmiksi ja edelleen muotissa kiinteäksi solupolystyreenikappaleeksi. Polystyreeni-muovi valmistetaan öljystä ja valmiissa EPS-eristeessä muoviraaka-ainetta on n. 2 % eristeen tilavuudesta, loput kokonaistilavuudesta on ilmaa. Valmistuksessa eristeen tiiviyyttä voidaan säädellä polystyreenihelmien raejakaumalla. (EUMEPS 2003.)

Suomessa valmistettavat EPS- lämmöneristeet noudattavat EPS 2000-tuoteluokitusta, joka pohjautuu tuotestandardiin EN 13163 (2010). Tuoteluokituksen mukaan eristeille määritetään käyttökohteen ja eristeen toiminnallisten ominaisuuksien edellyttämät laatuvaatimukset. Tuotemerkin ”EPS 60S Katto” lukuarvo ilmoittaa puristuskestävyyden ja tuotenimike kertoo pääasiallisen käyttötarkoituksen. S kertoo tuotteen olevan vaikeasti syttyvä. Tuoteluokituksen mukaisia tuotteita on ollut markkinoilla 1.1.2000 alkaen ja vaatimukset täyttävälle EPS-eristeille on myönnetty Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tuotesertifikaatti. Tuoteluokituksen seurauksena poistui aiemmin käytössä olleet kirjaintunnisteet. (RT 37790 2009.)

EPS-eristeen lämmöneristävyys perustuu suljetussa solurakenteessa olevan paikallaan pysyvän ilman alhaiseen lämmönjohtavuuteen, joka on +10 °C lämpötilassa $\lambda_{10} = 0,025 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. EPS-eristeiden lämmöneristyskyky paranee lämpötilan laskiessa ja tiheyden ja solurakenteen tiiviiden kasvaessa. Eristeen lämmöneristyskyky heikkenee suhteessa eristeen paksuuden kasvaessa. (EUMEPS 2003.)

Kosteusteknisesti vaativissa olosuhteissa, kuten routaeristyksissä, tulee käyttää käyttötarkoitukseen suunniteltuja, solurakenteeltaan tiiviitä EPS-routaeristeitä. EPS-eriste ei ime kapillaarisesti vettä, mutta pitkäaikaisessa veteen upotuksessa eristeen solujen väliin tunkeutuu vettä 1...5 til- %. EPS-eristeen läpäisee vesihöyryä, eristeen vesihöyrynläpäisevyys δ_p on $2...7 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$. Eristeen kosteuspitoisuus käyttötilassa vaihtelee käyttötarkoituksesta riippuen. Alapohja-, lattia- ja seinärakenteissa kosteuspitoisuus on alle 1 til- % kun taas perustusten sisä- ja ulkopuolisena pystyeristeenä käytettävä EPS-eristeen sekä routaeristeiden kosteuspitoisuus käyttötilassa vaihtelee välillä 2...5 til- %. Maakerrosten välissä olevan routaeristeen kosteusrasitus on suurin. Kosteuspitoisuuden vaikutus eristeen lämmönjohtavuuteen on esitetty taulukossa 5.2. (EPS-rakennuseristeteollisuus 2008; RT 37790 2009.)

Taulukko 5.2. Kosteuspitoisuuden kasvu käyttötilassa nostaa EPS-eristeen lämmönjohtavuutta. (EUMEPS 2003; EPS-rakennuseristeteollisuus 2008.)

Eristetyyppi	Tiheys [kg/m ³]	Lämmönjohtavuus λ_{design} lämpötilassa +10 °C [W/(m·K)]				
		Kosteuspitoisuus tilavuusprosentteina				
		< 1	1	2	5	10
EPS 60S Katto	15	0,039	-	-	-	-
EPS 60S Seinä	15	0,039	-	-	-	-
EPS 100 Lattia	20	0,036	0,037	0,039	0,044	0,054
EPS 200 Lattia	30	0,033	0,034	0,036	0,040	0,049
EPS 120 Routa	22	-	-	0,037...0,041		-

EPS-eristeiden lämmöneristyskykyä voidaan parantaa sekoittamalla polystyreeniin lisäaineita. Grafiittipohjaisten EPS-eristeiden valmistukseen käytetään grafiittia sisältäviä polystyreenihelmiä. Grafiittipartikkelit muodostavat polystyreenin soluissa säteilykatkon absorboimalla ja heijastamalla lämpösäteilyä solujen seiniin, jolloin

lämmön poistuminen soluista hidastuu. Tuotteiden lämmönjohtavuus on siksi parempi kuin perinteisillä EPS-eristeillä. Grafiittia sisältävien, kuvassa 5.20 olevien, EPS-eristelevyjen lämmöneristävyys kasvaa tiheyden kasvaessa. Tiheydeltään 28...45 kg/m³ olevan eristeen lämmönjohtavuus $\lambda_{Declared}$ on 0,030...0,034 W/(m·K). Eristeen vesihöyrynläpäisevyys on sama kuin EPS-eristeellä ja diffuusiovastuskerroin μ noin 33...47. (Fischer 2008; VTT-C-3712-09 2009; VTT-C-3094-08 2010.)



Kuva 5.20. Seinään asennettavan, grafiittia sisältävän EPS-eristelevyn vesihöyrynläpäisevyys δ_p on $5,9 (\pm 1) \cdot 10^{-12} \text{ kg/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}$. Kuvassa tehdään rakennuksen ulkopuolista lisälämmöneristystä. (Fischer 2008; VTT-C-3712-09 2009.)

XPS (extruded polystyrene)

XPS-eristeet ovat suulakepuristamalla polystyreenistä valmistettuja lämmöneristeitä. Suulakepuristusmenetelmässä polystyreenin, paisunta-aineen ja muiden lisäaineiden massa paisuu vapaana korkean lämpötilan ja paineen alaisena. Korkeassa paineessa sulaan massaan liuotetaan hiilidioksidia (paisunta-aine). Materiaalin puristuessa syöttöaukosta hiilidioksidi kaasuuntuu, kun se kohtaa ympäristön ilmanpaineen ja paisunta-aine paisuttaa polystyreenin välittömästi. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry 1984.) Samalla massan lämpötila laskee ja rakenne jäähtyy. Valmistusmenetelmällä on mahdollista säädellä suljettujen kennojen kokoa, suuntaa ja seinämien vahvuutta ja siten eristeen lopullisia ominaisuuksia. Suulakepuristetun polystyreenin solurakenne on yhtenäinen ja täysin suljettu, eikä kennojen välissä ole ilmakäytäviä tai huokosia, joihin kosteus voisi kerääntyä. Solujen koko vaihtelee välillä 0,05...0,5 mm ja soluseinien paksuus on n. 1 μm . XPS-eristeen tilavuudesta 97 % on tyhjää tilaa ja 3 % raaka-ainetta. Solurakenne on hyvin tiivis. (Wolff et al. 2010.)

Valmistusprosessissa levyn pinnalle syntyy yhtenäinen ns. pintanahka, jossa solujen sijasta on yhtenäinen polystyreenikerros, joka hylkii vettä. Vesi ei pääse

tunkeutumaan materiaaliin rikkisahattua pintasolukkoa pidemmälle. Eriste ei ime kapillaarisesti vettä. Pitkäaikaisessa veteen upottamisessa materiaaliin kertyy vettä 0,2...0,3 tilavuusprosenttia. XPS-eristeet eivät käytännössä läpäise vesihöyryä, sillä niiden vesihöyrynläpäisevyys δ_p on $1 \dots 1,6 \cdot 10^{-12}$ kg/(m·s·Pa) tai pienempi. XPS-levyjä voidaan käyttää myös höyrunsulkuna. (Finnfoam Oy 2010b.)

Suulakepuristetun polystyreenin lämmönjohtavuus on pieni, koska solurakenne on tiivis ja suljettu. Lämmönjohtavuus $\lambda_{Declared}$ vaihtelee välillä 0,032...0,037 W/(m·K). Lämmönjohtavuus kasvaa suhteessa eristekerroksen paksuuteen. Levypinnan mahdollinen uritus heikentää rakenteen lämmöneristyskykyä. XPS-eristeet eivät sovellu saunan lämmöneristeiksi, koska niiden ylin käyttölämpötila on +75 °C, jonka jälkeen levy alkaa menettää lujuutensa ja muotonsa. (RIL 107-2000 2009; Finnfoam Oy 2010a.)

PUR/PIR (rigid polyurethane)

PUR/PIR-eristeet ovat kovia, polyuretaanista valmistettuja umpisoluisia solumuovieristeitä. Polyuretaanisolumuovin (PUR) raaka-aineita ovat polyoli, MDI (polymeerinen difenyyylimetaanidi-isosyaniitti) ja ponneaine. PIR-eristeet sisältävät polyuretaanin lisäksi polyisosyanyraattia. (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations 2006.) Ponneaineena käytetään erilaisia ympäristölle vaarattomia hiilivetyjä, tavallisimmin pentaania. Ponneaineena voi myös olla hiilidioksidi (CO₂). Ponnekaasua jää valmistusprosessissa umpinaiisiin soluihin ja vaikuttaen siten eristeen lämmöneristävyysominaisuuksiin. Raaka-aineiden sekoittuessa tapahtuu eksoterminen reaktio, jonka seurauksena alkaa vaahtoaminen lämpötilan noustua yli vaahtotusaineen kiehumispisteen. Vaahto kovettuu muutamassa minuutissa ja saavuttaa lopullisen lujuutensa noin vuorokauden kuluttua. Vaahtotusaineen määrää säätelemällä voidaan vaikuttaa polyuretaanisolumuovin tiheyteen. Polyuretaanisolumuovi on väriltään lähes valkoinen, mutta se muuttuu kellertäväksi, jos pinta altistuu UV-säteilylle, koska UV-säteily vahingoittaa polyuretaanin pintaa. Ennen kovettumistaan polyuretaanimassa on altis tarttumaan lähes kaikkiin pintoihin ja muodostaa pintaan tartuttuaan ohuen yhtenäisen kalvon. (RIL 155 1984; Larsen 2007.)

PUR/PIR-eristeiden lämmöneristyskyky perustuu solujen sisältämän kaasuseoksen lämmöneristyskykyyn. Lämmönjohtavuus riippuu myös solujen määrästä eli materiaalin tiheydestä. Polyuretaanisolumuovieristeen todellista pitkäaikaista lämmönjohtavuutta arvioitaessa on otettava huomioon ilman hidas diffuusio soluihin. Diffuusiota voidaan hidastaa pinnoittamalla eristelevyt diffuusiotiiviillä pinnoitteella, kuten alumiinilaminaatilla. Soluissa tapahtuva diffuusio tasaantuu kolmen ensimmäisen vuoden kuluessa, jonka jälkeen lämmönjohtavuuden muuttuminen on minimaalista. Vanhojen PUR-eristeiden, joiden ponnakaasuna on käytetty triklorfluormetaania, lämmöneristävyys heikkenee 20 % neljän ensimmäisen valmistuksen jälkeisen kuukauden aikana ja 30 % vuoden aikana, mikäli eristelevy ei ole kaasutiiviiden kerrosten välissä. Kuvassa 5.21 olevan diffuusiotiiviillä pinnoitettun

eristeen lämmönjohtavuus λ_{design} on 0,023...0,027 W/(m·K). (RIL 127 1986, Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations 2006; SPU Systems Oy 2009.)



Kuva 5.21. Alumiinilaminaatilla päällystetyn polyuretaanieristeen saumojen tiiviys varmistetaan saumausaineella ja alumiiniteipillä. (SPU Systems Oy 2010.)

Polyuretaanin muodonmuutokset aiheuttaa joko polyuretaanin lämpölaajeneminen tai solujen täytekaasun tilavuuden vaihtelu. Lämpötilan muuttuessa solukaasun paine muuttuu ja kaasun tilavuus kasvaa, jolloin solujen seinämien on oltava riittävän lujat kestämään syntyvät paineenvaihtelut. Polyuretaanin tiheyden tulisi olla vähintään 30 kg/m³ riittävän dimensiostabiiliteetin saavuttamiseksi. Lämpöliikkeiden suuruuteen vaikuttavat tiheyden ja lämpötilan lisäksi eristeen mahdollinen pinnoite ja liittyminen muihin rakenteisiin. Eristettä voidaan käyttää myös saunatiloissa, koska sen käyttölämpötila on +100 °C ja se kestää hetkellisesti suurempiakin lämpötiloja. (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations 2006.)

PUR/PIR-eristeet läpäisevät tiiviin solurakenteensa takia vain vähän vesihöyryä. Eristeiden vesihöyrynläpäisevyys δ_p on 0,1...1,2 ·10⁻¹² kg/(m·s·Pa) ja sitä voidaan käyttää höyrinsulkuna. Eristeen diffuusiovastuskerroin μ on noin 40. Kosteusteknisesti vaativissa olosuhteissa, joissa vesihöyrynpaine on suuri ja kosteuden kulkusuunta on jatkuvasti sama, on syytä käyttää erillistä höyrinsulkua. Pitkäaikaisessa veteenupotuskokeessa diffuusiotiiviillä pinnoitteella päällystettyyn polyuretaanieristeeseen kertyy alle 1,5 til-% vettä, joka imeytyy pintojen leikkauksessa rikkoutuneisiin pintasoluihin. Pinnoittamattomaan polyuretaanieristeeseen kertyy erään tutkimuksen mukaan 2...7 tilavuusprosenttia vettä. Eristeet eivät ime kapillaarisesti

vettä. (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations 2006; SPU Systems Oy 2009.)

5.8.6. Muut lämmöneristeet

Solulasieristyslevyt

Solulasi on lämmöneriste, jonka raaka-aineita ovat hiekka, dolomiitti ja kalkki. Massa sulatetaan korkeassa lämpötilassa ja siitä valmistetaan huokoista lämmöneristettä, jolla on korkea puristuslujuus. Solulasia käytetään, kun eristeeltä vaaditaan vesitiivyyttä, höyryntiivyyttä, korkeaa puristuslujuutta, muodon pysyvyyttä, palamattomuutta ja happojen kestävyyttä. Solulasieristeen lämmönjohtavuus $\lambda_{Declared}$ on 0,035...0,055 W/(m·K). (SFS-EN ISO 40456 2008; RIL 107-2000 2009.)

Kevytsora ja kevytsoramurske

Kevytsoran raaka-aineena on hienojakoinen, kalkkiköyhä savi, jonka tiheys vaihtelee välillä 1700...1800 kg/m³. Savi kuivatetaan, poltetaan ja seulotaan. Muodostuneiden kevytsorarakkeiden tilavuudesta noin 40...50 % on ilmaa. Kevytsorarakkeet ovat täynnä pieniä, suljettuja ilmahuokosia, joten kevytsora on kevyttä ja hyvin lämpöä eristävää. Kuivatetun kevytsorarakkeiden lämmönjohtavuus λ on 0,16...0,19 W/(m·K). Kevytsoratuotteen tiheys vaihtelee välillä 210...510 kg/m³. Keskimääräinen tiheys on noin 280 kg/m³.

Kevytsoran tasapainokosteus vaihtelee käyttökohteen mukaan. Tuuletetuissa ylä- ja alapohjissa tasapainokosteus on noin 0,5 painoprosenttia, maanvaraisissa alapohjissa noin 6 painoprosenttia ja routaeristeenä maarakenteissa 30 painoprosenttia. Maapohjassa eristeenä käytettäessä tulee kevytsoran alle asentaa erillinen kapillaarikatko, koska kevytsora imee kapillaarisesti vettä. (Siikanen 2001.)

5.9. Runkomateriaalit

5.9.1. Yleistä

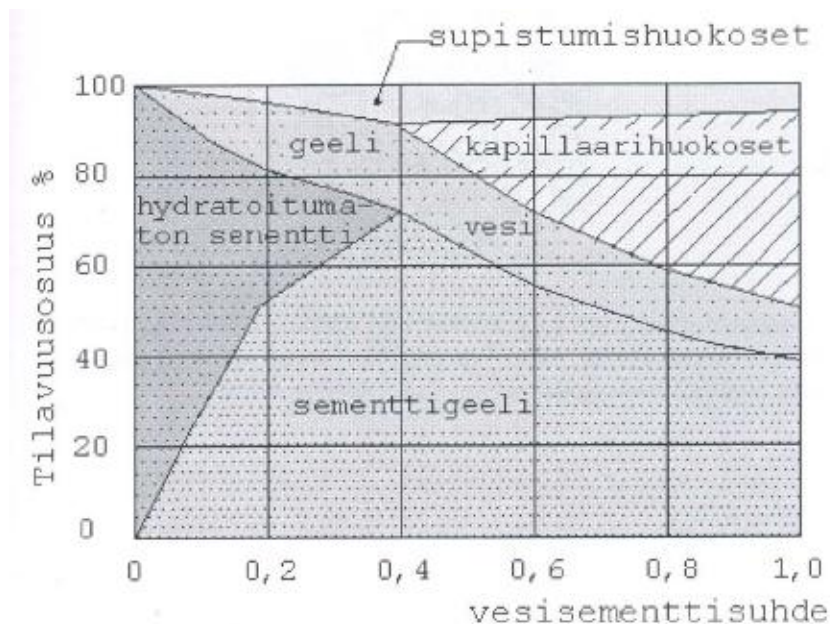
Kantavien rakenteiden suunniteltu käyttöikä on 50 tai 100 vuotta, joskus enemmänkin. Rakenteiden lujuuden ja toiminnallisen varmuuden vuoksi suunnitteluvaiheessa on kiinnitettävä huomiota myös rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimivuuteen. Kantavissa runkorakenteissa käytetään betonia, terästä, erilaisia tiiliä ja harkkoja sekä sahatavaraa, puutuotteita ja hirttä. Rakenne voi olla paikalla rakennettu tai elementtivalmisteinen.

5.9.2. Betoni

Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja runkoaine, joiden lisäksi käytetään lisä- ja seosaineita ominaisuuksien tai työstettävyyden muokkaamiseksi. Runkoaineiden valinnalla ja seossuhteiden määrittämisellä on suuri merkitys betonin kaikkiin ominaisuuksiin. Runkoaineena voidaan käyttää luonnonkiviaineita tai keinotekoisia kiviaineita kuten kevytsoraa, masuunikuonaa, lentotuhkaa tai tiili-, lasi- ja betonimursketta.

Betonin veden- ja kosteudenkestävyys on hyvä, mutta siihen liittyvät rakennusosat ovat yleensä arkoja kosteudelle. Betonin kosteustekniset ominaisuudet määräytyvät betonin huokoisuuden ja huokosjakauman perusteella. Huokosrakenteeseen ja betonin tiiviyteen vaikuttavat mm. betonin vesisementtisuhte, hydratoitumisaste, ilmamäärä ja runkoaineen raekoko. (Pentti & Hyypöläinen 1999.)

Kovettuneessa sementtikivessä vesi on sitoutunut kiinteimmin kemiallisten yhdisteiden molekyyliin ja vähemmän kiinteästi geelihuokosten pinnalle adsorptoituneena. Kapillaarihuokosissa ja suuremmissa huokosissa vesi voi liikkua vapaasti. Sementin täydellisen hydrataation edellyttämä vesimäärä on 40...45 % sementin painosta, kuten nähdään kuvassa 5.22. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)



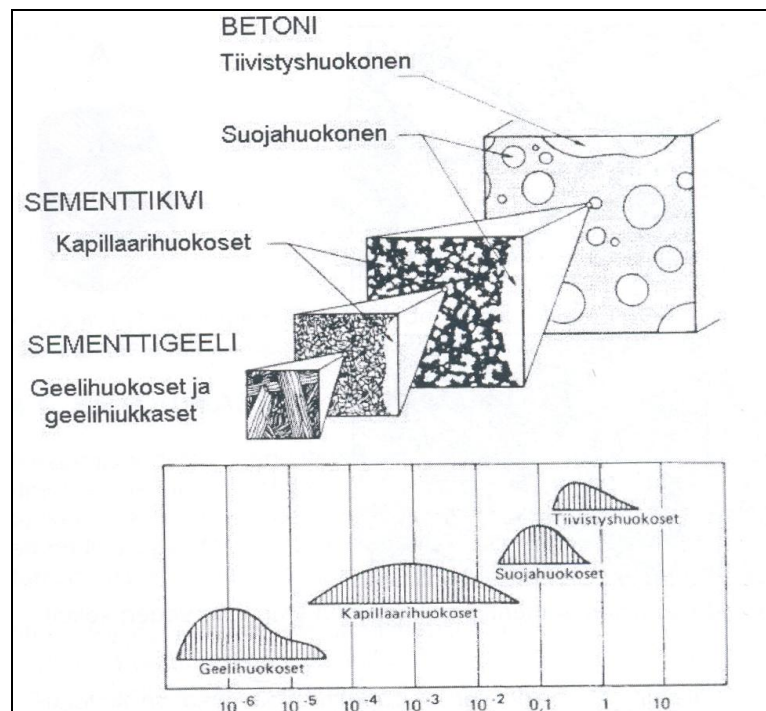
Kuva 5.22. Täysin hydratoituneen sementtikiven rakenne eri vesisementtisuhteilla. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)

Vettä sitoutuu fysikaalisesti kapillaarihuokosiin sekä geelihuokosiin, joista jälkimmäisiä on noin 15 % sementin painosta. Geelihuokoset ovat halkaisijaltaan 0,001...0,002 μm ja niitä on noin 25...30 % sementtigeelin kokonaistilavuudesta. Geelihuokoset ovat yleensä veden täyttämiä ja veden liikkeet huokosissa ovat hyvin hitaita, eikä niissä oleva vesi yleensä jäädy. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)

Betonissa on kapillaarihuokosia sitä runsaammin, mitä suurempi betonin vesisementtisuhde on ja mitä nuorempaa betoni on. Kapillaarihuokosia muodostuu sementtiliimassa olleesta ylimääräisestä vedestä, joka ei ole sitoutunut hydrataatiossa eikä ole joutunut geelihuokosiin. Kapillaarihuokosten koko on luokkaa 1 μm ja niissä oleva vesi pääsee liikkumaan ja jäätymään. Kun niistä muodostuu katkeamaton ketjusto, pääsee vesi imeytymään kapillaarivoimien vaikutuksesta hyvin tehokkaasti betoniin. Imeytyvän veden mukana voi kulkeutua myös betonille haitallisia klorideja ja suoloja. Jos vesisementtisuhde on alle 0,4 ja hydrataatioaste lähenee 100 prosenttia, ei betonissa ole lainkaan kapillaarihuokosia. Yleensä betonin työstettävyys vaatii kuitenkin suuremman vesimäärän käyttöä. Betonin vesisementtisuhteen ollessa alle 0,6 työstettävyysominaisuudet säilyvät hyvinä ja muodostuva kapillaariverkosto ole jatkuva, jolloin veden kapillaarinen liike ole mahdollista. Jos v/s on suurempi kuin 0,7, ei kapillaarihuokosverkosto sulkeudu lainkaan ja betoniin pääsee kapillaarisesti vettä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.) Betonin kapillariteettikerroin A_w on 0,010...0,028 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. (Nevander & Elmarsson 1994.)

Betonissa on lisäksi suojahuokosia, joiden tarkoituksena on parantaa betonin pakkasenkestävyyttä. Kapillaarihuokosissa oleva veden jäätyminen aiheuttama tilavuuden kasvu (sisäinen paine) purkautuu suojahuokosiin ja betoni säilyy jäätyessäänkin ehjänä. Suojahuokokset ovat kooltaan 0,01...0,3 mm ja ne ovat ilmatäytteisiä, koska vesi ei pääse imeytymään niihin niiden suuren koon takia.

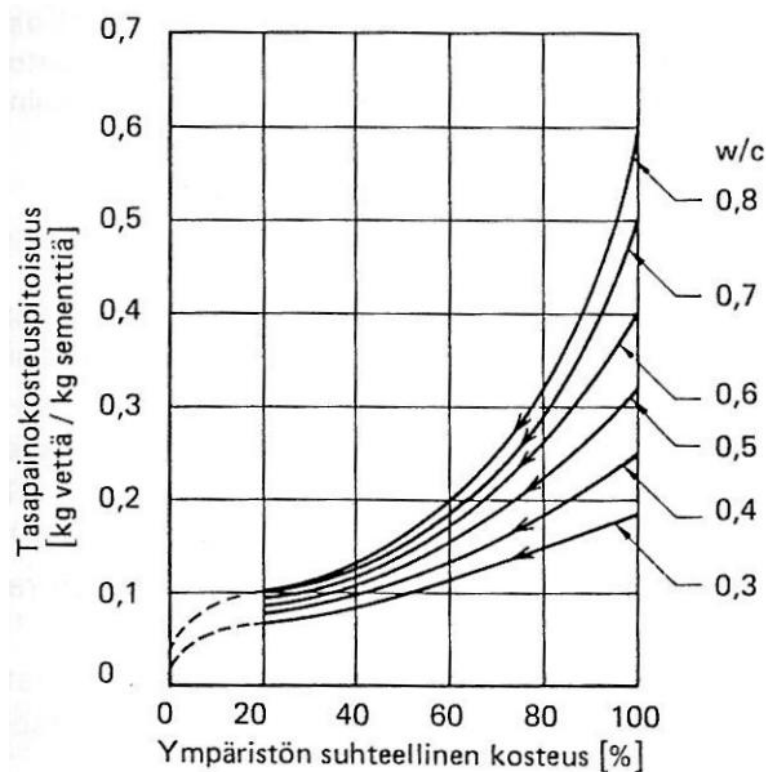
Tiivistyshuokosia syntyy etenkin valun aikana muottia vasten olevissa rajapinnoissa, kun ilma ja vesi betonin täytyksen aikana kerääntyvät muotti- ja betonipinnan rajakohtaan. Tiivistyshuokokset ovat kooltaan 0,2...8 mm. Betonin sisäinen rakenne ja eri huokostyytit on esitetty kuvassa 5.23. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)



Kuva 5.23. Betonin sisäisen rakenteen kaaviokuva (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)

Betonin lämmönjohtavuus λ_{design} kasvaa betonin tiheyden ja raudoitteen määrän kasvaessa välillä 1,15...2,5 W/(m·K). Lämmönjohtavuus on riippuvainen myös kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta. Betonin ominaislämpökapasiteetti c_p on suuri, 1000 J/(kg·K). Betonin kykyä varastoida ja luovuttaa lämpöä voidaan hyödyntää rakennuksen lämmityksessä ja jäädytyksessä. Betonirakenteeseen varautuva termien massa tasaa sisäilmalämpötilan vaihteluita. (SFS-EN ISO 10456 2008.)

Betoni on hygroskooppinen materiaali, jolla on pienen huokoskoon seurauksena korkea hygroskooppinen tasapainokosteus. Tasapainokosteus on painoprosentteina suurempi tasapainotilan syntyessä kuivumisen seurauksena kuin kosteuden lisääntymisen seurauksena. Kuvassa 5.24 on esitetty vesi-sementtisuhteen vaikutus kuivuvan betonin tasapainokosteuteen. Betonin vesihöyrynläpäisevyys on pieni ja se riippuu huokosrakenteen ja tiiviiden lisäksi betonin kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta. Betonin K30...K40 vesihöyrynläpäisevyys δ_v on $0,12...4,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ja 100 mm paksun betonikerroksen vesihöyrynvastus Z_v on $30...1000 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Betoni on käytännössä ilmatiivis. (Nevander & Elmarsson 1994; Pentti & Hyyppöläinen 1999; Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)



Kuva 5.24. Kuivuvan betonin suhteellisen kosteuden ja tasapainokosteuden välinen riippuvuus, kun betonin vesi-sementtisuhte vaihtelee välillä 0,3...0,8. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001).

Betonin katsotaan oleva vedenpitävää, mikäli vedentunkeumaluku on pienempi kuin 1. Paineellisen veden tunkeumasyyvyys testataan standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti.

(RIL 107-2000 2009.) Jotta betonista saataisiin vedenpitävää, tulee vesisementtisuhteen olla alle 0,6 ja hienoainesten, eli sementin ja fillerin määrien tulee olla sellaiset, että kiviainesrakeiden väleihin jäävät tilat täyttyvät. Betonoinnissa betoni tulee tiivistää kunnolla, jotta rakenteeseen ei jää harvavalua. Lujuusluokan tulee olla vähintään K30 ja betonin jälkihoidon tulee olla tehokas ja riittävän pitkä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)

Kovettunut betoni kutistuu kuivuessaan ja paisuu jälleen kostuessaan. Yleensä nämä muodonmuutokset ovat palautuvia lukuun ottamatta osaa ensimmäisen kuivumisen aikana tapahtuvasta kutistumasta. Kuivumiskutistuminen johtuu betonin pinnalla kuivuvan ja haihtuvan veden aiheuttamasta imuvoimasta, joka pakottaa veden poistumaan geelihuokosista. Geelihiukkasten välit ja geeli kutistuvat pakottaen betonin kutistumaan. Poistuva vesi pienentää betonin tilavuutta, mikä johtaa kutistumaan. Lämpötilan nostaminen nopeuttaa huokosveden poistumista. Täysin hydratoituneiden, ohuiden, esim. julkisivulaattojen toispuoleisen kuivumisen aiheuttama muodonmuutos palautuu, jos betonipinta kostutetaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2001.)

5.9.3. Kevytbetoni

Karkaistua kevytbetonia valmistetaan sementistä, hiekasta ja masuunikuonasta. Massa valetaan muotteihin, joihin lisätään alumiinijauhetta. Alumiinijauhe saa aikaan kemiallisen prosessin, jossa kehittyy vetykaasua ja massa huokoistuu, jolloin sen tilavuus moninkertaistuu. Massan jäykistyttyä se paloitellaan haluttuihin kappaleisiin ja höyrykarkaistaan autoklaavissa, jolloin sideaine hydratoituu lähes täydellisesti ja harkko saavuttaa lopullisen lujuutensa. Kevytbetonista valmistetaan harkkoja (kuva 5.25), eriste- sekä muita elementtejä. (H+H Finland Oy 2010.)

Kevytbetoniharkkojen kuivatiheys on 400...500 kg/m³. Kevytbetonin tasapainokosteus on suuri pienten huokosten määrän ja siten suuren ominaispinta-alan vuoksi. Kevytbetoniharkot sisältävät valmistuksen jälkeen noin 30...40 painoprosenttia kosteutta ja siksi esimerkiksi kuivatiheydeltään 500 kg/m³ olevan kevytbetoniharkon (kuva 4.26) toimituspaino on 700 kg/m³. Pienestä huokoskoosta ja suuresta rakennepaksuudesta johtuen kosteus poistuu hitaasti seinärakenteesta. Rakennusaikana kertyneen kosteuden kuivumisen nopeuttamiseksi rakenteen olisi hyvä antaa kuivua mahdollisimman pitkään ennen pinnoittamista. (H+H Finland Oy 2010.)



Kuva 5.25. Kevytbetoniharkko.(H+H Finland Oy 2010.)

Kevytbetonin vesihöyrynläpäisevyys on suuri ja se kasvaa kosteuspitoisuuden noustessa. Vesihöyrynläpäisevyys δ_p on 1,8...6,3 kg/(m·s·Pa). (Kumaran 1996.) Kevytbetoni imee myös kapillaarisesti vettä. Kapillaarinen imu hidastuu voimakkaasti vesimäärän ylittäessä 55 painoprosentin. Kosteudenmuodonmuutos on noin 0,4 mm/m, kun kosteuspitoisuus alenee veden kyllästämästä tilasta (60 painoprosenttia) tasapainotilaan huoneilmassa (3...4 painoprosenttia). Jos tasapainokosteus on alle 3...4 painoprosenttia, niin kevytbetonin kutistuma lisääntyy huomattavasti.

Kevytbetoniharkot toimivat seinärakenteessa sekä runkomateriaalina, että lämmöneristeenä, sillä harkkojen lämmönjohtavuus on pieni verrattuna muihin runkomateriaaleihin. Mitattu lämmönjohtavuus λ_{10} kuivalle kevytbetoniharkolle on 0,098 W/(m·K). Kosteus lisää lämmönjohtavuutta, koska vesi korvaa osan huokosten ilmatilavuudesta. Myös lämpötilan nousu lisää lämmönjohtavuutta. (Höyhty & Vänttinen 1989; VTT C260/03 2008.)

5.9.4. Kevytsorabetoni

Kevytsorabetonin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat hyvä lujuus ja betoniin verrattuna harkkojen keveys. Kevytsorabetonin raaka-aineita ovat kevytsora, sementti ja vesi. Sementtiä on kevytsorabetonissa enemmän kuin lujuudeltaan vastaavassa betonissa. Massoista 650 kg/m³ ja 950 kg/m³ valmistettavia kevytsorabetoniharkkoja käytetään kantaviin ja eristäviin rakenteisiin. Tiheydeltään 400...550 kg/m³ harkkoja käytetään pääasiassa lämmöneristeenä. Kuvan 5.26 harkkoja käytetään perustuksissa ja väliseinärakenteissa, sekä kylmien tuotantorakennusten, varastojen ja autotallien rakentamiseen. Lisäksi kevytsorabetonista valmistetaan eristeharkkoja, joiden välissä on polyuretaania tai paisutettua polystyreeniä. (Siikanen 2001; Lakan Betoni Oy 2008.)



Kuva 5.26. Perustusten muuraamiseen tarkoitettu kevytsorabetoniharkko. (Lakan Betoni 2008.)

Perusharkot ovat palamattomia, säänkestäviä ja niiden huokoisuus on noin 60...80 tilavuusprosenttia. Kevytsorabetonin runkoainesrakeet ovat sementtiliiman täyttämät ja siksi rakenne on hyvin tiivis. Harkkojen huokosrakenne on suljettu, minkä takia kapillaarinen vedenimu on hyvin vähäistä. Siksi harkkoja käytetään usein varsinkin pientalojen perustuksissa. Kevytsorabetoniharkkojen vesihöyrynläpäisevyys δ_p on 20...42 $\cdot 10^{-12}$ kg/(m·s·Pa). Kevytsorabetoniharkkoista rakennetun rakenteen tasapainokosteus vaihtelee välillä 2...10 painoprosenttia. Ulkoseinärakenteissa tasapainokosteus vaihtelee välillä 2...6 painoprosenttia ja perustuksissa ja perusmuureissa 6...10 painoprosentin välillä. Harkon eri puolilla vallitsevat erilaiset kosteusolot saattavat aiheuttaa hiushalkeamia. Kevytsorabetonin kuivumiskutistuma on 0,6 mm/m, kun harkkomuurin kosteuspiitoisuus muuttuu välillä 15...4 painoprosenttia. (Höyhty & Vänttinen 1989; Siikanen 2001.)

Kevytsorabetoniharkkojen lämmöneristävyys on melko hyvä verrattuna muihin runkomateriaaleihin. Kevytsorabetonin lämmönjohtavuus λ_{10} on luokkaa 0,20...0,64 W/(m·K) ja harkkojen, joiden tiheys on 650 kg/m³, lämmönjohtavuus λ_{10} vaihtelee saumaustavasta riippuen välillä 0,21...0,25 W/(m·K). Kevytsorabetonilla on myös korkea ominaislämpökapasiteetti c_p , 840...1050 J/(kg·K). (Kumaran 1996; Lakan Betoni Oy 2008.)

5.9.5. Tiilet

Tiilet valmistetaan savesta polttamalla. Suomessa valmistetun tiilikiven pääraaka-aine on yleensä suomalainen savi, joka sisältää kvartssia, maasälpää, amfibolia ja erilaisia savimineraaleja. Tiilimassaan lisätään lisäaineita, kuten 10...15 painoprosenttia hiekkaa ja julkisivutiilimassoihin 1...1,5 painoprosenttia sahanpurua. Tiiliäihiot poltetaan +950...+1200 °C lämpötilassa, jolloin savesta syntyy keraaminen tuote, tiili. Tiilen tiheys kasvaa +900 °C polttolämpötilasta lähtien, koska polttokutistuma pienentää tiilen

tilavuutta. Tiilen tiheys on noin $1470...1900 \text{ kg/m}^3$. Poltossa tiileen muodostuu avoimia ja suljettuja huokosia, joista jälkimmäiset syntyvät sahanpurun palaessa pois. Suljettu huokoisuus parantaa mm. tiilen pakkasenkestävyyttä. Avoimilla huokosilla on yhteys tiilen pintaan. (Höyhty & Vääntinen 1989; Nevander & Elmarsson 1994.)

Huokokset voidaan jakaa halkaisijan koon mukaan gravitaatiohuokosiin (yli $10 \mu\text{m}$), kapillaarihuokosiin ($1...10 \mu\text{m}$) ja adsorptiohuokosiin (alle $1 \mu\text{m}$). Tiilen huokoisuus vaihtelee välillä $10...50 \%$ siten, että korkean polttoasteen kivillä huokoisuus on pienempi ja huokoskoko suurempi. Mitä korkeammassa lämpötilassa tiilikivi on poltettu, sitä suurempi on tiilen suurten kapillaarihuokosten ($>1 \mu\text{m}$) osuus. Suurin osa tiilen huokosista on kapillaarihuokosia, josta seuraa tiilen suuri vedenimuneisuus ja kosteuden johtavuus. Tiilen kapillariteettikerroin A_w vaihtelee välillä $0,37...0,09 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Tiilen vedenimukyky on noin $7...20$ painoprosenttia. Vedenimukyky mittaa tiilen avointen huokosten määrää.



Kuva 5.27. Tiilikuorimuurin ja mineraalivillaeristeen välissä tulee olla vähintään 40 mm tuuletusrako, kuten kuvassa. Käytännössä tuuletusraon toteuttaminen voi olla haastavaa, koska laastipurseet saattavat tukkia raon.

Käytännössä tiilestä rakennetun julkisivumuurin vedenimukyky ja -nopeus ovat niin suuret, että tavallisella viistosateella lähes kaikki seinäpintaan tuleva sadevesi imeytyy rakenteeseen. Vesi imeytyy nopeasti varsinkin saumojen kautta. Saumojen osuus tiilikuorimuurin pinta-alasta kasvaa käytettäessä pinta-alaltaan pienempiä tiiliä. Tiilikuorimuurirakenteiden kosteustekninen toiminta tuleekin varmistaa kerrostalojen ulkoseinä rakenteissa vähintään 40 mm tuuletusrakolla, kuten kuvassa 5.27. Pientaloissa käytetään 30 mm tuuletusrakoa. Toisaalta rakenteissa oleva kosteus tiivistyy

ulkomuurin kylmään sisäpintaan, jolloin ulkomuuri imee kosteuden kapillaarisesti ja haihduttaa sen ulkoilmaan. (Pentti 1988; Höyhty & Vääntinen 1989; Nevander & Elmarsson 1994.)

Kastuminen ja kuivuminen aiheuttavat poltetusta tiilestä rakennetulle tiilimuurille noin 0,1 mm/m suuruisen muodonmuutoksen. Suomalaisesta savesta valmistettujen tiilien kosteusmuodonmuutokset ovat pieniä verrattuna monien muiden maiden (esim. Englanti, Australia) tiiliin. Englannista tuotua savea käytetään jonkin verran tiilien valmistuksessa Suomessa. Tiilen pituuden lämpölaajenemiskerroin on melko pieni, $5 \dots 6 \cdot 10^{-6}$ 1/K. Märkinä tiilen muodonmuutoksiin vaikuttaa huokosissa olevan veden jäätymlaajenema 9 % ja jään pituuden lämpölaajenemiskerroin $50 \cdot 10^{-6}$ 1/K. Siksi suuri adsorptio- ja kapillaarihuokoisuus ovat haitallisia tiilen sään- ja pakkasenkestävyydelle. Vedellä kyllästetyn tiilen jäätymlaajenema on noin 0,2 mm/m.

Tiilen tasapainokosteus vaihtelee täyskivillä alueella 0,2...1,0 painoprosenttia ja reikäkivillä 0,8...1,5 painoprosenttia. Tiilen vesihöyrynläpäisevyyden suuruus riippuu voimakkaasti tiilen polttolämpötilasta. Vesihöyrynläpäisevyys δ_v on $2,7 \dots 5,5 \cdot 10^{-6}$ m²/s. Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin μ on melko pieni, 5...9. (Pentti 1988; Nevander & Elmarsson 1994.)

Tiilen lämmönjohtavuus riippuu tiheydestä ja reikäisyydestä siten, että reikätiilen lämmöneristysominaisuudet ovat paremmat kuin täyskiven. Tiilen lämmönjohtavuus λ_{design} on 1,3 W/(m·K). Tiilen lämpökapasiteetti on melko suuri, 800 J/kg·K, eli massiiviset tiilirakenteet varaavat lämpöenergiaa. (EN-ISO 10456 2008.)

Mitä korkeammassa lämpötilassa tiili on poltetu, sitä pienempi on sen ilmanläpäisevyys. Ilmanläpäisevyys L vaihtelee välillä $0,005 \dots 0,5 \cdot 10^{-3}$ m³/(m·s·Pa), kostea tiili ei läpäise lainkaan ilmaa. (Höyhty & Vääntinen 1989; Nevander & Elmarsson 1994.)

Kalkkhiiekkatiili eli kalkkhiiekkakivi

Kalkkhiiekkatiilen raaka-aineita ovat kvartsipitoinen hiekka, kalkki ja vesi. Tiiliaihoiden valmistuksen jälkeen ne höyrykarkaistaan autoklaavissa. Hiekan pinnassa oleva piihappo liukenee +200 °C lämpötilassa ja sitoutuu kalkin kanssa liukenemattomaksi, kidemäiseksi kalsiumhydroksidisilikaatiksi. Kalsiumhydroksidisilikaatti ympäröi ja kiinnittää hiekkarakeet toisiinsa, jolloin kalkkhiiekkatiili saavuttaa lopullisen lujuutensa. Värilliset tiilet valmistetaan lisäämällä massaan pigmenttiä. Täystiilen tiheys on 1700...1900 kg/m³ ja isompien, julkisivuissa käytettävien harkkojen 1560...1600 kg/m³. (RT F-37387 2007.)

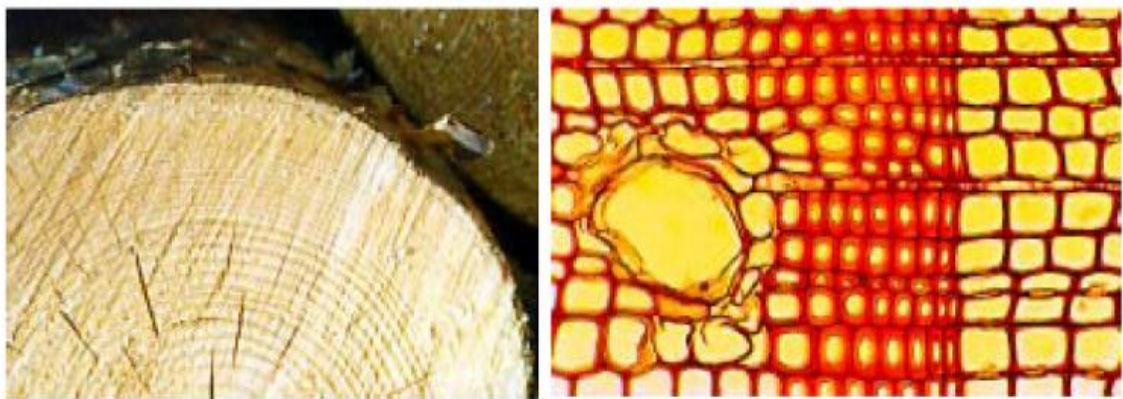
Kalkkhiiekkatiilet kestävät hyvin kosteutta. Kalkkhiiekkatiilen huokoisuus vaihtelee välillä 20...35 %. Huokoset ovat runkoaineiden välisiä ilmaonteloita, joiden läpi kulkee neulamaisia ja levymäisiä kiteitä. Huokosjakauma on sellainen, että pienten, 0,01...0,1 µm huokosten osuus koko huokostilavuudesta on suuri. Siten kalkkhiiekkatiilen hygroskooppinen tasapainokosteus on korkea ja kapillaarinen vedenimu pieni verrattuna tiileen. Kalkkhiiekkatiili imee kapillaarisesti suhteellisen hitaasti vettä. Mittauksissa kalkkhiiekkatiilen kosteuspitoisuuden on todettu olevan

maksimissaan noin 4 painoprosenttia. Kosteuden aiheuttama pituuden muutos on noin 0,2 mm/m, kun kalkkihiekkatiilen kosteuspitoisuus muuttuu kuivasta täysin vedellä kyllästetyksi. (Pentti 1988; Höyhtyä & Vääntinen 1989.) Kalkkihiekkatiilen ja harkon diffuusiovastuskerroin μ pienenee kosteuspitoisuuden noustessa, μ vaihtelee välillä 5...25.

Kalkkihiekkatiilen mitattu lämmönjohtavuus λ_{10} on 0,64 W/(m·K). Lämmönjohtavuus riippuu tiheydestä, kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta. Lämpölaajenemiskerroin on hieman suurempi kuin tiilellä, $8 \cdot 10^{-6}$ 1/K. (RT F-37387 2007; maxit Oy Ab 2009.)

5.9.6. Puu ja sahatavara

Puulle ja sahatavaralle on ominaista sen ominaisuuksien vaihtelu. Puu on anisotrooppinen materiaali, eli sen koostumus eri suunnissa on erilainen. Esimerkiksi pintapuu on pehmeää ja sydänpuu kovaa ja kestävä. Puun vuosirenkaat koostuvat vaaleasta kevätpuusta ja tummemmasta kesäpuusta, kuten kuvassa 5.28. Kesäpuun soluseinät ovat paksumpia ja siksi paljon kesäpuuta sisältävä puu on ominaisuuksiltaan kestävämpää ja lujempaa. Eri puulajeilla on erilainen solurakenne ja kemiallinen koostumus. Selluloosan, ligniinin, hemiselluloosan sekä uuteaineiden määrät ja koostumukset vaihtelevat puulajeittain. Eroja on myös havu- ja lehtipuiden välillä. Käytännössä myös samassa rungossa tai puutavarassa voidaan havaita poikkeamia. Puuta käytetään runkorakenteissa monipuolisesti, koska se on kevyt, luja ja helposti käsiteltävää. (Kokko et al. 1999.)



Sydänpuu

Pintapuu

Kevät puu

Kesäpuu

Kevät puu

Pihkahuokonen

Kuva 5.28. Poikkileikkauskuva tuoreesta mäntytukista sekä mikroskooppikuva männyn solurakenteesta. Ohutseinäiset kevätpuusolut syntyvät puun kasvun alkaessa keväällä ja paksuseinäiset kesäpuun solut syntyvät myöhemmin (Kokko et al. 1999).

Puun solut ovat putkirakenteita, joiden pituus on 1...9 mm ja halkaisija on 0,01...0,3 mm. Puun huokosrakenne antaa puulle lämpöä eristäviä ominaisuuksia.

Lämmönjohtavuus riippuu puun tiheydestä, lämpötilasta ja syitten suunnasta. Kuusen lämmönjohtavuus λ_{10} kohtisuoraan syitä vastaan on 0,13 W/(m·K) ja syiden suuntaan 0,30 W/(m·K). Mänty saa lähes vastaavia lämmönjohtavuuden arvoja. Puun lämmönjohtavuus kasvaa tiheyden kasvaessa. Suomalaisen puun tiheys vaihtelee välillä 450...700 kg/m³. Kantavissa rakenteissa käytettävän sahatavaran tiheys on noin 460...480 kg/m³. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona edellä mainituille tiheyksille voidaan käyttää λ_{design} arvoa 0,12...0,18 W/(m·K). Lämpölaajenemiskerroin kuuselle ja männylle syiden suuntaan on 3...5 ·10⁻⁶ 1/K. Puun lämpölaajeneminen on vähäistä verrattuna kosteuselämiseen. (Nevander & Elmarsson 1994; SFS-ISO EN 10456 2008; RT 37933 2010.)

Puun tasapainokosteus on korkea. Puun hygroskooppisuutta voidaan pysyvästi pienentää altistamalla puu korkeille lämpötiloille. Kosteus ei suoraan vahingoita puuta, mutta se heikentää puun lujuutta ja lämmöneristävyyttä ja se on edellytys biologisille ja kemialliselle turmeltumiselle. Vaihteleva kosteus aiheuttaa halkeilua ja muodonmuutoksia. Puun anisotrooppisesta rakenteesta johtuen kosteuden aiheuttamat muodonmuutokset (kutistuminen ja turpoaminen) ovat eri suunnissa erilaisia. (Ehoniemi & Lindberg 1989.)

Puun kapillaari-imu syiden suuntaan on voimakkaampaa. Kapillariteettikerroin A_w kohtisuoraan syitä vastaan on 0,004 kg/(m²·s^{0,5}) ja syiden suuntaan 0,016 kg/(m²·s^{0,5}). Tuoreessa puussa vettä on kapillaarisesti sitoutuneena soluonteloissa ja sidottuna soluseinämissä. Puu imee voimakkaasti kapillaarisesti vettä, mutta hyvän kapillaari-imun vuoksi puu myös kuivuu nopeasti. Puun kuivuessa poistuu ensin soluonteloiden irtain vesi ja vasta sen jälkeen alkaa soluseinämiin sidotun veden haihtuminen. (Ehoniemi & Lindberg 1989; Nevander & Elmarsson 1994.)

Elävän tai vastakaadetun pintapuun kosteuspitoisuus vaihtelee välillä 120..180 % kuivapainosta. Vesimääränä tämä vasta noin 500...800 litraa vettä kuutiossa puuta, jonka tiheys on 460 kg/m³. Puun tiheys vaikuttaa puun maksimaaliseen kosteuspitoisuuteen siten, että tiheämpään puuhun mahtuu vettä vähemmän kuin huokoisempaan. (Ehoniemi & Lindberg 1989; SFS-ISO EN 10456 2008.)

Puun vesihöyrynläpäisevyys on pieni ja se kasvaa jonkin verran kosteuspitoisuuden kasvaessa. Vesihöyrynläpäisevyys δ_v vaihtelee välillä 0,2...3,5 ·10⁻⁶ m²/s ja δ_p saa arvoja välillä 1,5...25,9 ·10⁻¹² kg/(m·s·Pa). Männylle, jonka tiheys on 532 kg/m³ on mitattu vesihöyrynvastus Z_v arvoksi 18,1 ·10³ s/m ja diffuusiovastuskertoimeksi μ 49. Diffuusiovastuskerroin μ kasvaa puun tiheyden kasvaessa ja pienee kosteuspitoisuuden kasvaessa. Alle 70 % RH kosteudessa μ saa arvoja 50...200 ja yli 70 % RH kosteudessa vaihteluväli on 20...50. (Nevander & Elmarsson 1994; Vinha 2007; SFS-ISO EN 10456 2008.)

5.9.7. Puutuotteet

Hirsi

Hirrellä tarkoitetaan massiivipuista pyörö- tai höylähirttä, joka on valmistettu yhdestä puusta sekä lamellihirttä, joka koostuu useammasta yhteen liimatusta puulamellista. Hirret ovat yleensä mäntyä, kuusta käytetään vähemmän. Massiivipuinen höylähirsi on käytössä kestävämpää kuin pyöröhirsi, koska pyöröhirren uloimpana pintana on pehmeä, uusin puuaines.

Hirsiseinä absorboi tehokkaasti auringon lämpösäteilyä. Massiivisuudella on huomattava lämmönkulutusta pienentävä vaikutus, joka perustuu massan kykyyn varastoida lämpöä ja luovuttaa sitä n. 8...12 tunnin aikaviiveellä kylmempänä vuorokaudenaikana. Hirrelle voidaan käyttää samaa ominaislämpökapasiteettia c_p kuin puulle, 1600 J/(kg·K). Hirsiseinän lämmönjohtavuutena λ_{design} tiheyksillä 350...500 kg/m³ voidaan käyttää arvoa 0,13 W/(m·K). Lämmönjohtavuuteen vaikuttaa hirren tiheys ja paksuus. Hirsiseinän lämmöneristävyyttä heikentävät hirsien saumojen rakovirtaukset. (Ehoniemi & Lindberg 1989; Nevander & Elmarsson 1994; SFS 5973 2010.)

Hirsirunkoon käytettävän hirren keskimääräinen kosteuspitoisuus ei saa ylittää pyöröhirsillä 26 % ja kulmikkailla hirsillä 24 % kuivapainosta. Massiivihirsi sitoo ja luovuttaa kosteutta ympäristössä vallitsevien olosuhteiden mukaan. Hirsiseinän, jonka paksuus on 210 mm ja toimituskosteus 20 %, kuivuminen tasapainotilaan kestää neljästä viiteen vuotta. Kuivuminen on nopeinta kahtena ensimmäisenä vuonna. Tasapainotilaan kuivuneen hirren keskimääräinen kosteuspitoisuus lämmityskaudella on pohjoisseinällä noin 14 % ja eteläseinällä noin 13 % kuivapainosta. Paksun hirren kosteuspitoisuus keskisyvytydessä on vuodenajasta riippumatta lähes vakio 13...14 % kuivapainosta. Massiivihirrestä valmistetun ulkoseinän kosteuspitoisuus vaihtelee vuositasona noin 5 cm paksuissa pintakerroksissa kummallakin puolella. Ulkopuolen kosteus on ylimmillään tammi-helmikuussa ja vastaavasti alimmillaan heinäkuussa. Sisäpuolen kosteusmaksimi saavutetaan heinä-elokuussa ja minimi maaliskuussa. Sisäpuolisen pintapuun tasapainokosteus muuttuu 8 %:sta 15 %:iin sisäilman suhteellisen kosteuden vastaavasti vaihdeltaessa välillä 20 % (talvella) ja 65 % (kesällä). Muutokset tasapainokosteudessa näkyvät mm. hirren halkeamien koon muutoksina. Hirsien kuivumisesta johtuvat halkeamat eivät ulotu hirren lävitse, eikä niillä ole vaikutusta hirsiseinän tiivyyteen. (Ehoniemi & Lindberg 1989; SFS 5973 2010.)

Hirsirakenne painuu rakennuksen valmistumisen jälkeen hirsityypistä riippuen n. 20...40 mm korkeusmetriä kohden, josta noin 15 mm/korkeusmetri johtuu puun kuivumisesta, koska puu kuivuessaan kutistuu. Hirsiset väliseinät painuvat noin 10 mm enemmän pienemmän kosteuspitoisuuden vuoksi. Lisäksi kuormitus ja hirsiseinän saumojen tiivistyminen aiheuttavat painumista. Vuodenaikojen mukainen suhteellisen kosteuspitoisuuden vaihtelu aiheuttaa hirsiseinissä painumisen lisäksi kohoamista. Kosteuden aiheuttama sisäseinien korkeuden muutos on noin 9 mm/korkeusmetri.

Hirren vesihöyrynläpäisevyys vaihtelee kosteuspitoisuuden mukaan, kuten sahatavarallakin. Hirren läpi tapahtuva diffuusio on melko hidasta. Hirsien diffuusiovastuskertoimena μ voidaan käyttää arvoa 70, ellei hirren tiheyttä ole määritetty. Jos hirren tiheys tunnetaan, μ voidaan määrittää standardissa SFS 5973 (2010) annetulla kaavalla.

Kosteus voi siirtyä hirsirakenteessa konvektion mukana mm. hirsien saumakohdista, sekä ikkunoiden, ovien, ylä- ja alapohjan sekä seinien välisistä liitoksista. Massiivirakenteiset ulkoseinät toimivat turvallisesti, koska niissä ei ole rakennekerrosten välisiä rajapintoja, joihin kosteus voisi tiivistyä. Jos massiiviseen halutaan asentaa lisälämmöneriste ja lisäeristys tehdään ulkopuolelle käyttäen avoahuokoista lämmöneristettä, rakenteen kosteustekninen toiminta yleensä paranee. Samalla kuitenkin menetetään merkittävä osa rakenteen lämmönvarauskyvystä, koska auringonsäteily ei pääse lämmittämään hirsiseinän pintaa. Erään tutkimuksen mukaan lisäeristys hirsiseinän sisäpuolella heikentää rakenteen kosteusteknistä toimintaa ja kondenssiriskiä myös siinä tapauksessa, että rakenteen sisäpinnassa on höyrynsulkumuovi. (Vinha et al. 2008.)

Liimapuu ja kertopuu

Liimapuuta käytetään kantavissa rakenteissa pilareina ja palkkeina (kuva 5.29). Liimapuu koostuu höylätyistä, toisiinsa liimatuista puun syiden suuntaisista puulamelleista. Liimapuun valmistuksessa käytetään kuusi- ja mäntysahatavaraa. Valmistuksessa käytettävät liimat vaikuttavat lämpö- ja kosteusteknisiin ominaisuuksiin. Yleensä liimana käytetään refenoliresorsinoliimaa säänkestävää melamiiniliimaa. Liimapuupalkin pinta on aina tehtaalla käsitelty jollakin pinnoitteella, kuten puusuoja-aineella tai lakalla, joka estää liian nopeasta kuivumisesta aiheutuvia halkeamia. Liimapuun tiheys on 410...470 kg/m³. (RT 37933 2010.)



Kuva 5.29. Liimapuupalkin lamellit järjestäytyvät siten, että uloimpina pintoina on kovaa sydänpuuta. (finnforest 2009a.)

Kertopuu on havupuuviluista yhteen liimaamalla valmistettu puulevy, -palkki tai -tolppa. Kertopuupalkin ja -levyn tiheys on 480...510 kg/m³ ja kertopuutolpan on 410...440 kg/m³. Kertopuutuotteet ovat lujia, tasalaatuisia ja käsittelemättöminä säänkestävyydeltään verrattavissa kuusisahatavaran ominaisuuksiin. Kertopuutuotteille

voidaan käyttää standardissa SFS-EN 12524 puulle ilmoitettuja lämmönjohtavuuden λ_{design} arvoa 0,13 W/m·K, joka on sama myös liimapuulle. Kertopuulevyn diffuusiovastuskerroin μ paksumpaan suuntaan on 62, leveään suuntaan 9,5 ja puun syiden suuntaisesti 4,7. Kertopuupalkin diffuusiovastuskerroin μ paksumpaan suuntaan on 80, leveään suuntaan 82 ja puun syiden suuntaisesti 3,9. Diffuusiovastuskertoimien erot eri suuntiin aiheuttaa viilujen syiden suuntautuneisuus (kuva 5.30). (VTT 184/03 2009; RT 37933 2010.)



Kuva 5.30. Kertopuulevyssä (vasemmalla) viidennes puuviiluista on poikittaisia. Kertopuupalkissa ja -runkotolpassa viilujen syysuunta on pitkittäinen kaikissa kerroksissa. (finnforest 2009b.)

Molempien tuotteiden kosteusmuodonmuutokset ovat pienemmät kuin sahatavaralla, mutta puun tapaan ne kutistuvat kuivassa ja paisuvat kosteassa. Kosteusmuodonmuutokset tulee huomioida mm. liitosten suunnittelussa. Liimapuupalkin toimituskosteus on 12 % kuivapainosta ja kertopuun toimituskosteus on 8...10 % kuivapainosta. (RT 37933 2010.)

CLT (Cross-laminated timber) monikerroslevy

CLT- monikerroslevy on puulamellilevyjä ristikkäin laminoimalla valmistettu massiivipuulevyelementti, jota voidaan käyttää sisä- ja ulkoseinien runkorakenteena tai väli- ja yläpohjarakenteissa, kuten kuvasarjassa 5.31. Yhden puulamellin paksuus on 19...42 mm ja eri lamelliyhdistelmillä saatava suurin paksuus on 40 cm, levyn maksimipituus on 16 m ja korkeus 2,95 m. Puu on yleensä kuusta, joskus käytetään myös mäntyä ja lehtikuusta.

CLT- monikerroslevyn ominaisuudet ovat samankaltaiset kuin puulla. Levyn tiheys on 470 kg/m^3 , ja lämmönjohtavuus λ_{10} on $0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Ominaislämpökapasiteetti c_p on sama kuin puulla, $1600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. CLT- monikerroslevy on ilmatiivis, ponttisaumojen kohdalla voi olla hyvin pientä ilmavuotoa. Sen vesihöyrynläpäisevyys on hyvin pieni ja diffuusiovastuskertoimena käytetään puulle

standardissa SFS 12524 ilmoitettuja arvoja. Lamellien liima-aine ei ole vaikuta CLT-monikerroslevyn diffuusiovastuskertoimeen. Alle 70 % RH kosteudessa μ vaihtelee välillä 50...200 ja yli 70 % RH kosteudessa välillä 20...50. (Manninen 2010; Stora Enso Timber 2010.)



Kuva 5.31. CLT- monikerroslevyelementit ovat puuelementtejä, joita voidaan käyttää sekä omakotitalo- että liiketilarakentamisessa. Kuvassa rakennetaan 100 m² leipomoa Salzburgiin, Itävaltaan. (Stora Enso Timber 2010.)

Lämmityskaudella sisäilman alhainen kosteuspitoisuus saattaa aiheuttaa elementtien kutistumista ja halkeilua sekä saumojen aukeamista. Halkeilulla ei ole vaikutusta elementtien lujuusominaisuuksiin. CLT- monikerroslevyelementtejä ei tule altistaa sellaisenaan vesisateelle tai korkeille kosteuspitoisuuksille. (Stora Enso Timber 2010.)

5.9.8. Teräs

Terästä käytetään runkorakenteissa palkeissa, pilareissa, erilaisissa kantavissa profiileissa ja ristikoissa sekä liitoksissa mm. ruuveina ja pultteina. Rautametallin ja hiilen seosta kutsutaan teräkseksi, jos seoksen hiilipitoisuus on alle 1,7 % ja valuraudaksi, kun hiilipitoisuus on yli 1,7 %. Puhdas rauta sisältää vain alkuaine rautaa (Fe). Seostamalla teräkseen muita aineita saadaan teräkseen hyvät lujuus- ja sitkeysominaisuudet. Korroosionkestävyyttä ja sitkeyttä parannetaan esimerkiksi pienillä määrillä kuparia ja nikkeliä. Ruostumattomissa teräksissä on vähintään 12 % kromia tai muita korroosionkestävyyttä lisääviä seosaineita kuten nikkeliä (Ni), molybdeeniä (Mo), titaania (Ti) tai niobia (Nb). Teräs on materiaalina homogeenista ja isotrooppista. Säänkestävää terästä käytetään kohteissa, joissa vaaditaan hyvä ilmastokorroosionkestävyys. Kestävyys saadaan aikaan seostamalla teräkseen pieniä määriä kromia, kuparia, nikkeliä ja mahdollisesti fosforia. (Siikanen 2001.)

Teräksen tiheys on 7850 kg/m^3 . Metallin pituuden lämpölaajenemiskerroin on melko suuri, $16,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Myös teräksen lämmönjohtavuus λ_{design} on suuri, $50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Ruostumattoman teräksen tiheys on hieman suurempi, $7900\text{...}8000 \text{ kg/m}^3$. Ruostumattoman teräksen pituudenlämpölaajenemiskerroin on $10\text{...}16 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Lämmönjohtavuus λ_{design} on terästä huomattavasti pienempi, $15\text{...}30 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. (SFS-EN 502 2000; SFS-EN ISO 10456 2008.)

5.9.9. Alumiini

Alumiinia käytetään sekä sisä- että ulkovaipan runkorakenteissa sekä vesikatteissa. Puhdas alumiini on vaaleanharmaata, pehmeää ja sillä on alhainen tiheys ja hyvä korroosionkestävyys. Metallin on homogeenista ja isotrooppista. Rakenteissa käytettävän alumiinin ominaisuuksia on paranneltu seosaineilla (Cu, Mg, Si, Zn). Seostuksella, kylmämuokkauksella ja lämpökäsittelyllä voidaan vaikuttaa alumiinin ominaisuuksiin. Alumiiniseoksille käytetään yleisesti tiheyttä 2700 kg/m^3 ja lämpölaajenemiskerrointa $23\text{...}24 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Suuri lämpölaajenemiskerroin sekä suuri lämmönjohtavuus λ_{design} , noin $160 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, tulee huomioida alumiiniin liittyvien rakenteiden liitoksissa. Alumiinipinnan emissiviteetti ε on hyvin pieni, kirkkaan pinnan ε on $0,005\text{...}0,009$ ja oksidoituneen pinnan ε on $0,20\text{...}0,33$. (Björkholz 1997; Tenhunen 2003.)

Alumiini kestää syöpymättä vedessä, jonka pH vaihtelee välillä $4,5\text{...}8,5$. Rakenteen liitoksissa, saumoissa ja syvennyksissä seisova vesi voi kuitenkin syövyttää alumiinia. Tuore, kostea betoni ja laasti syövyttävät alumiinia, samoin maahan tai kostuviin betonirakenteisiin asennettavat alumiiniset rakennusosat syöpyvät, ellei niitä suojata. Korroosio voidaan estää pinnoitteilla tai rakenteellisella suunnittelulla esimerkiksi suunnittelemalla alumiinirakenteet tuulettuviksi, jolloin alumiinin pintaan muodostuu suojaava oksidikalvo. (Siikanen 2001.)

5.9.10. Luonnonkivet

Luonnonkivet ovat suhteellisen raskaita, lujia ja kestäviä. Rakennuskivet voidaan jakaa koviin, keskikoviin ja pehmeisiin. Kovia rakennuskiviä ovat esimerkiksi graniitit, gabrot, diabaasit ja kvartsiitit, keskikovia mm. marmorit ja pehmeitä ovat vuolukivet. Luonnonkiven ominaisuudet riippuvat kiven mineraalikoostumuksesta ja rakenteesta, kuten raekoosta, suuntautuneisuudesta, huokoisuudesta ja rakoilusta. Kiven rakeiden suuntautuneisuus vaikuttaa kiven lujuusominaisuuksiin. Anisotrooppisissa kivilajeissa rakeet ovat venyneet pitkänomaisiksi ja samansuuntaisiksi, jolloin kivilajin lujuus ja ulkonäkö ovat erilaisia eri suunnissa. Hienorakeinen kivi on lujempaa kuin karkearakeinen. Kivilajin ominaisuudet vaihtelevat samankin esiintymän eri kohdissa. Luonnonkiven tiheys on $1600\text{...}3080 \text{ kg/m}^3$. (SFS-EN ISO 10456 2008; Siikanen 2001.)

Luonnonkiveä käytetään julkisivuissa massiivisena luonnonkivimuurina, massiivitiiliseinän luonnonkiviverhoiluna ja tuuletusraollisena luonnonkiviverhoiluna. Lisäksi käyttökohteita sisätiloissa ovat luonnonkivilattiat ja verhoillut seinät, ulkotiloissa esimerkiksi piha- ja katukiveykset sekä perustukset. Suomessa rakennusten julkisivuissa eniten käytetty kivilaji on graniitti, lisäksi muutamissa rakennuksissa on käytetty vuolukiveä, marmoria ja hiekkakiveä. Keski-Euroopassa käytetään pehmeämpiä kivilajeja, kuten kalkkikiveä ja hiekkakiveä niiden paremman saatavuuden ja työstettävyyden vuoksi. (Lahdensivu 2003.)

Luonnonkivellä on hyvä kulutuksen-, kosteuden- ja säänkestävyys. Kivet ovat käytännössä diffuusiotiiviitä ja niiden vedenimukyky on erittäin pieni. Punaisen graniitin vesihöyrynläpäisevyydeksi δ_v on mitattu $0,005...0,010 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Kivien tiivyydestä ja paksuudesta johtuen luonnonkiviverhous muodostaa seinärakenteen ulkopintaan vettä ja vesihöyryä läpäisemättömän kerroksen. Luonnonkivien kosteusmuodonmuutokset ovat vähäisiä, ainoastaan kalkkikivillä ja marmoreilla saattaa olla merkittäviä muodonmuutoksia. Marmori laajenee kastuessaan $0,001...0,0025 \%$, kun taas graniitti laajenee $0,0004...0,0009 \%$. Toispuolisesti kastuessaan ohuet kalkkikivi- tai marmorilaatat saattavat käyristyä, kuivuessaan kivi jälleen suoristuu. Eräillä marmoreilla, kuten Carraran marmorilla, on taipumus palautumattomiin lämpö- ja kosteusmuodonmuutoksiin. Ilman saasteet, kuten rikkioksidi ja typen oksidit aiheuttavat marmorin ja kalkkikiven pinnan samentumista, kiillon häviämistä ja vaalean jauheen erottumista. Kalsiittiset marmorit, (kivessä magnesiumia alle $3,5 \%$), joihin myös Carraran marmori kuuluu, saattavat syöpyä, rapautua, menettää lujuutensa ja kimmoisuutensa pohjoisessa kaupunki-ilmastossa jo muutamien vuosikymmenien aikana. Suomalainen dolomiittimarmori (magnesiumpitoisuus yli $3,5 \%$) kestää paremmin kemiallista rapautumista kuin ulkomaalainen marmori. (Hedenblad 1996; Peltonen 1988; Siikanen 2001.)

Kivilajien lujuusominaisuudet yleensä heikkenevät hieman kiven kastuessa. Kivilajia pidetään pakkasenkestävänä, jos sen vedenimukyky on alle $0,5$ painoprosenttia. Raja on kuitenkin enemmän suuntaa antava. Käytännössä pakkasenkestäviä rakennuskiviä ovat kaikki muut kivet paitsi sedimenttikalkkikivi ja huokoinen hiekkakivi. (Peltonen 1988; Siikanen 200; Lahdensivu 2003.)

Suomalaiset kivilajit ovat yleensä ulkomaalaisia kestävämpiä. Graniitti ja muut syväkivilaji kestävät erinomaisesti kulutusta ja säärasituksia ja ovat siksi suosittuja rakennuskiviä. Graniitin tiheys on noin $2640...3080 \text{ kg/m}^3$. Graniitti on suuren kvartsipitoisuuden vuoksi melko kovaa ja sen tiiviin rakenteen ansiosta huokoisuus on pieni tiheyden ollessa kuitenkin hyvä rakennuskäyttöä ajatellen. Graniitin pinta on helppo kiillottaa ja pinta säilyy kiiltävänä pitkään. (Geological Survey of Finland 2007b; Peltonen 1988.)

Luonnonkivien ominaislämpökapasiteetti c_p vaihtelee välillä $710...980 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, eli kivien lämmönvarauskyky on melko hyvä. Luonnonkivien lämmönjohtavuus on melko suuri, λ on noin $2,4...3,6 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ tiheydelle 2700 kg/m^3 . Lämmönjohtavuus riippuu mm. kiven mineraalijakaumasta. Taulukossa 5.3 on esitetty joidenkin

mineraalien lämmönjohtavuuksia. Lämpötilan muutoksesta aiheutuvat muodonmuutokset ovat kohtalaisen suuret ja epätasainen lämpötila voi aiheuttaa jännityksiä, jotka rikkovat kiven. Kiven lämpötilanvaihteluiden- ja pakkasenkestävyys ovat suoraan verrannollisia kivilajin kimmokertoimen suuruuteen ja huokoisuuden pienenemiseen. (Hagentoft 2001; Peltonen 1988.)

Taulukko 5.3. Tavallisimpien maamineraalien lämmönjohtavuuksia. Esimerkiksi graniitti sisältää paljon kvartssia ja plagioklaasia. (Nevander & Elmarsson 1994.)

Mineraali	Lämmönjohtavuus [W/(m·K)]
Kvartsi	7,7
Mikrokliini	2,5
Plagioklaasi	1,9 (keskiarvolukema)
Biotiitti	2,0
Muskoviitti	2,3

Vuolukivi on pääasiassa talkkia ja magneesiittia sisältävä, pehmeisiin kivilajeihin kuuluva hienorakeinen kivi, jota on helppo työstää. Vuolukiven kulutuksen kestävyys on huono verrattuna graniittiin. Vuolukivi on hyvin hienorakeista ja sen rakenne on tiivis. Tiheys 2980 kg/m^3 on hyvä rakennuskäyttöä ajatellen. Kosteus tarttuu helposti vuolukiven pintaan, mutta se ei imeydy syvemmälle, koska kivessä ei ole huokosia, joita pitkin vesi imeytyisi kiven sisäosiin. Kosteuden vaikutus vuolukiven lujuusominaisuuksiin ja muodonmuutoksiin on siten olematon. Vuolukiven ominaislämpökapasiteetti c_p on 980 J/(kg·K) on hieman suurempi kuin muilla kivilajeilla. Lämmönjohtavuus on myös suurempi, mikä johtuu kiven suuresta magnesiumipitoisuudesta. Vuolukiven λ_{design} on $6,4 \text{ W/(m·K)}$. Lämpölaajenemiskerroin kiven lustien suunnassa on $19 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ja $22 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ lustia vastaan kohtisuorassa suunnassa. Vuolukiven kemiallinen kestävyys on hyvä, mutta jos kiven pintaan ilmestyy ruosteen värisiä läikkiä, on kemiallinen rapautuminen alkanut. Kiven rautapitoiset malmit voivat aiheuttavat myös pinnan kellastumista eli oksidoitumista, joka on kuitenkin vaaraton värinmuutos. (Tiira 1986.)

5.10. Maalajit ja kiviainekset

Maalajien ja kiviainesten ominaisuuksiin vaikuttavat raekokojakauma, tiheys ja tiiviys. Maa rakentuu kiinteistä mineraalipartikkeleista eli maarakeista, jotka ovat tiivistetyssä maassa kosketuksissa toisiinsa erittäin pienten kontaktipintojen avulla. Maarakeiden väliin jäävät tilat muodostavat toisiinsa kytköksissä olevan huokosverkoston, joka kuivassa tilassa on täynnä ilmaa. Kuivan karkearakeisen maamassan lämmönjohtavuus on alhainen, koska lämpö siirtyy yksinomaan kiteiden välisten kontaktipintojen kautta.

Tilanne muuttuu nopeasti, jos huokosverkostoon joutuu vettä, koska veden lämmönjohtavuus on huomattavasti suurempi kuin ilman. Lämmönjohtavuuden suuruuteen vaikuttaa myös mineraalikoostumus, erityisesti kvartsipitoisuus, sillä

kvartsin lämmönjohtavuus on noin 3...4 kertaa suurempi kuin muiden tavallisten maamineraalien. Maanvastaisen alapohjan kosteusteknisessä tarkastelussa tulee olettaa, että pohjamaan suhteellinen kosteus on 100 %. (Leivo & Rantala 2002a; Leivo & Rantala 2002b.)

Standardin ISO 13370 (2007) mukaan voidaan maalajeille käyttää taulukkoon 5.4 on koottuja maan lämmönjohtavuuksia. Jos maalaji ei ole tiedossa, voidaan käyttää lämmönjohtavuutena λ arvoa 2 W/(m·K) ja tilavuuslämpökapasiteettina p_c arvoa $2 \cdot 10^6$ J/(m³·K).

Taulukko 5.4. Maalajien lämmönjohtavuuksia. (RakMK C4 2003; ISO 13370 2007.)

Maalaji	ISO 13370 Tiheys ρ [kg/m ³]	ISO 13370 Lämmönjohtavuus λ [W/(m·K)]	RakMK C4 Lämmönjohtavuus λ [W/(m·K)]	ISO 13370 Tilavuuslämpö- kapasiteetti p_c [J/(m ³ ·K)]
Siltti	1400...1800	1,5	1,4	$3 \cdot 10^6$
Savi	1200...1600	1,5	1,4	$3 \cdot 10^6$
Hiekka ja sora	1700...2100	2,0	2,0	$2 \cdot 10^6$
Kallio	2000...3000	3,5	3,5	$2 \cdot 10^6$

Seuraavan sivun taulukossa 5.5 on esitetty maalajien lämmönjohtavuusominaisuuksien riippuvuus lämpötilasta.

Taulukko 5.5. Maalajien lämmönjohtavuusominaisuuksien riippuvuus lämpötilasta. (Sundberg 1988.)

Maalaji	Lämmönjohtavuus		Tilavuus- lämpökapasiteetti		Latentti lämpö $\cdot 10^9$ [J/(m ³ ·K)]
	λ [W/(m·K)]		$p_c \cdot 10^6$ [J/(m ³ ·K)]		
	jäätynyt	sula	jäätynyt	sula	
Savi	0,88...1,1	2,0...2,2	3,0...3,6	2,0	2,1...2,5
Kuivakuorisavi	1,1...1,4	1,7...2,3	2,6...3,0	1,7...2,0	1,1...1,6
Silttinen savi	1,1...1,5	2,3...2,8	2,9...3,3	2,0	1,5...2,0
Siltti	1,2...2,4	2,3...3,2	2,4...3,3	2,0	0,8...2,0
Hiekka, sora pohjavedenpinnan alapuolella	1,5...2,6	2,7...3,3	2,5...3,2	2,0	0,8...2,0
Hiekka, sora pohjavedenpinnan yläpuolella	0,4...1,1	0,4...1,0	1,2...1,7	1,1...1,6	0,1...0,3
Moreeni pohjavedenpinnan alapuolella	1,5...2,5	2,3...2,7	2,2...3,0	2,0	0,3...1,5
Hiekkamoreeni pohjavedenpinnan alapuolella	0,6...1,8	0,5...1,6	1,3...1,9	1,2...1,5	0,1...0,8
Turve pohjavedenpinnan alapuolella	0,6	1,7	4,0	2,0	3,1...3,2
Turve pohjavedenpinnan yläpuolella	0,2...0,5	0,4...1,5	0,7...3,2	0,5...1,7	0,6...2,4

5.11. Sisälevyt

5.11.1. Yleistä

Sisälevyjä käytetään rakennuksen sisäpintojen verhouksissa sekä seinä-, katto- ja lattiarakenteissa verhoilun alustana. Levyn tulee olla pitkäikäinen ja sen kosteuden ja lämpötilan muutosten aiheuttamat muodonmuutokset tulisivat olla pienet. Usein sisälevyltä toivotaan myös ääneneristävyyttä tai akustisia ominaisuuksia ja ne voivat parantaa rakenteen lämmöneristävyyttä ja ilmatiiviyttä. Sisälevyn kosteus- ja lämpöteknisen toimivuuden kannalta on tärkeää käyttää tuotteita niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. Sisälevyvalikoima on laaja ja tuotteita valmistetaan lähes kaikista materiaaleista.

5.11.2. Puupohjaiset levyt

Puukuitulevyt

Puukuitulevyjä valmistetaan puu- ja puuaineisten kasvien kuiduista paineen ja lämmön avulla. Puukuidut tarttuvat toisiinsa huopautuksella ja kuitujen luontaisilla tartuntaominaisuuksilla, eikä valmistuksessa yleensä käytetä liimoja. Puukuitulevyjen rakenne on hyvin tasakoosteinen. Märkämenetelmällä valmistettavat puukuitulevyt jaotellaan standardin EN-316 (2009) kolmeen ryhmään:

- Hardboards (HB) eli kovalevyt. Tiheys on vähintään 900 kg/m^3 ,
- Medium boards (MB) eli puolikova kuitulevy tai rakennelevyt. Tiheys vaihtelee välillä $400 \dots 900 \text{ kg/m}^3$. Levyt jaetaan kahteen alaryhmään, jotka ovat:
 - Low density medium boards (MBL), tiheys $400 \dots 560 \text{ kg/m}^3$
 - High density medium boards (MBH), tiheys $560 \dots 900 \text{ kg/m}^3$
- Softboards (SB) eli huokoisen kuitulevyt. Tiheys vaihtelee välillä $230 \dots 400 \text{ kg/m}^3$.

Eri puukuitulevytyypit on esitetty kuvassa 5.32. Kovalevyt voivat olla toiselta puolelta sileitä ja toiselta puolelta viirakuvioiseksi puristettuja levyjä. Kovalevyt ovat lujia, ohuita ja niiden paksuus vaihtelee tavallisesti välillä 2...6 mm. Levyjen kosteudenkestävyys on hyvä. Öljykarkaistuja kovalevyjä voidaan käyttää myös ulkotiloissa. Kovalevyn, jonka tiheys on $900 \dots 1000 \text{ kg/m}^3$, vesihöyrynvastus Z_p on pieni, $1,2 \dots 2,8 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$. (EN 316 2009; Suomen Kuitulevy Oy 2010.)



Kuva 5.32. Puukuitulevyjä vasemmalta oikealle: kovalevy, raaka MDF-levy ja huokoinen puukuitulevy. (finnforest 2009c; RT 37721 2009; Suomen Kuitulevy Oy 2010.)

Puolikova kuitulevy on hyvin tasakoosteinen. Märkäprosessilla valmistettavien levyjen lisäksi valmistetaan kuivaprosessilla medium density board- eli MDF-levyjä. MDF-levyt valmistetaan puukuiduista, joihin lisätään pieni määrä sideainetta. Valmistuksessa käytetään pääasiassa mänty- ja kuusipuuta. Puolikovat puukuitulevyt ovat paksumpia

kuin kovalevyt, niiden paksuus on noin 3...50 mm. Levyt ovat sileitä ja ne on usein päällystetty viilulla, vinyylillä, kalvoilla tai melamiinipaperilla. Levyjä käytetään mm. verhouksiin sekä kalusteiden taustalevyinä ja pinnoitettuna kalusteiden ovissa. MDF-levyä valmistetaan myös kosteudenkestäviä ja paloahidastavia levyjä. Kosteudenkestävä levy on molemmilta puolilta sileä ja sen tiheys on korkea. (EN 316 2009; finnforest 2005.)

Huokoista puukuitulevyä käytetään puu- ja hirsitalojen lisäeristämiseen sellaisenaan tai yhdessä puhallettavan tai kuivaruiskutettavan puukuitueristeen kanssa (ks. luku puukuitulämmöneristeet). Huokoisia puukuitulevyjä käytetään myös sisustuslevyinä sekä akustisissa verhouksissa. Levyn vesihöyrynläpäisykerroin W_p on $1,04 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. (Siikanen 1998; RT 37721 2009).

OSB -levy (Oriented Strand Board)

OSB on kolmikerroslevy, joka muodostuu pitkistä ja kapeista, suurikokoisista puulastuista, kuten ilmenee kuvasta 5.33. OSB -levyssä on kolme lastukerrosta, joissa lastut ovat suuntautuneet siten, että ylä- ja alapinnan lastujen syysuuntaus on pitkittäin ja keskikerroksen lastut ovat poikittaisia pintakerrokseen nähden. Rakenteen ristiinliimaaminen vähentää levyn kosteuselämistä sekä lisää lujuutta ja jäykkyyttä. Raaka-aineena käytetään havupuita, mutta myös muidenkin puulajien lastuja voidaan käyttää. OSB -levy valmistetaan liimaamalla korkeassa paineessa ja lämpötilassa. Tiukasti puristetun levyn tiheys on noin $580 \dots 650 \text{ kg}/\text{m}^3$. Liimauksessa käytetään kosteudenkestävää, matalan formaldehydipitoisuuden omaavaa liimaa. Levyjen paksuus on noin 11...18 mm. (Pro Puu r.y. 2004a; finnforest 2005.)



Kuva 5.33. OSB-levy koostuu 10...15 mm pitkistä ja 0,7 mm ohuista voimakkaasti yhteen puristetuista puulastuista. Lastujen leveys vaihtelee välillä 5...30 mm. (Pro Puu r.y. 2004a.)

Levyt jaetaan käyttötilamäärittelyn mukaan. OSB 2 -levy on tarkoitettu kuiviin sisätiloihin (+20 °C, 65 % RH). Levyn kosteuspitoisuus on maksimissaan 12 %. OSB 3 -levy soveltuu käytettäväksi ulkotiloissa suojattuna, kuten vesikatteen aluslevynä tai välikattorakenteissa. Käyttöolosuhteet saavat kuitenkin ylittää vain muutamana viikkona vuodessa olosuhteet +20 °C ja 85 % RH. OSB 3 -levyjen kosteuspitoisuus on maksimissaan 20 %.

OSB -levyn lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen on samankaltaista kuin massiivipuulla. Kosteusmuodonmuutokset tulee huomioida suunnittelussa. Voimakkaasti puristettu OSB -levy turpoaa reunoiltaan helposti kosteusrasituksessa, mikäli levyn reunaa ei ole suojattu. Levyn korkean tiheyden vuoksi kosteus ei pääse haihtumaan pois, jos sitä on levyyn imeytynyt. (Pro Puu r.y. 2004a.) OSB -levyjen kosteusdiffusiviteetti on pieni, joten materiaalin kuivuminen ja kostuminen on hyvin hidasta. OSB -levyn kapillariteettikerroin A_w on $0,011 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, joka on melkein sama kuin massiivipuun syiden suuntaan mitattu kapillariteettikerroin. OSB:n vesihöyrynvastus on suuri, Z_v on $71,9 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Vesihöyrynvastus on alhaisemmilla lämpötiloilla ja pienillä kosteuksilla suurempi kuin suuremmilla kosteuksilla ja lämpötiloilla. Diffuusiovastuskerroin μ on 162 ja se on kosteuspitoisuudesta riippumaton. Levylle on mitattu lämmönjohtavuuden arvoja välillä $0,11 \dots 0,14 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Lämmönjohtavuus kasvaa kosteuspitoisuuden kasvaessa. Levyn ominaislämpökapasiteetti c_p on $1500 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, joka on lähes sama kuin puulla. (Vinha et al. 2005; Vinha 2007; finnforest 2005.)

Lastulevy

Lastulevy valmistetaan puulastuista (90 %), jotka lämmössä puristetaan kovettuvien liimojen avulla levyksi. Liimana käytetään pääasiassa ureaformaldehydiliimaa (10 %) tai paremmin kosteutta kestävää ureamelamiiniformaldehydihartsia. Nykyaikaiset lastulevyt täyttävät M1-luokan päästövaatimukset. Pintakerroksen lastut ovat ohuempia kuin keskikerroksen lastut, joten levyn pinta on tiiviimpi ja tiheämpi kuin keskiosat. Lastulevyt jaetaan standardin SFS-EN 312 (2003) mukaisesti seitsämään luokkaan P1...P7, joista vakiolehtulevyjä paremmin kosteutta kestäviä luokkia ovat P3, P5 ja P7. Sisäkäyttöön (RH alle 60 %) ovat tarkoitettut yleislastulevy P1, kalustelevy P2, kuormitusta kestävämpi levy P4 ja raskasta kuormitusta kestävä lattialastulevy P6. Kosteutta kestävä lastulevy P5 (entinen V313 levy) ei kestä jatkuvaa vesialtistusta. Levy on väriltään vihertävä. Lastulevystä on kehitetty myös erikoistyyppisiä, kuten sementtiliimaa tai kipsiä sideaineena sisältäviä levyjä. Erilaisia lastulevyjä on esitetty kuvassa 5.34.



Kuva 5.34. Lastulevyjä. (Pro Puu r.y. 2004b.)

Perusominaisuuksiltaan lastulevy on verrattavissa puuhun. Levy on homogeenista eikä levyllä ole syysuuntausta. Kosteusmuodonmuutos levyn tason suunnassa on vähäistä, mutta paksuussuunnassa levy elää enemmän. Kosteusmuodonmuutoksessa levyt saattavat myös käyristyä. Levyn lämmöneristävyys on parempi, kuin tiheydeltään samanlainen puu. Tiheydeltään 723 kg/m^3 olevan V313 -lastulevyn mitattu lämmönjohtavuus λ_{10} on $0,11 \dots 0,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. (Siikanen 1998; Vinha 2007.) Lastulevyn vesihöyrynvastus on suuri, Z_v on $60,9 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Levyn kosteustekniset ominaiset vaihtelevat lämpötilan ja kosteuspitoisuuden mukaan. Diffuusiovastuskerroin μ on 137. Lastulevyn kapillarisuus on suurempi kuin OSB -levyllä ja massiivipuulla. OSB -levyn kapillariteettikerroin A_w on $0,082 \text{ kg/(m}^2\cdot\text{s}^{0,5})$. Levyn kosteusediffusiviteetti on pieni, eli materiaali kuivuu ja kostuu hitaasti. Levyn kosteusteknisestä toiminnasta on kerrottu myös luvussa 4.7.3 tuulensuojalevyt. (Vinha et al. 2005; Vinha 2007.)

Vaneri

Vaneri valmistetaan liimaamalla yhteen päällekkäin kolme tai useampia puuviiluja. Liimauksessa käytetään pääasiassa fenoli-formaldehydiliimaa ja pieniä määriä ureaformaldehydiliimoja. Viilut voivat kaikki olla asetettuna syiden suuntaisesti tai ristikkäin. Viiluja on aina pariton määrä, jolloin ulommaisten viilujen syyt ovat samansuuntaiset. Suomessa valmistetaan seuraavia vakiovanerityyppejä:

- Koivuvaneri, tiheys $630 \dots 680 \text{ kg/m}^3$. Valmistamiseen käytetään ainoastaan koivua.
- Combivaneri, tiheys $620 \dots 560 \text{ kg/m}^3$. Pintaviilu ja sen alla oleva liimaviilu ovat koivua, sisimmät kerrokset ovat vuorotellen koivu- ja havuviilua.
- Peilikuvacombivaneri. Pintaviilut ovat koivua, sisimmät kerrokset ovat vuorotellen havu- ja koivuviilua.

- Havuvaneri. Ohutviiluinena $460\text{--}520\text{ kg/m}^3$ ja paksuviiluinena $400\text{--}460\text{ kg/m}^3$. Vanerissa käytetään ainoastaan havupuuviilua. Pintaviilut ovat kuusta tai mäntyä.

Koivu- ja kuusiviilun paksuus on 1,4 mm ja havuvanerin viilut ovat paksuudeltaan 2,0...3,2 mm. Sisätiloissa käytetään lähinnä koivuvaneria, joka on vanereista lujinta ja kestäväntä. Vanerin ominaisuudet vastaavat yleisesti ottaen valmistuksessa käytetyn puun ominaisuuksia. Vanereita voidaan päällystää erityyppisillä pinnoitteilla teknisten ominaisuuksien parantamiseksi. Mahdollisia pinnoitteita ovat esimerkiksi kuumapuristettu fenolihartsilla impregoitu maalausohjakaalvo, melamiinifilmipinnoite, laminaatti, polypropeenipinnoite, metalli- ja mineraaliyhdisteet tai fenolifilmi. Vanerien käyttökohteita on esitetty kuvassa 5.35. (UPM Metsäteollisuus r.y. 2006.)



Kuva 5.35. Vaneria käytetään sisätiloissa seinä-, lattia- ja kattoverhouksissa tai verhouksen aluslevynä. (UPM Metsäteollisuus r.y. 2006.)

Vanerin toimituskosteus on noin 7...12 %. Toimituksen jälkeen kosteuspitoisuus lähinnä kasvaa vanerin hygroskooppisuuden takia. Lämpötilassa $+20\text{ °C}$ ja kosteuspitoisuudessa 65 % RH ohutviiluisen koivu- combi- ja havuvanerin tasapainokosteus on noin 12 % ja paksuviiluisen havuvanerin noin 10 %. Vanerin kosteuspitoisuuden kasvaessa prosenttiyksikön on suomalaisen exterior-liimatun vanerin mitan kasvu pintaviilun syiden suuntaan ja niitä vastaan kohtisuoraan 0,015 %. Paksuusturpoama on keskimäärin 0,3...0,4 % prosenttiyksikön suuruista kosteuden kasvua kohti. Nämä muodonmuutokset toteutuvat vanerin kosteuden muuttuessa välillä

10...27 %. Yleisesti voidaan varautua noin 1 mm/m kosteudenmuodonmuutokseen, joka on vähemmän kuin massiivipuulla. (UPM Metsäteollisuus r.y. 2006.)

Vaneri imee kapillaarisesti enemmän vettä kuin puu. Vanerille on mitattu kapillaariteettikerroin A_w on $0,022 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Levyn reunat on siis suojattava, mikäli levy altistuu kosteudelle. Vanerin kosteusdiffusiviteetti on hyvin pieni, eli vaneri kuivuu ja kostuu hitaasti. Vanerin vesihöyrynvastus Z_v on melko suuri, $33 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Vesihöyrynläpäisevyys kasvaa voimakkaasti vanerin kosteuspitoisuuden ja suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaessa. Kosteuspitoisuudessa 53 % RH vesihöyrynläpäisykerroin W_p pinnoittamattomalle vanerille on $50...53 \cdot 10^{12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja 90 % RH kosteuspitoisuudessa W_p on $460...500 \cdot 10^{12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Samoin tuotteen lämmönjohtavuus kasvaa kosteuspitoisuuden kasvaessa. Vanerien lämmönjohtavuudet eroavat vanerityypeittäin ja ne on esitetty taulukossa 5.6. Lämpötilan muutoksista aiheutuvat muodonmuutokset ovat erittäin pieniä. (Vinha et al. 2005; UPM Metsäteollisuus r.y. 2006; Vinha 2007.)

Taulukko 5.6. Vanerien lämmönjohtavuudet eri kosteuspitoisuuksissa vanerityypeittäin. (UPM Metsäteollisuus r.y. 2006.)

Kosteus- pitoisuus	Lämmönjohtavuus λ_{10} [W/(m·K)]		
	Koivuvaneri 40 mm	Combivaneri 40 mm	Havuvaneri 40 mm
47 % RH	0,147	0,188	0,110
93 % RH	0,175	0,145	0,132

5.11.3. Kipsi- ja sementtipohjaiset levyt

Kipsi-kartonkilevy

Kipsi-kartonkilevyt ovat kartongilla verhoiltuja kipsilevyjä, joiden valmistuksessa käytetään kipsiä, vettä, lisäaineita ja niiden pinnassa on kartonki. Levyissä saattaa olla myös kuituja parantamassa niiden lujuutta tai levyt voivat olla pinnoitettuja. Levyjä käytetään kuivissa sisätiloissa seinä-, katto- ja lattiapinnoissa. Kosteisiin tiloihin tavalliset kipsi-kartonkilevyt eivät sovellu, koska kastuessaan kipsi menettää jäykkyys- ja lujuusominaisuutensa.

Sitoutuneen kipsin kokonaishuokostilavuus on noin 40...70 %. Yli 90 % huokosista on kapillaarihuokosia. Kapillaarisuutensa ansiosta kipsirakenne kastuu ja kuivuu nopeasti. Kipsilevyn tasapainokosteus sen käyttötilassa on pieni. Suhteellisen kosteuden ollessa 80 % on kipsirakenteen tasapainokosteus noin 0,2 % ja 90 % RH tasapainokosteus on 0,7 %. Käytännössä tasapainokosteus on alle 1 % materiaalin painosta. (Häkkinen & Kanerva 1980.)

Kipsi-kartonkilevyjen tiheys on noin 600 kg/m^3 . Levyjen vesihöyrynvastus Z_v on pieni, $3,0...4,5 \cdot 10^3 \text{ s/m}$. Diffuusiovastuskerroin μ 13 mm paksulle levyllä on 6,9, ja se ei muutu lämpötilan tai suhteellisen kosteuden muuttuessa. Kipsi-kartonkilevy on hyvin ilmatiivis, sen ilmanläpäisykerroin K_a on vain $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Kipsilevyn lämmönjohtavuus on riippuvainen tiheydestä, lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta.

Lämmönjohtavuudeksi on mitattu eräässä tutkimuksessa 0,19...0,21 W/(m·K). Pituuden lämpölaajenemiskerroin on varsin suuri, $25 \cdot 10^{-6}$ 1/K. Sillä ei ole kuitenkaan merkitystä levyjen muodonmuutosten kannalta, koska lämpötila sisätiloissa on suhteellisen muuttumaton. (Vinha et al. 2005; Gyproc Oy 2006.)

Komposiittikipsilevy

Komposiittikipsilevy on akryylipinnoitteella ja lasikuituverkolla vahvistettu, kipsin lisäksi vahaa ja täyteaineita sisältävä levy. Komposiittikipsilevyn levyn ydin on lasikuituvahvisteinen. Levy on tarkoitettu käytettäväksi asuntojen märkätiloissa. Levyn käyttö ei ole sallittu vaativissa kosteusolosuhteissa, kuten uimahalleissa tai rivi- ja kerrostalojen yhteiskäytössä olevissa pesu- ja suihkutiloissa.

Kipsi-kartonkilevyn, jonka paksuus on 12,5 mm, tiheys on 704 kg/m^3 ja 15,5 mm paksun levyn tiheys on 758 kg/m^3 . Levy läpäisee hyvin vesihöyryä. Sen vesihöyrynvastus Z_v on pieni, $2,62 \cdot 10^3 \text{ s/m}$ ja se ei juuri muutu lämpötilan tai suhteellisen kosteuden muuttuessa. Diffuusiovastuskerroin μ ohuemmalle levyllä on 17,7 ja paksummalle 21,4. Levy pitää hyvin muotonsa ilman suhteellisen kosteuden vaihteluissa, muodonmuutos on 0,2mm/m suhteellisen kosteuspitoisuuden muuttuessa 40 %: sta 90 %:iin. Komposiittikipsilevy on hyvin ilmatiivis, sen ilmanläpäisykerroin K_a on vain $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Levyn lämmönjohtavuus λ_{10} on 0,19...0,22 W/(m·K). (Gyproc Oy 2006; Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/ Gyproc 2010b, Hyttinen 2010.)

Puu-kipsilevy

Puu-kipsilevy sisältää noin 83 % kipsiä ja 15 % puulastuja. Levy on tasarakenteinen ja tiivis ja sitä käytetään sisätiloissa kipsilevyn tapaan sekä paloa suojaavissa rakenteissa. Levy ei sovellu kosteisiin tiloihin. Sen tiheys vaihtelee välillä $1250 \dots 1300 \text{ kg/m}^3$. Levyn vesihöyrynläpäisevyys δ_p on pieni, $4,5 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Levyn tason suuntainen kosteuseläminen on 0,08 % ja kosteuspitoisuus 2 %, kun ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on 65 %. Puu-kipsilevyn lämmönjohtavuus λ on 0,24 W/(m·K) ja levy on melko ilmatiivis, sillä sen ilmanläpäisevyys L on $8,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$.

Levy, jonka valmistuksessa on käytetty kipsin (n. 86 %) lisäksi puulastuja, vahaa ja booria kestää kosteusrasitusta, eikä levy ime itseensä kapillaarisesti vettä. Sitä voidaan käyttää myös märkätiloissa sekä ulkotiloissa, joissa on korkea kosterasitus. Puu-kipsilevyjen valmistus Suomessa on lopetettu vuonna 2009. (RT R-36743 2004; Sasmox Oy 2009.)

Kuitusementtilevy

Sementtipohjaisista levyistä käytetään usein nimitystä kiviainespohjaiset levyt. Kuitusementtilevyjä valmistetaan portlandsementistä, fillereistä, kiilteestä ja selluloosasta, Suomessa ei ole valmistuksessa vuoden 1988 jälkeen käytetty asbestikuituja. Levyn pinta voi olla vahvistettu esimerkiksi lasikuituverkolla, kuten kuvassa 5.36, tai se voi olla päällystetty vedeneristeellä. Kuitusementtilevy on veden- ja kosteudenkestävä levy, jota käytetään märkätiloissa ja paloa osastoivissa rakenteissa.

Levyjen tiheys on 950...1250 kg/m³. Ominaisuuksiltaan sementtipohjaiset levyt vastaavat pitkälti betonin ominaisuuksia. Levyt läpäisevät vesihöyryä heikosti ja ne imevät kapillaarisesti vettä. Levypaksuuksilla 9..12 mm vesihöyrynvastus Z_v on 17...24 ·10³ s/m. Hygroskooppisuuden vuoksi tapahtuva kosteuseläminen on pientä, noin 0,25...0,8 mm/m. Levyn huokosten täytyessä vedellä on tuotteen vedenimukyky noin 32 % ja kosteusmuodonmuutos 2,2 mm/m. Kuitusementtilevyn lämmönjohtavuus λ on 0,25 W/(m·K) ja ominaislämpökapasiteetti c_p on 900 J/(kg·K). (Cembrit Oy 2005; Cembrit Oy 2009.)



Kuva 5.36. Sementtipohjaisia, lasikuituverkolla vahvistettuja rakennuslevyjä odottamassa asennusta märkätiloihin.

Sementtilastulevy

Lastulevyn pohjalta on kehitetty sementtilastulevy, jonka valmistuksessa käytetään portlandsementtiä ja puulastuja, kuten hienoksihöylättyä kuusilastua. Sementtilastulevy puristetaan tasopuristimessa, jolloin mineraalit kyllästävät ja ympäröivät puulastut. Levyn tilavuudesta noin 65 % on puuta ja 35 % sementtiä. Levyjen materiaalirakenne on homogeeninen. Materiaali kestää hyvin kosteutta ja hygroskooppisena se sitoo ja luovuttaa kosteutta. Puulastuista ja sementistä tehtyjen levyjen kosteuden aiheuttamat muodonmuutokset ovat suuremmat kuin kuitusementtilevyillä. Sementtilastulevyjä käytetään lähinnä akustiikka- ja sisustuslevyinä. (Paroc Oy Ab 2009.)

5.11.4. Metalliohutlevyt

Sisäkaton verhouksena voidaan käyttää sinkittyä teräsohutpoimulevyä. Levyn tasainen alapinta toimii valmiina sisäkattopintana, profiloitu puoli toimii betoni-teräsluottolaattarakenteen tartuntapintana ja valutilanteessa muottina. Alapinta voi olla päällystetty muovipinnoitteella, jonka tarkoitus on suojata pintaa kondenssivedeltä. Teräsohutlevyn nimellispaksuus on noin 0,7...1,1 mm. (Rautaruukki Oyj 2008.) Väliseinäelementteinä ja palo-osastoivissa rakenteissa voidaan käyttää seinäelementtiä, jossa kahden teräsohutlevyn välissä on mineraalivillalevy. Pintamateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi kuumasinkittyä, maalipinnoitettua teräsohutlevyä, ruostumatonta tai haponkestävää terästä tai elintarvikelaminoitua terästä. Teräksen paksuus on noin 0,5...0,7 mm ja levy voi olla tasainen tai profiloitu. Mineraalivilla on joko kivivillaa (115 kg/m^3 tai 120 kg/m^3) tai lasivillaa (80 kg/m^3) ja eristeen tiheys vaihtelee eristetyypin mukaan. Eristeenä voidaan myös käyttää polyuretaanieristettä, jonka tiheys on $40 \pm 3 \text{ kg/m}^3$ ja lämmönjohtavuus λ on $0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. (Rautaruukki Oyj 2000; Rautaruukki Oyj 2009.)

5.12. Rappaukset ja tasoitteet

5.12.1. Yleistä

Rappaus on pinnan täysin peittävä, ulko- tai sisätiloissa tehtävä yksi- tai useampikerroksinen pintakäsittely. Rappauksella saadaan haluttu pintastruktuuri, väri sekä alustan ja rakenteen ominaisuuksia mahdollisesti parantavat vaikutukset. Sen tarkoitus on usein suojata alustaansa ja parantaa rakenteen ilmatiiviyyttä.

Rappaukset koostuvat materiaalivalmistajien kehittämistä rappausjärjestelmäkokonaisuuksista. Rappausjärjestelmät voidaan jakaa rappausalustan mukaan pehmeille ja koville alustoille tehtäviksi. Pehmeä alusta on esimerkiksi rappausalustaksi tarkoitettu EPS- tai mineraalivillaeeriste. Pehmeälle alustalle tehtävää rappauslaastia kutsutaan eristerappaukseksi. Eristerappausjärjestelmissä käytettävät rappauslaastit eroavat ominaisuuksiltaan koville pinnoille tehtävistä rappauksista. Lisäksi erilaisille pinnoille tehtävät rappaukset eroavat työtekniikoiltaan ja rakenteeltaan. Kaikkien julkisivuissa käytettävien rappauslaastien tulee olla hyvin pakkasenkestäviä.

5.12.2. Pehmeälle alustalle tehtävä rappaus

Lämmöneristeen päälle tehtävää rappauslaastia kutsutaan eristerappaukseksi. Eristerappauslaastia käytetään sekä uudis- että korjausrakentamisessa ja se tehdään joko ohut- tai paksueristerappauksena suoraan rappausjärjestelmään soveltuvan mineraalivillan lämmöneristeen päälle. Eristerappausjärjestelmät ovat materiaalivalmistajien kehittämiä

kokonaisuuksia, jotka koostuvat lämmöneristeestä, rappausverkosta, kiinnikkeistä, rappauslaasteista ja pinnoitteista sekä rappaukseen liittyvistä listoista ja pellityksistä. Eristerappauksissa käytettävät laastit poikkeavat ominaisuuksiltaan kovalle alustalle käytettävistä rappauslaasteista.

Eristerappausjärjestelmät ovat tuulettumattomia rakenteita, joiden kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi kosteuden kulkeutuminen rakenteeseen on oltava mahdollisimman vähäistä ja kosteuden on päästävä kuivumaan rakenteen läpi. Siksi rappauskerroksen ja lämmöneristeen yhdistelmän on oltava riittävän vesihöyrynläpäisevä. Ohuteristerappaus on kohtalaisen vesitiivis ja viistosateella sen pintaan muodostuu välittömästi vesikalvo, jolloin halkeamien yms. epäjatkuvuuskohtien kautta vettä voi kulkeutua haitallisissa määrin kapillaariseen pohjarappaukseen tai rappauskerroksen taakse. Alustana toimivat lämmöneristeet eivät ime kapillaarisesti vettä. Paksueristerappaus on huokoinen ja pystyy siten sitomaan runsaasti vettä. Paksueristerappauksen pintaan voi muodostua vesikalvo, kun rappauksen huokostila on ensin täyttynyt vedellä. Vettä voi kulkeutua epäjatkuvuuskohdista eristetilaan saakka. Sateen jälkeen kuivuminen on yleensä suhteellisen nopeaa, koska rappauksen pinnassa ei ole vesihöyryn haihtumista hidastavaa pinnoitetta.

Kosteusrasituksen lisäksi ohut rappauskerros altistuu hyvin nopeille lämpötilanvaihteluille, joka on huomioitava erityisesti tummasävyisissä rappauksissa. (Lahdensivu et al. 2010.)

Ohuteristerappaus

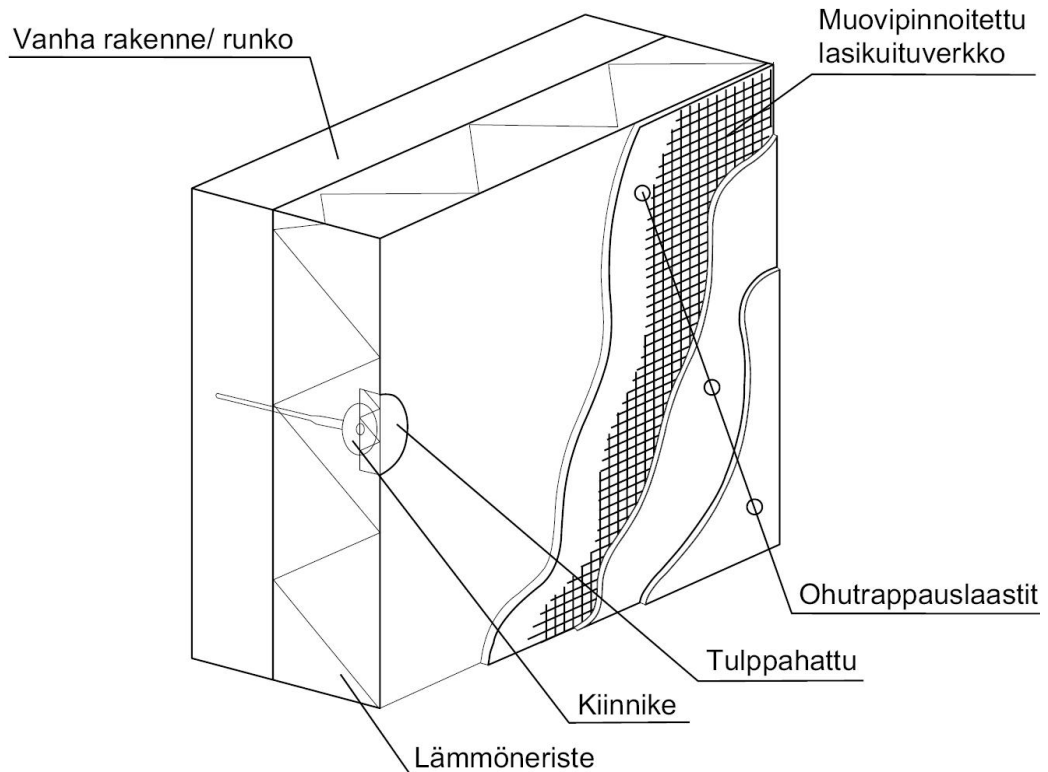
Ohuteristerappaus muodostaa lämmöneristeen ulkopintaan 5...10 mm paksun yhtenäisen, muovipinnoitetulla lasikuituverkolla lujitetun, suhteellisen taipuisan levyn, joka on kauttaaltaan kiinnitetty lämmöneristeen ulkopintaan. Lämmöneriste on joko lujaa ohuteristerappauksia varten kehitettyä mineraalivillaa tai EPS-levyä. Ohuteristerappauksia on tehty myös jonkin verran PUR:n, PIR:n ja XPS:n sekä fenolivaahdon päälle. Ohuteristerappaus ei tarvitse liikuntasauvoja kuin rakenteellisten liikuntasauvojen kohdalle.

Ohuteristerappaus tehdään sementtipohjaisilla, silikonimodifioituilla, silikaattipohjaisilla tai kokonaan orgaanisilla laasteilla, ja rappaus koostuu tyypillisesti pohja- ja pintarappauksista. Näiden lisäksi ohuteristerappauksissa käytetään lämmöneristeiden kiinnittämisessä erityistä liimalaastia.

Pohjarappauksessa käytetään sementtipohjaisia tai orgaanisia laasteja, joihin on lisätty polymeerejä ja mahdollisesti myös muovikuituja tai mahdollisesti muita lisäaineita, jotka lisäävät esim. laastin vedenhylkimisominaisuuksia. Pohjarappaus tehdään yleensä kahtena kerroksena siten, että muovipinnoitettu lasikuituverkko asennetaan ensimmäisen pohjarappauskerroksen levittämisen jälkeen, jolloin se jää pohjarappauskerrosten väliin.

Pintarappauksessa käytetään sementtipohjaisia tai orgaanisia laasteja, joihin on lisätty polymeerejä ja lisäksi mahdollisesti muita lisäaineita, jotka lisäävät esim. laastin vedenhylkimisominaisuuksia. Pintarappauslaastiin on tyypillisesti lisätty pigmenttejä ja

sen karkeus voi vaihdella halutun pintakuviointin mukaan. Ohuteristerappauksen uloin pinta voidaan käsitellä erilaisilla maalauskäsittelyillä, kuten silikaatti-, silikoniharts- tai keinohartsimaalilla. Maalien tulisi olla vettä hylkiviä. Kuvassa 5.37 on esitetty havainnollistava kuva ohuteristerappauksen rakenteesta. (Lahdensivu et al. 2010.)



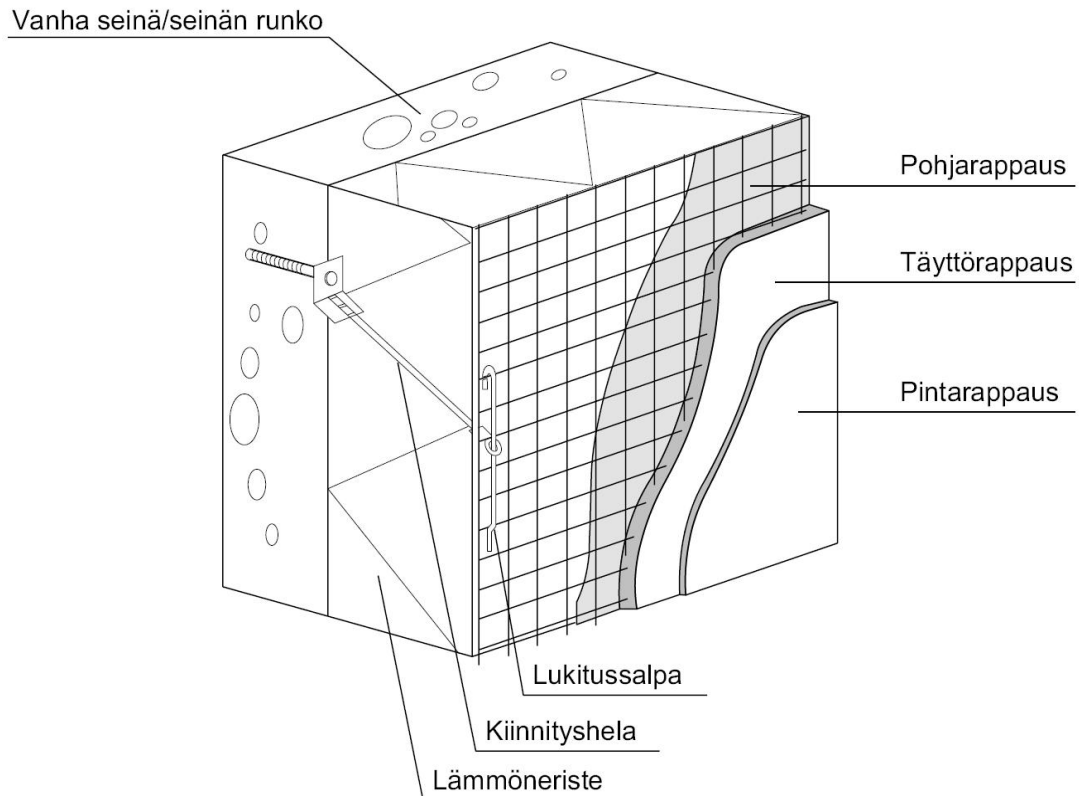
Kuva 5.37. Ohuteristerappauksen rakenne. Rappausverkon oikea paikka on pohjarappauslaastikerrosten välissä. (Lahdensivu et al. 2010.)

Paksueristerappaus

Paksueristerappaus muodostaa lämmöneristeen ulkopintaan 20...25 mm paksuisen jäykän levyn, joka on kiinnitetty mekaanisin kiinnikkein lämmöneristeen läpi seinän runkoon. Paksueristerappauksissa käytetään aina mineraalivillalämmöneristeitä ja lämmöneristys voi koostua useammasta kerroksesta. Paksueristerappaus vaatii liikuntasauvoja 12...15 m välein, koska rappaus liikkuu yhtenäisenä levynä lämmöneristeen pinnalla.

Paksueristerappaus on perinteisillä kalkkisementtilaasteilla (KS-laasteilla) tehtävä rappaus, joka koostuu tyypillisesti kolmesta eri laastikerroksesta, joita ovat tartunta- tai pohjarappaus, täyttörappaus sekä pintarappaus. Eri kerroksissa käytettävät laastit voivat olla koostumukseltaan joko samanlaisia tai niiden lujuus heikkenee ulkopintaa kohti. Pohjarappaus muodostaa alustan täyttörappaukselle. Täyttörappaus voidaan tarvittaessa tehdä useampana rappauskerroksena ja rappausverkko asennetaan täyttörappauksen sisään. Pintarappaus voidaan tehdä useampana kerroksena läpivärjättyllä laastilla. Paksueristerappauksen uloin pinta voidaan käsitellä myös erilaisilla

maalauksenkäsittelyillä, kuten kalkki-, kalkkisementti-, silikaatti- tai silikonihartsimaalilla. Kuva 5.38 havainnollistaa paksueristerappauksen rakennetta. (Lahdensivu et al. 2010.)



Kuva 5.38. Paksueristerappauksen rakenne. Tässä rappaustyypissä rappausverkon paikka on täyttörappauksen välissä. (Lahdensivu et al. 2010.)

5.12.3. Kovalle alustalle tehtävä rappaus

Kovalle alustalle tehtävät rappaukset ovat joko ohutrappauksia tai paksurappauksia. Rappausjärjestelmään voi kuulua rappauslaastin lisäksi rappausverkko ja kiinnikkeitä. Rappauksen toimintaan ja ominaisuuksiin vaikuttaa oleellisesti rappausalusta, johon laasti kiinnittyy. Veden poistuminen kosteasta laastista rappaustyön aikana alustaan tai alempiin rappauskerroksiin voi aiheuttaa muutoksia rappauksen ominaisuuksiin. Rappausalusta voi olla paikalla valettu betoniseinä, betonielementti, kevytbetoni- tai kevytsorabetoniharkko, massiivitiiliseinä tai tiilikuorimuuri. Puuseinää ei ole käytetty rappausalustana yli 50 vuoteen. (Lahdensivu et al. 2005.)

Ratkaisevaa rappauksen kosteusteknisen toiminnan kannalta on huokosjakauman ero alustan ja sen rappauksen välillä. Jos rappauksen huokoskoko on suurempi kuin alustan, imee alusta kapillaarisesti itseensä vettä, joka pääsee kuivumaan hitaasti haihtumalla rappauskerroksen läpi. Jos taas rappauksen huokoskoko on pienempi kuin alustan, siirtyy kosteus kuivumisen alkuvaiheessa kapillaarisesti rappauskerroksen läpi, jolloin kuivuminen tapahtuu alkuvaiheessa nopeasti. Kuivuminen hidastuu, kun

pintakerroksen kosteuspitoisuus alenee kapillaarisen kosteuden siirtymisen kannalta kriittisen tason alapuolelle. (RIL 183-2.8-1994 1994.)

Jos rappaus maalataan, tulee pinnoitteen olla vettä hylkivä, jotta sadevesi ei imeytyisi rappauslaasteihin. Maalin tulee kuitenkin läpäistä hyvin vesihöyryä, jotta kosteus pääsee poistumaan rappauskerrosten läpi ja rakenne voi kuivua. Huokoisten rappauslaastien päälle ei saa levittää orgaanisia pinnoitteita. Kalkkirappauksien kanssa on suositeltava käyttää aina kalkkilaastia ja kalkkimaalia. (Lahdensivu et al. 2005.)

Kalkki- ja kalkkisementtilaasteilla tehdyt rappauskerrokset imevät runsaasti huokosrakenteeseensa vettä. Pinnan sileys ja sementin määrän lisääminen pienentävät imeytyvän veden määrää. Koska rappaus toimii alustansa uloimpana pintana, vaikuttaa alustan huokoisuus veden imeytymiseen ja kuivumiseen. Valmis rappauspinta voi sateelle altistuessaan imeä aluksi pieniä vesimääriä yhtä nopeasti kuin tiili, mutta suuret viistosademäärät aiheuttavat rappauksen pinnalle yleensä vesikalvon, jonka seurauksena vesi alkaa valua julkisivupintaa pitkin.

Sementtilaasteilla tehdyt ohutrappaukset kastuvat sateella yleensä suhteellisen nopeasti läpikotaisin. Paksun kaksi- tai kolmikerrosrappauksen kastuminen ja kuivuminen kestää kauemmin kuin ohutrappauksen, mutta paksulla monikerroksisella rappauksella on mahdollista vähentää alustaan imeytyvän veden määrää. Kaikkien julkisivuissa käytettävien rappauslaastien tulee olla hyvin pakkasenkestäviä. (Lahdensivu et al. 2005.)

Kiviainespinnoille tehtävät yksi-, kaksi- ja kolmikerrosrappaukset

Yksikerrosrappauksessa kaikki rappauskerrokset tehdään yhdellä laastilla. Laasti on yleensä sementtipohjainen, sen runkoaines on hienojakoista ja valmiiksi pigmentoitu. Rappauksen lämpö- ja kosteusliikkeiden hallitsemiseksi, sekä halkeilun eliminoimiseksi, tulee ohutrappauksen paksuuden olla alle 10 mm. Suositeltava kokonaispaksuus on n. 5 mm. Yksikerrosrappaus jättää alustan struktuurin näkyviin, kuten kuvassa 5.39.



Kuva 5.39. Vasemmalla yksikerrosrappaus ja oikealla kaksikerrosrappaus

Kaksikerrosrappaus koostuu tartunta- tai pohjarappauksesta sekä pintarappauksesta. Kaksikerrosrappaus tehdään kahdella eri laastilla, jotka voivat olla sekä kalkkisementti-

että sementtilaasteja. Tartunta- ja pohjarappaus lyödään tai ruiskutetaan täysin peittävästi ja tiiviisti esikostutetun rappausalustan pintaan. Tartuntalaasti lyödään kahtena 3...5 mm paksuna kerroksena. Pintarappaus tehdään tyypillisesti kahteen kertaan 1...3 mm paksuina kerroksina joko sementtilaastilla tai KS-pohjaisella jalolaastilla. KS-laastilla tehtävän kaksikerrosrappauksen kokonaispaksuus on 10...15 mm. Sementtilaasteilla tehtävä kaksikerrosrappaus eroaa merkittävästi materiaaleiltaan, ominaisuuksiltaan ja työtekniikoiltaan KS-laasteilla tehtävistä rappauksista. Sementtilaasteilla tehtävän rappauksen kokonaispaksuus on noin 10 mm. (Lahdensivu et al. 2005.)

Kolmikerrosrappaus, kuten kuvassa 5.40, koostuu tartuntarappauksesta, täyttörappauksesta ja pintarappauksesta. Yleensä käytettävät laastiyhdistelmät ovat sellaisia, että laastin lujuus heikkenee kerroksittain pintaa kohti. Laastikerrosten sementin osuus on siten sitä suurempi, mitä lähempänä alustaa ollaan. Tartuntarappauksella saadaan aikaan luja tartunta alustaan ja lisää tartuntapintaa täyttörappaukselle. Lisäksi se tasaa alustan veden imua. Tartuntarappauksen alustan peittävyys on 75...90 % siten, että pinnassa saa paikoitellen olla noin kämmenen suuruisia paljaita kohtia. Kerroksen paksuus 0...3 mm. Rappaus on yleensä paljon sideainetta sisältävää, vetelää sementtilaastia, joka ruiskutetaan tai lyödään alustaan. Karkeapintainen tartuntarappauskerros ei saa olla paksu, koska rappaus saattaa olla alustansa lujempi. Muutoin rappaus lohkeillessaan saattaisi irrottaa alustasta isoja paloja.



Kuva 5.40. Tummansävyisen kolmikerrosrappauksen lämpöliikkeet on huomioitu asentamalla täyttörappauksen väliin rappausverkko.

Täyttörappauksen tarkoituksena on tasata alustan epätasaisuudet ja muodostaa koristerappauksissa rappauksen kuviot. Täyttörappauksen paksuus on 10...30 mm ja kolmikerrosrappauksen paksuimpana kerroksena se tyypillisesti määrää koko rappauksen ominaisuudet. Yli 20 mm paksu täyttörappaus tulee tehdä useampana kerroksena. Täyttörappauksen pinnan tulee jäädä karheaksi, jotta pintarappauksella on

hyvä tartuntapinta. Pintaa ei saa työstää liikaa, jottei tartunta häiriinny tai sementtiliima erotu.

Pintarappaus muodostaa rapattuun julkisivuun halutun struktuurin. Se on tyypillisesti ohut 3...5 mm paksuinen kerros, jonka lujuus on kolmikerrosrappauksen heikoin. Pintarappaus tehdään usein pigmenttejä sisältävällä jalolaastilla kahteen kertaan. Pintarappaus voi myös olla runsaasti polymeerejä sisältävä laasti, joka ei ime kapillaarisesti vettä, mutta läpäisee hyvin vesihöyryä. (Lahdensivu et al. 2005.)

Tuulettuva levyrappausjärjestelmä

Kovalle levyalustalle tehtävä rappaus on tuulettuva rakenne. Tuulettuva levyrappausjärjestelmä koostuu levystä, kiinnikkeistä, saumojen käsittelyratkaisusta ja levyn päälle tehtävästä ohutrappauksesta. Alustana toimivan levyn tulee olla säänkestävä ja sen kosteuden- ja lämpötilanmuodonmuutosten tulee olla pienet. Rappausalustana käytettävä levyt ovat lasipohjaisia, kevytsora- tai kuitusementtilevyjä, jotka kestävät ulko-olosuhteissa toistuvaa kastumista ja jäätymissulamirasitusta. Ohutrappaus on samanlainen kuin ohuteristerappausjärjestelmissä. Tuulettuvaa levyrappausjärjestelmää käytetään sekä uudis- että korjausrakentamisessa.

Kosteusteknisen toiminnan kannalta on kiinnitettävä huomiota riittävään tuuletukseen (tuuletusväli vähintään 20 mm), verhousrakenteen sadevedentiiviyyteen ja vuoto- ja kondenssiveden hallintaan. (Lahdensivu et al. 2010.)

5.12.4. Laastit

Rappauslaastit ovat epäorgaanisia laasteja. Laasti koostuu sideaineesta, runkoaineesta, vedestä ja mahdollisista muista lisäaineista ja ne voidaan jakaa sideaineiden perusteella kalkki-, kalkkisementti- ja sementtिलाasteihin sekä polymeerimodifioituihin laasteihin. Nykyisin kaikkiin ulkona käytettäviin laasteihin lisätään huokostimia ja notkistimia, jotka parantavat laastin pakkasenkestävyyttä ja käsiteltävyyttä.

Kalkkilaasti

Aiemmin käytetty kalkkilaasti koostui sammutetusta kalkista tai hydraulisesta kalkista, runkoaineesta sekä vedestä. Sammutettu kalkki on ilmasideaine, mikä tarkoittaa, että laasti kovettuu ilman hiilidioksidin vaikutuksesta. Sammutettua kalkkia sisältävä laasti ei kovetu vedessä. Laasti kovettuu kuivumiskovettumisen ja karbonatisoitumisen vaikutuksesta ja sen loppulujuus on alhainen, mistä johtuen kalkkirappauksen pakkasenkestävyys on heikko. Ilman suhteellisen kosteuden on oltava 50...80 %, jotta kovettuminen on mahdollista. Kun kalkkilaastin sideaineena on hydraulista kalkkia, kovettuu laasti myös kosteassa. Hydraulista kalkkia saadaan rauta-, alumiini- ja piiyhdisteitä sisältävää kalkkikiveä polttamalla. Nykyaikaisissa kalkkilaasteissa hydraulinen kalkki on korvattu pienellä määrällä sementtiä.

Kalkkilaastia on helppo työstää ja se säilyy pitkään käyttökelpoisena. Kalkkirappaus on käytännössä aina kostea materiaalin korkean tasapainokosteuden

vuoksi. Laastin vesihöyrynläpäisevyys kasvaa hieman kosteuspitoisuuden kasvaessa. Vesihöyrynläpäisevyys δ_v on $1 \dots 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Kalkkilaastin diffuusionvastuskerroin μ on rappauslaasteista pienin, 7. Kalkkilaastin kapillaari-imu on laasteista voimakkain, sen kapillariteettikerroin A_w on $0,500 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Kalkkirappauksen kemiallinen kestävyys on melko heikko. (Pentti 1988; Hedenblad 1996; Siikanen 2001; Fraunhofer Institut 2006.)

Kalkkilaastia on aiemmin lisätty muihin laasteihin parantamaan niiden käsiteltävyyttä ja työstöaikaa, mutta kalkkilaastin työstöminaisuudet ovat huonot verrattuna nykyaikaisilla lisäaineilla varustettuihin laasteihin.

Kalkkisementtilaasti (KS-laasti)

Kalkkisementtilaastin sideaineena käytetään ilmakalkin lisäksi portlandsementtiä. Sementti lisää laastin lujuutta, tiiviyyttä ja kovettumisnopeutta ja kalkki parantaa laastin käsiteltävyyttä. Lisäksi laastin vedenläpäisevyys ja huokoisuus pienenevät sementin osuuden kasvaessa. Kalkkisementtilaastin tasapainokosteus kosteuspitoisuudessa 90 % RH on noin 2...4 painoprosenttia. Vesihöyrynläpäisevyys δ_v on $1 \dots 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. KS-laastin diffuusionvastuskerroin μ on 19. Laastin kapillariteettikerroin A_w on $0,333 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Kalkkisementtilaasti on hydraulinen laasti. (Hedenblad 1996; Lahdensivu et al. 2005; Fraunhofer Institut 2006.)

Sementtilaasti

Sementti on voimakkaasti hydraulinen sideaine. Sementtilaasti kuivuu nopeasti ja laasti saavuttaa korkean lujuuden. Lujuuden kehittyminen edellyttää riittävää vesimäärää, eli on huolehdittava siitä, että alusta tai rappauskerrokset eivät ime sementtilaastin vettä itseensä. Sementtilaasti tarvitsee hyvän jälkihoidon kutistumishalkeilun välttämiseksi. Sementtipitoisten laastien lämmönjohtavuus on parempi kuin kalkkipitoisemmilla laasteilla. Sementtilaasti on tiiviimpää kuin muut laastit. Sementtirappaukset lähenevätkin ominaisuuksiltaan betonin ominaisuuksia. (Pentti 1988, Siikanen 2001.) Sementtilaastin tasapainokosteus kosteuspitoisuudessa 90 % RH on noin 2,5...6 painoprosenttia. Sementtilaasti läpäisee vesihöyryä vähemmän. Vesihöyrynläpäisevyys δ_v on $0,2 \dots 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Sementtilaastin diffuusionvastuskerroin μ on 17. Laastin kapillariteettikerroin A_w on $0,333 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. (Hedenblad 1996; Lahdensivu et al. 2005; Fraunhofer Institut 2006.)

Kipsilaasti

Kipsilaasti ei muiden laastien tavoin kovettuessaan kutistu vaan se paisuu. Laastia käytetään kuivissa sisätiloissa, koska kipsi ei kestä vesirasitusta. Kipsi liukenee veteen. Laastia on helppo käsitellä ja sen työstöaika on pitkä, 2...3 tuntia. Laastia käytetään mm. katon ja seinien rappauspinnoissa, oikaisumassana ja kipsilevyjen saumojen tiivistämiseen. Kipsirappaukset ovat paksumpia kuin muilla laasteilla tehtävät rappaukset. Seinien ja kattojen rappaukset saadaan tehtyä yhdellä levityskerralla käyttämällä 15 mm kerrospaksuutta. Seinien rappausten maksimipaksuus on 35 mm,

kattojen 25 mm. Kipsilaastin diffuusionvastuskerroin μ vaihtelee suhteellisen kosteuspitoisuuden kasvaessa välillä 11...5. Laastin kapillariteettikerroin A_w on 0,367 kg/(m²·s^{0,5}). Kipsi lisää metallien korroosiota. (Fraunhofer Institut 2006; Gyproc Oy 2006.)

Polymeerimodifioidut laastit

Nykyaikaisissa pintarappauksissa ja eristerappausjärjestelmissä käytetään erilaisia polymeerimodifioituja sementtipohjaisia laasteja, jotka eivät juuri ime vettä kapillaarisesti ja jotka yleensä läpäisevät hyvin vesihöyryä. Polymeerimodifioiduilla laasteilla saadaan hyvä tartunta EPS-eristelevyyn ja mineraalivillaa. Lisäksi tuotteiden käsiteltävyys on hyvä.

Silikonihartsilaasti on elastinen ja helppo työstää. Laastin diffuusionvastuskerroin μ on noin 74 eikä se ime vettä kapillaarisesti. Silikonihartsilaastit estävät levän ja homeen kasvamista pinnoilla.

Keinohartsilaastit ovat vesitiiviitä ja niiden diffuusionvastuskerroin μ vaihtelee ilman suhteellisesta kosteuspitoisuudesta riippuen välillä 1000...300. Laastit eivät ime vettä kapillaarisesti. Osa keinohartsilaasteista soveltuu työskentelyyn talviolosuhteissa. (Fraunhofer Institut 2006.)

Lisäksi on olemassa joukko silikaattipohjaisia mineraalisia laasteja, joita käytetään ohuteristerappausjärjestelmissä. Laastit läpäisevät hyvin vesihöyryä. Näin rakenteessa oleva kosteus pääsee kuivumaan hyvin rappauskerroksen läpi. Silikaattipohjaisen laastin kapillaarinen vedenimu on hidasta ja vähäistä. Laastien suhteellinen diffuusionvastuskerroin S_d on hyvin pieni ja se on riippuvainen ilman suhteellisesta kosteuspitoisuudesta.

5.12.5. Tasoitteet

Tasoite on rakennusosien tasoittamiseen tarkoitettu tuote, joka koostuu side-, runko- ja lisäaineista. Tasoitteet voidaan jakaa pääsideaineen mukaan kipsipohjaisiin, vesiliukoisiin liimoihin pohjautuviin, muovidispersioihin pohjautuviin sekä sementtiin ja kalkkiin pohjautuviin tasoitteisiin. Tasoitemassat voivat sisältää myös kuituja sekä tartuntaa ja leviävyyttä parantavia lisäaineita. Tasoitteilla voidaan tasoittaa seiniä, lattioita tai sisäkattoja. Lattioille tarkoitetut tasoitteet ovat huomattavasti lujempia ja kovempia kuin seinillä ja sisäkatoissa käytettävät tuotteet. Tasoite voidaan levittää yhtenä kerroksena (lattiatasoite) tai pinta voidaan tasoittaa usealla kerroksella. (Siikanen 2001.)

Seinien ja sisäkattojen tasoitteena käytetään kipsilaastia, joka soveltuu pintojen oikaisuun kuivissa sisätiloissa. Laasti solveltuvia alustoja ovat kiviainespinnaiset, muuratut sekä rapatut alustat. Betonialusta pohjustetaan tartuntaa parantavalla ja imua tasaavalla dispersiolla. Kipsitasoite voidaan tehdä yhtenä 5...50 mm paksuna kerroksena koneellisesti tai käsin, kuten kuvassa 5.41. (maxit Oy Ab 2006.)



Kuva 5.41. Kipsilaastilla voidaan tasoittaa seinäpintoja koneellisesti tai käsin. Työskentelyaikana lämpötilan on oltava vähintään +10 °C. (maxit Oy Ab 2006.)

Pumpattavaa ja itsestään tasoittuvaa kipsisideaineineista lattiamassaa tai –tasoitetta käytetään pääasiassa betonipintaisten lattioiden tasoitukseen. Kipsitasoitteet sisältävät poltetun kipsin lisäksi pieniä määriä kemiallisia lisäaineita. Seosaineena voi myös olla sammutettua kalkkia, sementtiä, runkoaineita, kuituja ja lisäaineita. Koneellisesti levitettävien kipsitasoitteiden sitoutumisaikaa pidennetään kemikaaleilla työstettävyyden helpottamiseksi ja seosveden liian nopean alustaan imeytymisen estämiseksi. Kipsitasoite kovettuu kipsiaineen reagoidessa veden kanssa. Työstettävyyden vuoksi sideaineeseen lisätään vettä 60...120 %, kuin mitä olisi hydratoitumisen kannalta tarpeen, vaikka teoreettisesti vettä tarvittaisiin 18,6 %. Hydratoitumisen jälkeen vapaana oleva ylimääräinen vesi muodostaa huokosia. Siten seosveden määrän noustessa kasvaa myös kokonaishuokostilavuus. Lattiatasoitteen paksuus on 10...35 mm, kun se valetaan liitosrakenteena suoraan kiinteän alustan päälle. Uivissa lattiarakenteissa kerrospaksuus on 20...80 mm. Kipsipohjaisen lattiatasoitteen lämmönjohtavuus λ on noin 1,4...1,87 W/(m·K). (Häkkinen & Kanerva 1980; Knauf Oy 2009.)

Pumpattavat sementtipohjaiset lattiatasoitteet sisältävät tartuntaa ja leviävyyttä parantavia aineita sekä kuituja. Massan tiheys on 1900 kg/m³ ja lämmönjohtavuus λ_{10} on noin 0,5...0,7 W/(m·K). Pumpattavan, valun jälkeen kuivuvan sementtipohjaisen lattiatasoitteen vesihöyrynläpäisevyys δ_v on 0,5...1,25 ·10⁻⁶ m²/s, kun kerroksen paksuus on 9 mm. Vesihöyrynläpäisevyys kasvaa kosteuspitoisuuden kasvaessa. (Hedenblad 1996; Alakulju, A 2010.)

5.13. Lasi

5.13.1. Yleistä

Lasi on homogeeninen, isotrooppinen, myötämätön ja virumaton materiaali, joka on muodostunut sulatettujen silikaattien massan jäähtyessä nestemäisestä olomuodostaan. Rakennuslasina käytetään tavallisimmin float-lasia, joka on valmistustekniikasta johtuen hyvin tasaista ja optisesti virheetöntä. Suomessa valmistettava sooda-kalkki-silikaattilasin raaka-aineina käytetään 57,5 % hiekkaa, 18,0 % soodaa, 15,5 % dolomiittia, 4,0 % maasälpää, 0,5 % natriumsulfaattia, 4 % kalkkia ja rautaoksidia. Lasin ominaisuuksia voidaan muokata mm. raaka-aineilla, pinnoitteilla, lämpökarkaisulla ja laminoinnilla. (Tenhunen 2003.)

Lasi kestää korkeita lämpötiloja lämmitessään tasaisesti koko pinta-alaltaan, mutta suuria sisäisiä lämpötilaeroja se ei kestä, koska lämpölaajeneminen aiheuttaa lasin reuna-alueilla vetojännitystä, joka voi rikkoa lasin. Lämpökarkaisu vähentää tätä riskiä. Lasin lämmönjohtavuus λ_{design} on 1 W/(m·K) ja pituuden lämpötilakerroin on $8 \dots 9 \cdot 10^{-6}$ 1/K. Lasin lämpötilanvaihteluista aiheutuvaa rikkoontumisriskiä lisää mm. suuri valon absorptio, jollainen on esimerkiksi massavärjättyillä auringonsuojalaseilla. Absorptiokertoimen suuruuteen vaikuttaa myös lasilevyn paksuus, kuten nähdään taulukosta 5.7. (Tenhunen 2003; SFS-EN ISO 10456 2008.)

Taulukko 5.7. Standardin SFS-EN 410 (1998) mukaan määritettyjä auringonsäteilyn absorptiokertoimien α_{sol} arvoja joillekin lasityypeille, jotka on julkaistu Lasifakta 2002:ssa. (Tenhunen 2003.)

Lasityyppi	Lasilevyn paksuus			
	4 mm	6 mm	10 mm	19 mm
Tavallinen float-lasi	0,10	0,14	0,21	0,33
Pinnoitettu energiansäästölasi	0,17	-	-	-
Läpivärjätty auringonsuojalasi	0,38...0,39	-	0,62...0,67	-
Läpivärjätty auringonsuojalasi	0,47	-	0,71	-
Pinnoitettu auringonsuojalasi	-	0,61...0,63	-	-

Lasi voidaan pinnoittaa muutamien mikrometrien paksuisilla pinnoitteilla, joilla voidaan parantaa esimerkiksi lasielementin lämmöneristävyyttä tai voidaan vaikuttaa säteilyn läpäisymäärään, heijastavuuteen tai lasin puhdistettavuuteen. Pinnoitteet ovat yleensä metallioksidipinnoitteita, joiden paksuus on muutamia mikrometrejä. Esimerkiksi selektiivinen hopeapinnoite läpäisee ulkoa tulevan auringon lyhytaaltoisen säteilyenergian mutta heijastaa takaisin huoneesta ulos pyrkivän pitkäaaltoisen lämpösäteilyn. (Tenhunen 2003.)

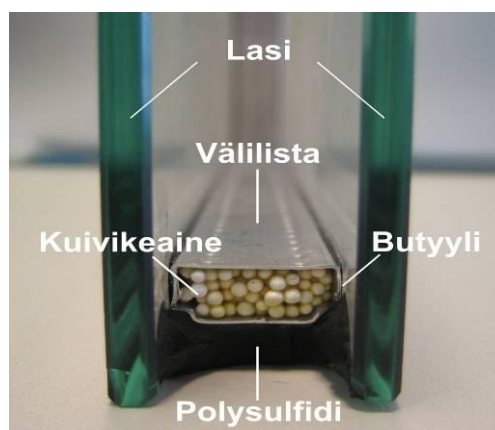
Tavallisen lasin ominaisuus säteillä pitkäaaltoista lämpösäteilyä eli emissiviteetti ε on 0,84. Auringonsuojalasiensa titaanioksidipinnoite on kovapinnoite, jonka emissiviteetti ε on noin 0,16...0,20. Pehmeäpinnoitteiden, kuten selektiivilaseissa käytettävien pinnoitteiden, emissiviteetti ε vaihtelee välillä 0,04...0,12.

Matalaemissiivisillä lasilla voidaan saavuttaa emissiviteetti ε 0,03 yhdistämällä useita pinnoitekerroksia (hopea, titanioksidi ja nikkeli-kromi). (Tenhunen 2003.)

Pinnoittamaton, kirkas 3 mm float-lasi heijastaa siihen osuvasta auringon energiasta 7...8 %, energiaa imeytyy lasin raudan oksideihin 9 % ja 83 % auringon energiasta läpäisee lasin. Lasilevyn, jonka paksuus on 3,2 mm, läpäisykerroin τ on 0,79. Lasi, joka sisältää hyvin vähän raudan oksideja on kirkas ja sen läpäisykerroin on 0,88. Valon läpäisykerroin riippuu myös valonsäteilyn kohtaamiskulmasta. Valonsäteen saapumiskulman ollessa yli 60 astetta pinnan normaaliin nähden valon läpäisy vähenee voimakkaasti. 90 asteen kulmassa kaikki valo heijastuu. Peilaamattomien lasien heijastavuus voi olla 1 %. Ominaisuus saadaan aikaan ohuilla pinnoitteilla. Laminointi vähentää myös lasipinnan heijastavuutta. (Tenhunen 2003; Vinha 2009.)

5.13.2. Eristyslaseielementit

Eristyslaseielementti (kuva 5.42) koostuu kahdesta tai useammasta lasilevystä, jotka on liitetty toisiinsa ilmatiiviisti välilistoilla. Lasilevyjen välitilassa käytetään eristekaasuina ilmaa tai jalokaasuja, kuten argonia, kryptonaa ja xenonia, jotka parantavat elementin lämmöneristävyttä. Rikkiheksafluoridi parantaa elementin ääneneristävyttä, mutta suuremman tiheydensä takia heikentää lämmöneristävyttä. Eristyslaseielementin lämmöneristävyys voi heiketä ajan kuluessa, kun eristekaasu lasielementtien välissä korvautuu ilmalla diffuusion vaikutuksesta. Siksi lasilevyjen tiivistyksessä käytetään kaksivaihetivistystä, jossa sisempi saumaus plastisella polyisobutyylimassalla, jolla on suuri diffuusiovastus. Laselementtien reunojen saumauksessa käytetään kestoelastista polysulfidisaumausta, jonka kestävä ja elastinen sidos pitää lasielementin koossa. Saumaus mahdollistaa lämpötilan- ja painevaihtelusta aiheutuvat liikkeet ja estää vesihöyryn pääsyn välitilaan sekä kaasun haihtumisen. (Tenhunen 2003.)



Kuva 5.42. Poikkileikkaus eristyslaseielementistä. (Glaskon 2008.)

Yhdistelemällä eripaksuisia lasilevyjä, pinnoitteita sekä eristyskaasuja päästään pieniin lämmönjohtavuuden arvoihin. Kolmilasisella eristyslaseielementillä saavutetaan U-arvo $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. (Pilkington NSG 2009.)

6. YHTEENVETO

Rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisten ominaisuuksien tunteminen mahdollisimman tarkasti on perusedellytys laskennallisten rakennusfysikaalisten tarkastelujen onnistumiselle. Tärkeintä on tuntea materiaalien lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Lisäksi tarkasteltaessa rakenteen lämmöneristävyyttä on tunnettava lämmöneristeen ilmanläpäisevyys. Tässä työssä koottiin taulukoihin Suomessa tällä hetkellä käytettävien rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaalisia ominaisuuksia. Lisäksi työssä kerrottiin rakennusmateriaalien ja -tuotteiden lämpö- ja kosteusteknisestä käyttäytymisestä niille ominaisessa käyttöympäristössä. Materiaalitalukoihin koottuja lukuarvoja on pyritty avaamaan kunkin tuoteryhmän tai materiaalin rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta.

Materiaalien lämpö- ja kosteusteknisiä ominaisuuksia kerättiin taulukoihin useista eri suomalaisista ja ulkomaalaisista lähteistä: suoraan materiaalivalmistajilta, tuote-esitteistä, tutkimusjulkaisuista ja muusta kirjallisuudesta. Saman materiaalin materiaaliominaisuudet saattavat vaihdella yllättävän paljon eri lähteissä, jolloin taulukoista jätettiin pois muista arvoista paljon poikkeavat arvot, tai poikkeuksista on mainittu viitetiedoissa. Arvojen vaihtelun taustalla voi olla esimerkiksi erilaiset mittausten menetelmät tai mittaolosuhteet. Lisäksi eri maissa valmistettujen materiaalien ominaisuudet voivat poiketa toisistaan, koska rakennusmateriaalien raaka-aineen alkuperämaa vaikuttaa myös ominaisuuksien. Esimerkiksi tiili on suomalaisesta savesta valmistettuina lujempaa, kestävämpää ja sen muodonmuutokset ovat pienemmät kuin esimerkiksi Keski- ja Etelä-Euroopassa valmistetuilla tiilillä.

Materiaaliominaisuudet koottiin taulukoihin ja puuttuvia arvoja laskettiin muuntokaavojen avulla, mikäli se oli mahdollista. Lähes kaikki rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa tarvittavat kosteustekniset ominaisuusarvot voidaan laskea, mikäli tiedetään materiaalin paksuus ja yksi kosteustekninen ominaisuusarvo. Monen materiaalin kohdalla materiaalipaksuus vaikuttaa kuitenkin oleellisesti kosteusteknisiin arvoihin, esimerkiksi materiaalin vesihöyrynvastukseen. Siksi taulukoihin ei ole laskettu kaikkia arvoja, vaan taulukoiden käyttäjälle on annettu laskukaavat, joilla ominaisuusarvot halutulle kerrospaksuudelle voidaan laskea. Erityisesti ohuiden kalvojen ja laminaattien kohdalla tulee huomioida, että kerrospaksuuden muuttuminen vaikuttaa esimerkiksi diffuusiovastuskertoimen μ arvoon suhteellisesti paljon enemmän, kuin paksummilla levymäisillä tuotteilla. Lisäksi rakennusfysikaalisissa laskentaohjelmissa pienin mahdollinen ohjelmaan syötettävä materiaalipaksuus voi olla jokin muu kuin taulukossa annettu, jolloin tuotteen materiaaliominaisuudet on muutettava vastaamaan kyseistä kerrospaksuutta.

Käytettäessä materiaaliominaisuuksia rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa on huomioitava, että ominaisuudet vaihtelevat monen tekijän mukaan. Jokaisen ominaisuuden kohdalla on pohdittava, kuinka paljon kyseistä ominaisuusarvoa voi yleistää ja soveltaa käytettäväksi kaikissa samasta materiaalista valmistetuissa tuotteissa. Rakennusmateriaaleille mitatut ominaisuudet eivät ole yksiselitteisiä vakioarvoja, vaan ne voivat vaihdella samallakin tuotteella mm. materiaalin huokoisuuden, tiheyden ja kerrospaksuuden sekä ympäröivien olosuhteiden mukaan.

Lämmönjohtavuus riippuu mm. materiaalin tiheydestä, huokoisuudesta sekä ympäristön lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta. Usein lämmöneristekerrospaksuuden kaksinkertaistaminen ei paranna samassa suhteessa eristeen lämmöneristävyttä. Esimerkiksi avohuokoisilla lämmöneristeillä sisäinen konvektio heikentää lämmöneristävyttä suhteellisesti enemmän kerrospaksuuden kasvaessa. Siten on tärkeää tuntea myös huokoisten materiaalien ilmavirtaustekniset ominaisuudet. Rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa on tärkeä tietää lämmöneristeiden lämmönjohtavuus myös lämmityskauden oloissa. Lähes kaikkien lämmöneristeiden lämmöneristävyys paranee lämpötilan laskiessa.

Lämpötekniisesti tärkeitä ominaisuuksia ovat myös materiaalipintojen emissiivisyys ε ja heijastavuus. Ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi materiaalipinnan pintalämpötilaan ja sitä kautta esimerkiksi lämpötilasta materiaalille aiheutuviin muodonmuutoksiin.

Rakennusmateriaalit voidaan jakaa hygroskooppisiin ja ei-hygroskooppisiin. Hygroskooppiset materiaalit sitovat itseensä ilmassa olevaa kosteutta ja luovuttavat sitä. Käytännössä kaikki muut materiaalit käyttäytyvät hygroskooppisesti, paitsi metallit ja lasi, koska niillä ei ole huokosia, joihin kosteus voisi sitoutua. Hygroskooppisten materiaalien materiaaliominaisuuksiin vaikuttaa siten ympäristön kosteuspitoisuus. Kosteus sitoutuu hygroskooppisesti huokosiin, joiden koko on alle 1 μm . Kosteus voi sitoutua materiaaliin myös kapillaari-imun avulla huokosiin, joiden koko on n. 1...10 μm . Suuremmissa huokosissa vesi liikkuu painovoiman tai paineen vaikutuksesta. Materiaalin kosteusteknisiin ominaisuuksiin vaikuttaa siten merkittävästi huokosten koko ja huokosjakauma.

Markkinoille tulee jatkuvasti uusia tuotteita ja materiaaleja, kuten lämmöneristeitä, vastaamaan matalaenergia- ja passiivitalojen vaipparakenteiden lämmöneristävyys- ja ekologisen rakentamisen tarpeita. Materiaalivalmistajat ja -toimittajat ilmoittavat vaihtelevasti tuotteiden rakennusfysikaalisiin ominaisuuksiin liittyvä tietoa. Osa ilmoittaa tuotteistaan hyvin yksityiskohtaista tietoa ja selvittää tuotteiden rakennusfysikaalista toimintaa, mutta usein rakennusfysikaalisista ominaisuuksista annettu tieto on melko suppeaa ja valikoivaa. Ominaisuuksista käytettävät nimet, yksiköt ja mittaolosuhteet vaihtelevat. Usein annetuista arvoista ei käy ilmi mittausmenetelmä, mittaustapaa osoittava alaindeksi tai mittaolosuhteet. Jos näitä ei tiedetä, materiaaliarvon käyttäminen rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa on epävarmaa. Esimerkiksi lämmönjohtavuuksien λ_n -arvot ja λ_{design} -arvot poikkeavat

toisistaan, eikä normaalista lämmönjohtavuuden arvoa voida käyttää lähtötietoina EN-standardien mukaisissa laskelmissa.

Rakennusfysiikkaa käsittelevää suomenkielistä kirjallisuutta on olemassa melko vähän. Rakennusmateriaaleista kertova kirjallisuus on usein vanhentunutta. Materiaalien tuotekehitys ja uusien materiaalien tulo markkinoille aiheuttaa sen, että melko uusikin käsikirja voi sisältää puutteellista tai vanhentunutta tietoa. Uusin materiaaliominaisuuksiin liittyvä tieto on materiaalivalmistajilla.

Jatkotoimenpiteenä ehdotetaan materiaalivalmistajia ja -toimittajia kertomaan jatkossa vieläkin avoimemmin tuotteidensa rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Rakennusfysikaalisten tarkastelujen kannalta olisi hyvä ilmoittaa yksityiskohtaisemmin tuotteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan liittyvät sekä ilmanläpäisevyyden materiaaliarvot.

LÄHTEET

Kirjallisuuslähteet

BASF The Chemical Company. 2009. Euroopan vihreä esite Styrodur C. Suositellut käyttökohteet ja tekniset tiedot. BASF The Chemical Company. 4 s.

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja Kosteus. Rakennusfysiikka. Saarijärvi, Rakennustieto Oy. 150 s.

Björkholtz, D. 1990. Rakennuksen kuivattaminen. Tampere, Suomen Rakennusteollisuusliitto Ry, Oy Dick Björkholtz Consulting Ab, Rakentajain Kustannus Oy. 76 s.

Doran, D.K. 1992. Construction Materials Reference Book. 830 p.

Ehoniemi K. & Lindberg, R. 1989. Hirsirakenteiden kestävyys. Raportti 37. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. 115 s. + 13 liites.

Gyproc Oy. 2006. Gyproc Käsikirja. Helsinki, Gyproc Oy. 495 s.

Hagentoft, C-E. 2001. Introduction to Building Physics. Lund, Studentlitteratur AB. 422 s.

Hedenblad, G. 1996. Fuktsäkerhet i byggnader. Materialdata för fuktransportberäkningar. Byggeforskningsrådet. 55 s.

Heino, E. & Sundholm, P. 1995. Ekotalon rakennusaineet. Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy. 79 s.

Heino, T. 2000. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Rakennetekniikan laitos, Talonrakennustekniikka. 107 s. + 6 liites.

Häkkinen, T. & Kanerva, P. 1980. Katsaus kipsin rakennusteknisiin ominaisuuksiin. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Rakennetekniikan laitos, julkaisu 34. Espoo, Helsingin teknillinen korkeakoulu. 75 s.

Höyhtyä, M. & Vanttinen, Y. 1989. Muuratut rakenteet 1. Talonrakennus. Jyväskylä, Rakentajain Kustannus Oy. 198 s.

- Kauriinvaha, E., Sutela, R., Yrjölä, R. & Viljanen, M. 2001. Kosteusteknisesti turvallinen sahanpurueristeinen pientalo. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio. 87 s.
- Kokko E., Ojanen, T., Salonvaara, M., Hukka, A. & Viitanen, H. 1999. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Rakennustekniikka. 161 s.
- Koski, T., Lindberg, R. & Vinha, J. 1997. Lisäeristettyjen hirsiseiniä kosteustekninen kunto. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto. 107 s. + 51 liites.
- Kumaran M., K. 1996. Heat, Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts. Final Report. Volume 3. Task 3: Material Properties. International Energy Agency. 135 p.
- Kuntsi, S. 1998. Katot ja vedeneristys. Helsinki, Opetushallitus, Rakennusalan kustantajat. 116 s.
- Lahdensivu, J. 2003. Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseiniä vaurioituminen ja korjausperiaatteet. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, talonrakennustekniikka, tutkimusraportti 127. 159 s. + 9 liites.
- Lahdensivu, J., Pentti, M., Mattila, J.S. & Haukijärvi, M. 2005. Rappauskirja 2005. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys r.y., Julkaisusarja by 46. 158 s.
- Lahdensivu, J., Suonketo, J. & Vaarala, M. 2010. Eriste- ja levyrappaus 2010. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys r.y. Julkaisusarja by 57. Julkaisematon. 138 s. + 20 liites.
- Leivo, V. & Rantala, J. 2002a. Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Tutkimusjulkaisu 120. Tampere, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Talonrakennustekniikka., 2002a. 106 s. + 13 liites.
- Leivo, V. & Rantala, J. 2002b. Maanvastaiset alapohjarakenteet- kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. Julkaisu 121. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. s. 33 s. + 13 liites.
- Lindberg, R., Wahlman, J., Suonketo, J. & Paukku, E. 2002. Kosteusvirta-tutkimus. Julkaisu 119. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto. 93 s. + 3 liites.

Nevander L., E. & Elmarsson, B. 1994. Fukthandbok. Praktik och teori. AB Svensk Byggtjänst. 526 s.

Paloniitty, S. & Kauppinen, T. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Rakennusteollisuus RT. Helsinki, Rakennusteollisuuden kustannus RTK. 120 s.

Peltonen, P. 1988. Luonnonkiven käytön kehittäminen Pirkanmaalla. Raportti 17. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu. 63 s. +15 liites.

Pentti, M. 1988. Ulkoseinärakenteiden pitkäaikaiskestävyys. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Talonrakennustekniikka. 254 s.

Pentti, M. & Hyypöläinen, T. 1999. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka, julkaisu 94. 147 s. + 40 liites.

Pilkington NSG. 2009. Lasifakta 2009, Perustietoa lasista. Pilkington NSG. 7 s.

Pro Clima. 2010. Pro Clima Wissen 2010/11. Systeme, Produkte, Service. Pro Clima. 369 s.

Rainamo, M. & Riikonen, M. 1999. Lasirakentajan käsikirja. Tampere, Enterpress Oy. 152 s.

RakMk C4. 2003. Lämmöneristys, ohjeet 2003. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki, Ympäristöministeriö. 28 s.

RIL 107-2000. 2009. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. 211 s.

RIL 127. 1986. Muovit rakentamisessa. Forssa, Forssan Kirjapaino Oy. 305 s.

RIL 155. 1984. Lämmön- ja kosteudeneristys. Jyväskylä, Gummerus Oy, 389 s.

RIL 183-2.22-1996. 1996. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä . Rakennukset höyrykarkaistusta kevytbetonista. Teollisuusrakennus. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 100 s.

RIL 183-2.8-1994. 1994. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä II. 8. Materiaaliyhdistelmät: Puun, betonin ja rappauksen pinnoittaminen. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 111 s.

- RIL 183-3.1...2-19. 1994. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikä. Rasitukset: 3.1 Yleistarkastelu 3.2 Kosteus. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 101 s.
- RIL 225-2004. 2005. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Helsinki, DARK Oy. 115 s.
- Rissanen R. & Viljanen, M. 1998. Kasvikuitupohjaiset materiaalit lämmöneristeenä. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikan laboratorio 72 s.
- RT 36-10690. 1999. EPS-ERISTEET. Rakennustieto Oy.
- RT 37721. 2009. LEIJONA-LEVYTT. Huokoiset puukuitulevyt. Suomen Kuitulevy Oy. Rakennustieto Oy.
- RT 37778. 2009. ALUSKATTEET JA -KERMIT JYRKILLE KATOILLE. Icopal Oy. Rakennustieto Oy. 06 2009. 2 s.
- RT 37790. 2009. EPS-LÄMMÖNERISTEET. EPS-rakennuseristeteollisuus. Rakennustieto Oy. 8 s.
- RT 37805. 2009. JULKISIVUMATERIAALIT. Rakennuslevyt, kattotuotteet. Ivarsson. Rakennustieto Oy. 7 s.
- RT 37933. 2010. RUNKORAKENTAMISEN TUOTTEET. Metsäliiton puutuoteteollisuus Oy. Rakennustieto Oy.
- RT F-37387. 2007. KAHI-KALKKIHIEKKATIILET JA HARKOT. maxit Oy Ab. Rakennustieto Oy.
- RT K-37006. 2005. VITAL-LÄMMÖNERISTEET. Vital Finland Oy. Rakennustietosäätiö Oy. 2s.
- RT K-37555. EKOVILLA-LÄMMÖNERISTE.2008. Ekovilla Oy. Rakennustieto Oy. 2s.
- RT L-37625. 2008. PAAVO- TUULENSUOJAKANGAS. Ypap Oy. Rakennustieto Oy.
- RT N-37226. 2006. TYVEK-ALUSKATE/TUULENSUOJA. Rakonor Oy. Rakennustieto Oy.
- RT N-37634. 2008. PROTAN-VESIKATTEET. Protan Oy. Rakennustieto Oy. 6 s.

RT R-36743. 2004. SASMOX-PUUKIPSILEVYT. Sasmox Oy. Rakennustietosäätiö. 12 s.

Saarelainen, S. & Kangas, H. 1999. Paksun EPS-kerroksen puristuslujuus. Esitutkimus, VTT. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Yhdyskuntatekniikka. EPS-rakennuseristeteollisuus/Suomen Muoviteollisuus ry. 61s.

Salonvaara M. & Kokko, E. 1999. Sellukuiturakenteiden lämmön- ja aineensiirtotekninen toiminta. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 55 s.

Selonen, O. & Suominen, V. 2003. Nordic stone. Geological Science Series. Paris, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and International Association of Engineering Geology (IAEG). 64 s.

Siikanen, U. 1998. Puurakennusten suunnittelu. Vammala, Rakennustieto Oy. 259 s.

Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. Hämeenlinna, Rakennustieto Oy. 328 s.

Sneck, T. 1970. Rakennustekniikan käsikirja. Pääjakso 2. Rakennusaineet ja -tarvikkeet. 544 s.

Stora Enso Timber. 2010. Archtektenordner. 134 s.

Sundberg, J. 1988. Thermal properties of Soils and Rocks. Publ. A57, dissertation. Göteborg : Departement of geology, Chalmers University of Technology and University of Göteborg. 310 s.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2001. Betonitekniikan oppikirja by 201. Jyväskylä, Gummerus Oy. 556 s.

Tampereen teknillinen korkeakoulu 1994. Rakennusten korjaustekniikka ja talous. Saarijärvi, Tampereen teknillinen korkeakoulu ja Rakennustieto Oy. 430 s. + 100 liites.

Höyrynsulkukalvojen vesihöyrynläpäisevyysominaisuuksia- taulukko. Tampereen teknillinen yliopisto. 2010. 1 s.

Tenhunen O. 2003. Metallilasirakenteisen kaksoisjulkisivun materiaalien soveltamiskriteerit. Teknillisen korkeakoulun teräsrakennetekniikan laboratorion julkaisu ja 28. TKK-TER-28. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Teräsrakennetekniikan laboratorio. 150 s.

Tiira, S. 1986. Vuolukivi rakennuskivenä. Joensuu, Suomen Vuolukivi Oy. 112 s. + 20 liites.

UPM Metsäteollisuus r.y. 2006. Vanerikäsikirja. Lahti, Metsäteollisuus r.y. 68 s.

Vinha, J. 2007. Hygrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method for Determinating the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. Doctor's Thesis. Tampere University of Technology. Publication 658. 338 p. + 10 ap.

Vinha, J. 2009. Rakennusfysiikan luentomoniste 2009 osat 1 ja 2. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikka.

Vinha, J., Lindberg, R., Pentti, M., Mattila, J., Lahdensivu, J., Heljo, J., Suonketo, J., Leivo, V., Korpi, M., Aho, H., Lähdesmäki, K. & Aaltonen, A. 2008.

Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiankulutusmääräyksiin ja -ohjeisiin, loppuraportti. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusselostus nro TRT/1706/2008. 88 s.

Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A. & Käkelä, P. 2005.

Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tutkimusjulkaisu 129. Tampere, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio. TTY-Paino. 101 s.

Standardit

SFS 316 2009. 2009. Wood fibre boards. Definition, classification and symbols. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 s. + 8 liites.

SFS 5973. 2010. Rakennuksissa käytettävät massiivi- ja lamellihirret. Vaatimukset. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 s. + 33 liites.

SFS-EN 12524. 2000. Rakennusmateriaalit ja -tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Taulukoidut suunnitteluarvot. Helsinki, Suomen Standardisoimistiitto. 1 s. + 19 liites.

SFS-EN-13162. 2009. Thermal insulation products for buildings. Factory made mineral wool (MW) products. Specification. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1s. + 40 liites.

SFS-EN-13163. 2010. Thermal insulation products for buildings. Factory made products of expanded polystyrene (EPS). Specification. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 1 s. + 47 liites.

SFS-EN-13370. 2008. Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 1 s. + 52 liites.

SFS-EN 1993-1-2. 2005. EUROCODE 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Rakenteiden palomitoitus. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 1 s. + 75 liites.

SFS-EN 312. 2003. Lastulevyt. Spesifikaatiot. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 s. + 18 liites.

SFS-EN 410. 1998. Rakennuslasit. valon läpäisyn, Aurinkoenergian suoran läpäisyn, aurinkoenergian kokonaisläpäisyn, ultraviolettisäteilyn läpäisyn ja muiden ominaisuuksien määrittely. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 s. + 39 liites.

SFS-EN 502. 2000. Metalliset vesikattotuotteet. Täysin tuettujen ruostumattomasta teräksestä valmistettujen katetuotteiden ominaisuuksien määrittely. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1s. + 27 liites.

SFS-EN 504. 2000. Metalliset vesikattotuotteet. Täysin tuettujen kuparista valmistettujen katetuotteiden ominaisuuksien määrittely. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 s. + 25 liites.

SFS-EN ISO 10456. 2008. Building materials and products. Hygrothermal properties- Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 p. + 32 ap.

SFS-EN ISO 13370. 2008. Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 p. + 53 ap.

SFS-EN ISO 6946. 2007. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 1 p. + 29 ap.

Internet- lähteet

Cembrit Oy. 2003. Windstopper Luja Tuulensuojalevy. Cembrin Oy. [viitattu 7.7.2010]
Saatavissa:

<http://www.cembrit.fi/Default.aspx?ID=22708&ProductID=PROD609&PID=13387>.

Cembrit Oy. 2005. Luja A Käyttöturvallisuusedote. Cembrit Oy. [viitattu 29.6.2010]
Saatavissa:
<http://www.cembrit.fi/Default.aspx?ID=22709&ProductID=PROD601&PID=13390>.

Cembrit Oy.2009. Kaakeliluja. Tekniset tiedot. Cembrit Oy. [viitattu 23.6.2010]
Saatavissa:
<http://cembrit.fi/Default.aspx?ID=22710&ProductID=PROD602&PID=13396>.

Cembrit Oy. 2010a. Katot. Panssari-aluskate. Cembrit Oy. [viitattu 6.8.2010]
Saatavissa:
<http://cembrit.fi/Default.aspx?ID=22706&ProductID=PROD599&PID=13371>.

Cembrit Oy. 2010b. Windstopper Luja. Cembrit Oy. [viitattu 6.7.2010] Saatavissa:
<http://www.cembrit.fi/Default.aspx?ID=22708&ProductID=PROD609&PID=13387>.

Deutsche Institut für Bautechnik. 2006. Europäische Technische Zulassung ETA-05/0037. Thermo-Hanf premium. Berlin, Europäische Organisation für Technische Zulassungen. [viitattu 8.8.2010] Saatavissa: <http://www.thermo-hanf.de/upload/pdf/datenblaetter/Europaeische%20Zulassung%20in%20deutsch.pdf>.

Domus Classica Oy. 2010. Ltd Pellavaeristelevy. Domus Classica Oy Ltd. [viitattu 7.7.2010]
Saatavissa:http://www.domusclassica.com/pellavaeristelevy/paksuus_10_cm_%285_5_m2%29_pr_310-004-3.html&usg=__fqifOCJKQmTtJC9hsivMIOY2nG8=&h=9.

DuPont de Nemours. 2009. DuPont Tyvek Soft. DuPont. [viitattu 27.7.2010]
Saatavissa:
http://construction.tyvek.de/Tyvek_Construction/de_DE/assets/downloads/technical_datasheets/tds_tyvek_soft.pdf.

Ekovilla Oy. 2010a. Ekovilla Tuotetietoa. Ekovilla Oy. [viitattu 26.7.2010] Saatavissa:
<http://www.ekovilla.com/ekovilla-eristys.php>.

Ekovilla Oy. 2010b. Ekovillalevy. Ekovilla Oy. [viitattu 15.6.2010] Saatavissa:
<http://www.ekovilla.com/ekovillalevy.php>.

EPS-rakennuseristeteollisuus. 2008. EPS2000-tuoteluokitus. EPS-rakennuseristeteollisuus. [viitattu 29.4.2010] Saatavissa: <http://www.eps-eriste.fi/fin/tuoteluokitus/>

EPS-rakennuseristeteollisuus. 2010. EPS-eristeiden tekniset ominaisuudet. EPS-eristeteollisuus. [viitattu 29. 4 2010] Saatavissa: http://www.eps-eriste.fi/fin/eps-eristeet/tekniset_ominaisuudet/

EUMEPS. 2003. EPS White Book, EUMEPS Background Information on Standardisation of EPS. [viitattu 1.6.2010] Saatavissa: http://www.eumeps.org/white_book_4520.html?psid=f1565b3fa30acf97eefcc4385a1db14a

Ewona Finland Oy. 2010. Rakennuseriste. Ewona Finland Oy. [viitattu 29.7.2010] Saatavissa: <http://www.ewona.fi/>.

Fermodes Lifestyle Magazin.2010. Hanfpflanze eignet sich entgegen ihrem Ruf gut als Dämmstoff. Fermodes Lifestyle Magazin. [viitattu 7.7.2010] Saatavissa: <http://www.fermodes.de/news/artikel/hanfpflanze-eignet-sich-entgegen-ihrem-ruf-gut-als-daemmstoff.html>.

Finnfoam Oy. 2010a. Finnfoam-lämmöneristyksen tekniset ominaisuudet. [viitattu 21.4.2010] Saatavissa: <http://www.finnfoam.fi/index.php?page=570949e45427056fa57ecbb35797e44>.

Finnfoam Oy. 2010b. Kosteustekniset ominaisuudet. Finnfoam Oy. [viitattu 21.7.2010] Saatavissa: <http://www.finnfoam.fi/index.php?page=007e56a99945277fa8eaf1c27b09a40>.

finnforest. 2005. Finnforest levytuotteet- kaikkiin levytarpeisiin. finnforest. [viitattu 6.8.2010] Saatavissa: <http://www.finnforest.fi/tuotteet/levytuotteet/Documents/Levytuotteet.pdf>.

finnforest. 2009a. Standardipalkit mitat ja dimensiot. finnforest. [viitattu 5.8.2010] Saatavissa: <http://www.finnforest.fi/tuotteet/liimapuu/Pages/standard.aspx>.

finnforest. 2009b. Kerto-Q jäykistää levynä. finnforest. 2009b. [viitattu 5.8.2010] Saatavissa: <http://www.finnforest.fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto-Q.aspx>.

finnforest. 2009c. MDF monipuolisiin kohteisiin. finnforest. [viitattu 6.8.2010] Saatavissa: <http://www.finnforest.fi/tuotteet/levytuotteet/Pages/MDF.aspx>.

Fraunhofer Institut. 2010. MASEA geprüfte Datenbank. Material Kennwerte. [viitattu 8.7.2010] Saatavissa: <http://www.irb.fraunhofer.de/denkmalpflege/masea.jsp>.

Geological Survey of Finland. 2007a. Mechanical and physical properties. Development of natural stone educational and research environment in East Finland. PG Black. Palin Granit Oy. [viitattu 19.8.2010] Saatavissa:

http://www.palingranit.fi/product_pdf/Palin_PG_Black_2_2007.pdf

Geological Survey of Finland. 2007b. Mechanical and physical properties. Development of natural stone educational and research environment in East Finland. Balmoral Red. Palin Granit Oy. [viitattu 19.8.2010] Saatavissa:

http://www.palingranit.fi/product_pdf/Palin_Balmoral_Red_2_2007.pdf

Geological Survey of Finland. 2007c. Mechanical and physical properties. Development of natural stone educational and research environment in East Finland. Amadeus. Palin Granit Oy. [viitattu 19.8.2010] Saatavissa:

http://www.palingranit.fi/product_pdf/Palin_Amadeus_2_2007.pdf

Glaskon. 2008. Eristyslasi. [viitattu 11.8.2010] Saatavissa:

<http://glaskon.lv/fi/products/ig/>

H+H Finland Oy. 2010. Suunnittelijan käsikirja. H+H Finland Oy. [viitattu 4.8.2010] Saatavissa: http://www.hplush.fi/esitteet/suunnittelijan_kasikirja.

Hock GmbH & Co. KG. 2009. Technisches Datenblatt Thermo-Hanf Premium. Hock GmbH & Co. KG. [viitattu 18.8.2010] Saatavissa: http://www.thermo-hanf.de/front_content.php?idcat=38

Icopal Oy. 2009a. Icopal aluskatteet ja -kermit jyrkille katoille. Asennusohje huhtikuu 2009. Icopal Oy. [viitattu 20.7.2010] Saatavissa:

[opal.fi/upload/icopalfi/asennusohjeet/aluskatteet_asennusohje_4_2009.pdf](http://www.icopal.fi/upload/icopalfi/asennusohjeet/aluskatteet_asennusohje_4_2009.pdf).

Icopal Oy. 2009b. Fel'x Multi. Tuoteseloste. Icopal Oy. [viitattu 20.7.2010] Saatavissa: <http://www.icopal.fi/upload/icopalfi/tuoteselosteet/fel%27x%20multi%20ver%201.3.pdf>.

Icopal Oy. 2009c. Monarperm 700. Tuoteseloste. Icopal Oy. [viitattu 20.7.2010.] Saatavissa:

<http://www.icopal.fi/upload/icopalfi/tuoteselosteet/monarperm%20700%20ver%201.1.pdf>.

Icopal Oy. 2009d. Monarperm 900. Tuoteseloste. Icopal Oy. [viitattu 20.7.2010] Saatavissa:

<http://www.icopal.fi/upload/icopalfi/tuoteselosteet/monarperm%20900%20ver%201.5.pdf>.

Icopal Oy. 2009e. Monarfol Basic. Tuoteseloste. Icopal Oy. [viitattu 20.7.2010].

Saatavissa:

<http://www.icopal.fi/upload/icopalfi/tuoteselosteet/monarfol%20basic%20ver%201.2.pdf>.

Icopal Oy. 2010. Monarfol 200 Plus. Tuoteseloste. Icopal Oy. [viitattu 20.7.2010]

Saatavissa:

http://www.icopal.fi/upload/icopalfi/tuoteselosteet/tuoteseloste_monarfol_200_plus_ver_1_3.pdf.

Isolina Oy. 2010. Isolina ilmansulku- / rakennuspaperin määrittelyt. Isolina Oy. [viitattu 26.7.2010].

Saatavissa: <http://www.isolina.com/fi/IsolinaIlmansulkuRakennusPaperit.pdf>.

Jyremark saumaeristeet. 2010. Jyremark saumaeristeet. Jyremark saumaeristeet. [viitattu 9.6.2010] Saatavissa: <http://www.jyremark.fi/images/esite.pdf>.

Knauf Oy. 2009. Knauf Lattiamassa FE80. Materiaali, Käyttö ja -kohteet, Käsittely, Tekniset tiedot. [viitattu 23.6.2010] Saatavissa:

http://rakennusjarjestelmat.knauf.fi/xpdf/tko_fe80_uusi.pdf.

Lakan Betoni Oy. 2008. LAKKA-HARKOT. Yleisesite. RUH 290 Perustusharkko.

Lakan Betoni Oy. [viitattu 4.8.2010] Saatavissa:

<http://www.lakanbetoni.fi/app/product/view/-/id/46>.

Lemminkäinen. 2010. Rakentajan opas. Lemminkäinen. [viitattu 8.8.2010] Saatavissa:

<http://www.lemminkainenkatto.fi/Link.aspx?id=10010344>

Luvata. 2000. The Copper Book. Luvata. [viitattu 5.7.2010] Saatavissa:

http://www.luvata.com/Documents/Architectural%20Products/Copper%20Book/The%20Copper%20Book_EN.pdf.

maxit Oy Ab. 2006. maxit Kipsilaasti. Tuotekortti. maxit Oy Ab. [viitattu 3.8.2010]

Saatavissa: <http://80.248.160.64/kronodocs/4776.pdf>.

maxit Oy Ab. 2007. Vetonit kosteussulku. Tuoteseloste. [viitattu 17.8.2010] Saatavissa:

<http://80.248.160.64/kronodocs/5073.pdf>

maxit Oy Ab. 2008a. Vetonit Vedeneristys. Työohjeet. [viitattu 9.8.2010] Saatavissa:

<http://80.248.160.64/kronodocs/10665.pdf>

maxit Oy Ab. 2008b. Vetonit Vedeneristysmassa. Tuoteseloste. [viitattu 17.8.2010]
Saatavissa: <http://80.248.160.64/kronodocs/9923.pdf>

maxit Oy Ab. 2009. CE-merkintä. Vaatimustenmukaisuus Kahi tiilet ja harkot. maxit Oy Ab. [viitattu 4.8.2010] Saatavissa: <http://80.248.160.64/kronodocs/12897.pdf>.

NSAI Agrément (Irish Agrément Board). 2007. Certificate NO. 07/0297. pro Clima Intelligent Airtight System. Moll bauökologische Produkte GmbH, pro clima. [viitattu 23.7.2010] Saatavissa:
<http://www.ecologicalbuildingsystems.com/workspace/downloads/IAB070297.pdf>.

Paroc Oy Ab. 2003. PAROC Rakennuseristeet. Tuoteluettelo 2-1.30 Lokakuu 2003. [viitattu 18.8.2010] Saatavissa: www.paroc.fi

Paroc Oy Ab. 2009. PARACEM KÄYTTÄVÄPANEELI. Paroc Oy Ab. [viitattu 29.6.2010] Saatavissa: <http://www.paroc.fi/channels/fi/acoustics/products/default.asp>.

Paroc Oy Ab. 2010. Paroc-kivivilla. [viitattu 6.5.2010] Saatavissa:
http://www.paroc.com/spps/Finland/BI_attachments/PAROC_kivivillaesite_www.pdf.

Passiivitalo. 2010. [viitattu 8.8.2010] Saatavissa: www.passiv.fi

Pro Puu r.y. 2004a. OSB. Puuproffa. [viitattu 28.6.2010] Saatavissa:
http://www.puuproffa.fi/arkisto/osb_ja_intrallam_levyt.php.

Pro Puu r.y. 2004b. Lastulevyt. Puuproffa. [viitattu 28.6.2010] Saatavissa:
<http://www.puuproffa.fi/arkisto/lastulevyt.php>.

Protan Oy. 2005. Vesihöyrynkestävyys. [viitattu 12.8.2010] Saatavissa:
<http://www.protan.fi/SiteCollectionDocuments/esitepankki/WatervapourFI%5B1%5D.pdf>

Rautaruukki Oyj. 2000. Sandwich-kevytelementtijärjestelmä (SPA) Rautaruukki Oyj. RT Ympäristöseloste. Rautaruukki Oyj. [viitattu 2.7.2010] Saatavissa:
<http://www.ruukki.com/www/finland.nsf/Documents/D11764BCFA0A7538C225764D00243584?OpenDocument&lang=1>.

Rautaruukki Oyj. 2008. LIITTOLEVY CS48. Tuoteohje. Rautaruukki Oyj. [viitattu 2.7.2010] Saatavissa:
[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/F27834E98A7530F0C225746500432B41/\\$File/Liittolevy%20CS48_tuoteohje_fi.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/F27834E98A7530F0C225746500432B41/$File/Liittolevy%20CS48_tuoteohje_fi.pdf?openElement).

Rautaruukki Oyj. 2009. Sandwich panel SP2 PU. Seinäelementit SP2B PU, SP2D PU ja SP2E PU. Tuoteseloste. Rautaruukki Oyj. [viitattu 2.7.2010] Saatavissa:

[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/CC6D17D5B7C901D3C2257646002DAE8A/\\$file/Sandwich%20panel%20SP2%20PU_tuoteseloste_14052009.pdf?OpenElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/CC6D17D5B7C901D3C2257646002DAE8A/$file/Sandwich%20panel%20SP2%20PU_tuoteseloste_14052009.pdf?OpenElement).

Rautaruukki Oyj. 2010. Vesikatot. Muotokatejärjestelmä. Malli Elite ja Tiilikainen.

Rautaruukki Oyj. [viitattu 9.8.2010] Saatavissa:

[http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/4231A0E443E2C7CFC2257405003FE1A6/\\$File/42500%20Ruukki%20Muotokate_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.com/www/materials.nsf/materials/4231A0E443E2C7CFC2257405003FE1A6/$File/42500%20Ruukki%20Muotokate_FI.pdf?openElement)

Saint-Gobain Isover G+H AG. 2008. ISOVER Rakennuseristeet. Saint-Gobain Isover G+H AG. [viitattu 18.8.2010] Saatavissa:

<http://www.isover.fi/fi/Esitteet/ISOVER+Rakennuseristeet/ISOVER+Rakennuseristeet/>

Saint-Gobain Isover G+H AG. 2009. Vario KM Duplex UV Klimamembran. Saint-Gobain Isover G+H AG. [viitattu 22.7.2010] Saatavissa:

http://www.isover.de/Portaldata/1/Resources/produkte/vario/technische_datenblaetter/TDDH0085.pdf.

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Gyproc. 2010a. Gyproc tuote-esitteet. Glasroc

GHU Hydro Tuulensuojalevy. Tekniset tiedot ja asennusohjeet. Saint-Gobain

Rakennustuotteet Oy / Gyproc, [viitattu 1.7.2010] Saatavissa:

<http://www.gyproc.fi/fi/Tilaa+ja+lataa/Gyproc+Tuote-esitteet/>.

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy/ Gyproc. 2010b. Gyproc tuote-esitteet. Glasroc GHI

Hydro Märkätilalevy. Tekniset tiedot ja asennusohjeet. Saint-Gobain Rakennustuotteet

Oy/ Gyproc, [viitattu 1.7.2010] Saatavissa:

<http://www.gyproc.fi/fi/Tilaa+ja+lataa/Gyproc+Tuote-esitteet/>.

Sasmox Oy. 2009. Sasmox Plus. Esite. Sasmox Oy. [viitattu 5.8.2010] Saatavissa:

<http://www.panelagency.com/pdf/SasmoxPlus.pdf>.

SPU Systems Oy. 2009. SPU Eristeiden tekniset ominaisuudet. SPU Systems Oy.

[viitattu 23.7.2010] Saatavissa: http://spu.fi/eristeet_tutkitusti_turvallinen.

SPU Systems Oy. 2010. SPU Yleisesite. SPU Systems Oy. [viitattu 4.8.2010]

Saatavissa: http://www.spu.fi/files/spu/esitteet/SPU_yleisesite_2010.pdf.

Suomen Kuitulevy Oy. 2010. Rakentajan kovalevy. Suomen Kuitulevy Oy. [viitattu

6.8.2010] Saatavissa:

<http://www.suomenkuitulevy.fi/fi/tuotteet/rakennuslevyt/rakentajankovalevy>

Suomen Selluvilla-Eriste Oy. 2006. Yleisesite. [viitattu 29.7.2010] Saatavissa:
http://selluvilla.net/datafiles/userfiles/File/esitteet/selluvilla_esite2.pdf

Vital Finland Oy. 2010. Vital tuote-esite. [viitattu 18.8.2010] Saatavissa:
http://www.vitalfinland.fi/default/media/www/unknown_title_3/esitteet__fi_/tuote_esite?__EVIA_MEDIA_PATH_DOWNLOAD

VTT-11366-06. 2009. STF-tyyppihyväksyntä. Suomen Kuitulevy Oy. 2009. TUULENSUOJALEVYT. [viitattu 28.7.2010] Saatavissa:
http://www.kuitulevy.fi/files/download/Runko_Tuulileijona_040509.pdf.

VTT 118/99. 2009. VTT Sertifikaatti. ADREX 8+9 märkätilojen vedeneristys- ja pintarakennejärjestelmä. Ardex Skandinavia A/S. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 21.7.2010] Saatavissa: http://www.ardex.fi/pdf/VTT_sertifikaatti_11899.pdf.

VTT 141/00. 2010. VTT Sertifikaatti. Kiilto Fiber vedeneristysjärjestelmä. Kiilto Kerafiber. VTT Expert Services Oy. [viitattu 21.7.2010] Saatavissa:
http://www.kiilto.com/attachments/1/1/certificates/Kerafiber%20sertifikaatti%20141_00.pdf.

VTT 184/03. 2009. VTT Certificate. Kerto-S and Kerto-Q Structural laminated veneer lumber. Metsäliitto Cooperative Kerto Business Unit. VTT Expert Services Oy. [viitattu 5.8.2010] Saatavissa:
http://www.finnforest.fi/tuotteet/kerto/Documents/Kerto_VTT_CertificateNo184-03_Revision_24_March_2009.pdf.

VTT 210/05. 2005 VTT Sertifikaatti. Hunton aluskate. Hunton Fiber AS. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 6.8.2010]. Saatavissa:
http://finnish.hunton.no/assets/Finnish%20products/undertak_vtt_fi.pdf.

VTT C110/00. 2000. VTT Tuotesertifikaatti. Upofloor Oy valmistaa Lami märkätilan muovimattoa. Upofloor Oy. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 20.7.2010] Saatavissa:
http://www.upofloor.fi/index.php?__EVIA_WYSIWYG_FILE=45415&name=file.

VTT C 112/00. 2010. VTT Tuotesertifikaatti Cembrit toimittaa Kaakeliluja seinien vedeneristysjärjestelmää. Cembrit oy. VTT Expert Services Oy. [viitattu 23.6.2010] Saatavissa:
<http://cembrit.fi/Default.aspx?ID=22710&ProductID=PROD602&PID=13396>.

VTT-C-1829-07. 2007. VTT Product Certificate. Suomen Selluvilla-Eriste Oy produces Selluvilla SV. Suomen Selluvilla-Eriste Oy. VTT Expert Services Oy. [viitattu 30.7.2010] Saatavissa: <http://www.selluvilla.net/?cat=1>.

VTT C260/03. 2008. VTT Tuotesertifikaatti. H+H Finland Oy valmistaa siporex-harkkoja H 400 ja siporex suurharkkoja SH 400. H+H Finland Oy. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 4.8.2010] Saatavissa: http://www.hplush.fi/c/document_library/get_file?folderId=64397&name=DLFE-7314.pdf.

VTT-C-2965-08. 2008. VTT Tuotesertifikaatti. Suomen Kuitulevy Oy valmistaa Tuulisuoja 10 huokoisia tuulensuojalevyjä. Suomen Kuitulevy Oy. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 28.7.2010] Saatavissa: <http://www.kuitulevy.fi/files/download/VTTsertifikaattiTuulisuoja10.pdf>.

VTT-C-3043-08. 2010. VTT Sertifikaatti. Wedi märkätilajärjestelmä. Heikki Haru Oy.

VTT Expert Services Oy. [viitattu 23.6.2010] Saatavissa: <http://www.heikkiharu.fi/files/hh/Sertifikaatit/WEDI.pdf>.

VTT-C-3094-08. 2010. VTT Tuotesertifikaatti. Thermisol Oy valmistaa lämmöneristettä THERMISOL PLATINA LATTIA. Thermisol Oy. VTT Expert Services Oy. [viitattu 3.8.2010] Saatavissa: http://www.thermisol.fi/static/files/131.Thermisol%20EPS%20Platina%20C_3094_08.pdf.

VTT-C-3212-08. 2008. VTT Tuotesertifikaatti. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy valmistaa tuulensuojalevyä RKL-FACADE. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 1.6.2010.] Saatavissa: <http://www.isover.fi/fi/Tuotesivu/?intProductCategoryID=56&intProductID=20571>

VTT-C-3712-09. 2009. VTT Tuotesertifikaatti. Thermisol Oy valmistaa lämmöneristettä THERMISOL PLATINA SEINÄ. Thermisol Oy. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 3.8.2010.] Saatavissa: <http://www.thermisol.fi/static/files/168.Thermisol%20EPS%20PlatinaSeinapaiv.pdf>.

VTT-C-3712-09. 2010. VTT Tuotesertifikaatti Thermisol Oy valmistaa lämmöneristettä THERMISOL PLATINA SEINÄ. Thermisol Oy. VTT Expert Services Oy. [viitattu 3.8.2010] Saatavissa: <http://www.thermisol.fi/static/files/168.Thermisol%20EPS%20PlatinaSeinapaiv.pdf>

VTT C372/05. 2005. VTT Tuotesertifikaatti. Upofloor Oy toimittaa Pisara 200 ja Pisara 200 Boordi märkätilan seinäpäällysteitä. Upofloor Oy. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. [viitattu 20.7.2010.] Saatavissa: http://www.upofloor.fi/index.php?__EVIA_WYSIWYG_FILE=45412&name=file.

VTT-C-3786-21-09. 2009. VTT Tuotesertifikaatti. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy valmistaa ja toimittaa puhallettavaa lasivillaeristettä ISOVER Puhallusvilla. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 18.8.2010.] Saatavissa: www.isover.fi/download.aspx?intFileID=3006

VTT-C-3840-09. 2009. VTT Tuotesertifikaatti. Paroc Oy Ab valmistaa ja toimittaa BLT 6 puhallettavaa kivivillaeristettä. Paroc Oy Ab. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. [viitattu 18.8.2010.] Saatavissa: http://www.paroc.com/SPPS/Documentation/FI_Product_Certificate_BLT_fi.pdf

VTT-C-5605-10. 2010. VTT Sertifikaatti. Shönox HA märkätilojen vedeneristys- ja pintarakennejärjestelmä. Akzo Nobel Coatings Oy. VTT Expert Services Oy [viitattu 21.7.2010] Saatavissa: http://www.schonox.fi/fi/Uutisia/Documents/AkzoNobel%20C_5605_10%20Sch%C3%B6nox%20sertifikaatti.pdf.

VTT-C-713-06. 2006. VTT Sertifikaatti. Hunton Asphalt Vindtett 12 mm ja 25 mm tuulensuojalevyt. Hunton Fiber AS. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 6.8.2010]. Saatavissa: http://finnish.hunton.no/assets/Finnish%20products/vindtett_vtt_fi.pdf.

VTT-C-690-06. 2006. VTT Sertifikaatti. Kiilto Keramix vedeneristysjärjestelmä. Kiilto Oy. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 21.7.2010] Saatavissa: <http://www.kiilto.com/attachments/1/1/certificates/Kiilto%20Keramix%20690-06%2018%208%2006a.pdf>.

VTT-C-870-06. 2009. VTT Sertifikaatti. Fescon vedeneristyjärjestelmä. Fescon Oy. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 21.7.2010] Saatavissa: <http://www.fescon.fi/sertifikaatit>.

Wolff, B., Stadler, R., Schröder, H.J. 2010. Ökologische Betrachtung der Herstellung und Anwendung von extrudiertem Polystyrol-Hartschaumstoff (XPS). BASF Aktiengesellschaft Ludwigshafen. [viitattu 26.4.2010]. Saatavissa: www.basf.de.

Ypap Oy. 2010a. Paavo-tuulensuojakangas. Tekninen esite. Ypap Oy. [viitattu 28.7.2010] Saatavissa: <http://www.ypap.fi/rakennuspaperikuvat/tuuli.pdf>.

Ypap Oy. 2010b. Paavo-bitumivuorauspaperi, -kreppi ja -huopa. Tekninen esite. Ypap Oy. [viitattu 28.7.2010] Saatavissa: <http://www.ypap.fi/rakennuspaperikuvat/bitumi.pdf>.

Ypap Oy. 2010c. PankaPanssari- Aluskate. Tekninen esite. Ypap Oy. [viitattu 17.8.2010] Saatavissa: <http://www.ypap.fi/aluskate.htm>

Ypap Oy. 2010d. Paavo- Aluskate 1p. Tekninen esite. Ypap Oy. [viitattu 17.8.2010] Saatavissa: <http://www.ypap.fi/aluskate1.htm>

Artikkelit, esitelmät

Fechner, H. & Häupl, P. -. Wooden Roof Structures with High Vapour Retarder, Low Vapor Retarder, and Moisture-Depent Vapor Retarder. Buildings VIII/ Moisture Model Validation-Principles. 1-7 p.

Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations. 2006. Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam (PUR/PIR). Brussels, BING Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations. 33 p.

Fischer, J. 2008. Neopor - the new Material for Thermal Insulation. Esitelmä 14.4.2008. BASF The Chemical Company. 21 p.

Larsen, E. 2007. Blowing Agents for Polyurethane foams. Report. BaySystems NorthernEurope. 21 p.

Käkelä, P. & Jormalainen, J., SPU Systems Oy. 2009. Kosteusteknisesti turvallinen matalaenergia- ja passiivirakentaminen. Rakennusfysiikka 2009. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut 27.-29.10.2009. Tampere , Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Seminaarijulkaisu 2. 475 - 484 s.

Sievola J. & Keinänen, H. 2009. Huokoisten laastien sekä polyamidi-kalvon VOC-yhdisteiden läpäisevyys. Rakennusfysiikka 2009. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut 27.-29.10.2009. Tampere , Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Seminaarijulkaisu 2. 83 - 93 s.

Vinha J. & Lähdesmäki K. (toim.) (2009). Rakennusfysiikka 2009. Seminaarijulkaisu 2. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. 534 s.

Haastattelut, sähköpostit

Aarnio, S. maxit Oy Ab. Sähköposti 16.8.2010.

Ala-Kulju, A. maxit Oy Ab. Sähköposti. 8.7.2010.

Hyttinen, A. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Gyproc. Sähköposti 29.7.2010.

Kesti, J. & Sipilä, R. Rautaruukki Oyj. Sähköposti 29.7.2010.

Kilpeläinen, T. & Kunnas, T. Thermisol Oy, EPS-Rakennuseristeteollisuus Oy.
Tapaaminen 23.4.2010.

Korpi, M. H+H Finland Oy. Sähköposti 30.8.2010.

Nilsen, L.H. Hunton Fiber AS. Sähköposti 10.8.2010.

Manninen, J. Stora Enso Timber Oy. Sähköposti 16.3.2010.

Puronlahti, J. Redi-talot Oy. Sähköposti 7.4.2010.

LIITTEET

LIITE 1	Materiaalitulukot
LIITE 2	Vesikatteiden ominaisuuksia
LIITE 3	Aluskatteiden ominaisuuksia
LIITE 4	Vedeneristeiden ominaisuuksia
LIITE 5	Höyrinsulkujen ominaisuuksia
LIITE 6	Ilmansulkujen ominaisuuksia
LIITE 7	Tuulensuojien ominaisuuksia
LIITE 8	Lämmöneristeiden ominaisuuksia
LIITE 9	Runkomateriaalien ominaisuuksia
LIITE 10	Sisälevyjen ominaisuuksia
LIITE 11	Rappausten, laastien ja tasoitteiden ominaisuuksia
LIITE 12	Tasapainokosteuskäyriä ja muita kosteusteknisiä ominaisuuksia
LIITE 13	Kapillarietteettikertoimet ja kosteusdiffusiviteetti

MATERIAALITAUUKOT

Taulukoissa jokaisen sarakkeen lopussa oleva numero viittaa lähteeseen, josta kyseisen sarakkeen ominaisuudet on koottu. Yläindekseihin on merkitty poikkeuksista, esim. kun arvo on otettu jostakin muusta lähteestä tai kun arvo on laskettu jonkin muun annetun arvon avulla. Alla olevaan taulukkoon on koottu laskennassa käytetyt kaavat.

Kaavoissa käytettävä materiaalipaksuuden d yksikkö on [m]. Materiaalitalukoihin ei ole laskettu kaikkia kosteusteknisiä ominaisuuksia, koska ne vaihtelevat merkittävästi materiaalipaksuuden mukaan. Kaavojen avulla voi laskea halutun materiaalin kosteustekniset ominaisuudet tietyille materiaalipaksuudelle.

Kalvojen ja laminaattien ominaisuusarvoja käytettäessä on huomioitava materiaalipaksuuden vaikutus, koska kalvoilla paksuuden muuttuminen vaikuttaa merkittävästi ominaisuusarvoihin. Jos laskentaohjelmaan syötettävä materiaalipaksuus on 1 mm ja taulukossa on annettu materiaaliominaisuudet jollekin muulle paksuudelle, ei ominaisuusarvoa tule sellaisenaan käyttää, vaan arvot on muutettava vastaamaan kyseistä materiaalipaksuutta virheiden välttämiseksi. Tämä koskee erityisesti diffuusiovastuskerrointa μ ja suhteellista diffuusiovastuskerrointa S_d .

Taulukko 1. Laskentakaavat. (Vinha et al. 2005).

Ominaisuus	Kaava	Yksikkö
Vesihöyrynläpäisevyys, δ_v	$\delta_v = \delta_p \cdot (R/M) \cdot (273,15 + t)$	[m ² /s]
Vesihöyrynläpäisevyys, δ_v	$\delta_v = W \cdot d$	[m ² /s]
Vesihöyrynläpäisevyys, δ_p	$\delta_p = \frac{\delta_v}{(R/M) \cdot (273,15 + t)}$	[kg/(m·s·Pa)]
Vesihöyrynläpäisykerroin, W_v	$W_v = W_p \cdot (R/M) \cdot (273,15 + t)$	[m/s]
Vesihöyrynläpäisykerroin, W_p	$W_p = \frac{W_v}{(R/M) \cdot (273,15 + t)}$	[kg/(m ² ·s·Pa)]
Vesihöyrynvastus, Z_v	$Z_v = \frac{1}{W_v}$	[s/m]
Vesihöyrynvastus, Z_p	$Z_p = \frac{1}{W_p}$	[m ² ·s·Pa/kg]
Diffuusiovastuskerroin, μ	$\mu = \frac{\delta_{p,ilma}}{\delta_p}$	[-]
Suhteellinen diffuusiovastuskerroin, S_d	$S_d = \mu \cdot d$	[m]
Ilman vesihöyrynläpäisevyys, $\delta_{p,ilma}$	$188 \cdot 10^{-12}$	[kg/(m·s·Pa)]
Yleinen kaasuvakio, R	8314,3	[J/(kmol·K)]
Vesihöyryn molekyylipaino, M_v	18,02	[kg/kmol]
Lämpötila, t	23	°C

Vesikatteiden kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 ° C											
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn- läpäisykerroin, W_v [m/s]	Vesihöyryn- vastus Z_v [s/m]	Vesihöyryn- läpäisykerroin, W_p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn- vastus Z_p [m ² ·s·Pa/kg]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Diffuusiovastus- kerroin μ_v [-] <70 % RH >70 % RH	Suht. diffuusio- vastuskerroin S_d [m]	Lähde
Metallikatteet											
Kuparikate Cu-DHP	8900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Alumiinikate	2800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Teräsohulevykate	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Ruostumaton teräsohulevykate	7700... 8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
Sinkkilevykate	7200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Kermit ja muovipohjaiset katteet											
Polyesterilla vahvistettu PVC-kate 1,2...1,6 mm	-	1,6...1,2·10 ⁻⁶ e)	11,8...8,5·10 ⁻¹²	1,23...1,64·10 ⁻⁶ b)	813...610·10 ⁻³ a)	9...12·10 ⁻¹²	11...8,33·10 ¹⁰ b)	16...22	-	0,019...0,035 e)	2
Lasikuudulla vahvistettu PVC-kate 1,5...2,0 mm	-	1,3...0,92·10 ⁻⁶ e)	9,4...6,7·10 ⁻¹²	0,96...1,3·10 ⁻⁶ b)	1042...769·10 ⁻⁶ a)	7...9,5·10 ⁻¹²	14,3...10,5·10 ¹⁰ b)	20...28	-	0,03...0,056 e)	2
Modifioitu bitumikermikate	-	-	-	-	-	-	-	-	20 000	-	3
Bitumikermi	1100	-	-	-	-	-	-	-	50000	-	3
Bitumikermi	1200	0,003·10 ⁻⁶ e)	0,0188·10 ⁻¹²	-	-	-	-	10 000	-	-	4
Kattotiliet											
Savitiilikate	2000	-	-	-	-	-	-	-	40	30	3
Betonitiilikate	2100	-	-	-	-	-	-	80 d)	100	60	3
Kuitusementtikate	1100... 1400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksia.

1) SFS-EN 504 (2000).

2) Protan Oy (2005).

3) SFS-EN ISO10456 (2008).

4) Fechner & Häupl (-).

5) RIL 155 (1986).

6) SFS-EN 502 (2000).

d) laskettu keskiarvo

e) laskettu arvosta δ_p

a) laskettu arvosta W_v

b) laskettu arvosta W_p

c) laskettu μ n vakioarvosta

Vesikatteiden lämpöteknisiä ominaisuuksia							
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c_p [J/(kg·K)]	Pituuden lämpölaajene- miskerroin [1/K]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{\text{Declared}}$ [W/(m·K)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{\text{design, +23 °C}}$ [W/(m·K)]	Lähde	
Metallikatteet							
Kuparikate Cu-DHP	8900	385	$16,8 \cdot 10^{-6}$	325	380 ³⁾	1	
Alumiinikate	2800	880	$23 \dots 24 \cdot 10^{-6}$	138	160	3	
Teräsohuttelevykate	7800	450	$16,8 \cdot 10^{-6}$	-	50	3	
Ruostumaton teräsohuttelevykate	7700... 8000	460 ³⁾	$10 \dots 16 \cdot 10^{-6}$	15...30	17...30 ³⁾	6	
Sinkkilevykate	7200	380	-	-	110	3	
Kermit ja muovipohjaiset katteet							
Polyesterillä vahvistettu PVC-kate	-	1500	$50 \dots 200 \cdot 10^{-6}$ ⁷⁾	0,15	-	2	
Lasikuidulla vahvistettu PVC-kate	-	1500	$50 \dots 200 \cdot 10^{-6}$ ⁷⁾	0,15	-	2	
Modifioitu bitumikermikate	-	-	-	-	-	3	
Bitumikermi	1100	1000	-	-	0,23	3	
Bitumikermi	1200	2000	-	0,15 ^{e)}	-	4	
Kattotiliet							
Savitiilikate	2000	800	-	-	1	3	
Betonitiilikate	2100	1000	-	-	1,5	3	
Kuitusementtikate	1100... 1400	-	$1 \cdot 10^{-6}$	0,3 ^{e)}	-	5	

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

1) SFS-EN 504 (2000).

2) Protan Oy (2005).

3) SFS-EN ISO10456 (2008).

4) Fechner & Häupl. (-).

5) RIL 155 (1986).

6) SFS-EN 502 (2000).

7) Nevander & Elmarsson (1994.)

e) lämmönjohtavuus λ

Aluskatteiden kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C												
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn- läpäisykerroin, W_v [m/s]	Vesihöyryn- vastus Z_v [s/m]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn- vastus Z_p [m ² ·s·Pa/kg]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Diffuusiovastuskerroin S_d [m]			Lähde
									25 % RH	50 % RH	70 % RH 90 % RH	
Diffuusiovoimet aluskatteet												
Monikerroslaminaatti 0,4 mm, jossa mikrokuulakerrosten välissä TEEE-kalvo.	275	697 · 10 ⁻⁶ f)	5,10 · 10 ⁻⁹	12,8 · 10 ⁻⁶ d)	78,4 · 10 ⁻³ e)	1,6 · 10 ⁻¹²	625 · 10 ⁹ a)	161	0,05	0,05	0,05	1
Monikerroslaminaatti 0,5 mm, jossa mikrokuulakerrosten välissä TEEE-kalvo.	280	0,16 · 10 ⁻⁶ f)	1,16 · 10 ⁻¹² b)	320 · 10 ⁻⁶ d)	3125 e)	2 · 10 ⁻⁹ g)	0,43 · 10 ⁹ a)	160	0,09	0,065	0,01	1
Monikerroslaminaatti 0,55 mm, jossa mikrokuulakerrosten välissä TEEE-kalvo, polypropeeniverkko.	310	0,18 · 10 ⁻⁶ f)	1,3 · 10 ⁻¹² b)	327 · 10 ⁻⁶ d)	3056 e)	2 · 10 ⁻⁹ g)	0,43 · 10 ⁹ a)	145	0,09	0,065	0,01	1
Monikerroslaminaatti 0,59 mm, polyuretaanipinnoitteella pinnoitettu polyesterikuitukangas.	-	10,1 · 10 ⁻⁶ f)	74 · 10 ⁻¹² b)	17,1 · 10 ⁻³ d)	58 e)	125 · 10 ⁻⁹ g)	7,97 · 10 ⁶ a)	254 c)	0,15			2
Kondensisuojuuttu monikerroslaminaatti 0,5 mm, polypropeenikuudoksen kerrosten välissä polypropeenikalvo.	-	0,43 · 10 ⁻⁶ f)	3,13 · 10 ⁻¹² b)	858 · 10 ⁻⁶ d)	1168 e)	6000 · 10 ⁻¹² g)	0,16 · 10 ⁹ a)	60 c)	0,03			3
Kondensisuojuutat aluskatteet												
Monikerroslaminaatti 0,25 mm, jossa co-polymeenikalvojen välissä polypropeenikuudoksen kerrosten välissä polypropeeniverkko. Alapinnassa polypropeeniverkko.	-	6 · 10 ⁻¹² e)	4,39 · 10 ⁻¹⁷ d)	0,024 · 10 ⁻⁶ a)	41820 · 10 ³ e)	0,175 · 10 ⁻¹² g)	5,71 · 10 ⁻¹² a)	44 000 c)	>11			4
Monikerroslaminaatti 0,2 mm, jossa polyeteenikalvo, polypropeenikuudoksen kerrosten välissä polypropeeniverkko ja alapinnassa polypropeenikuudoksen kerrosten välissä kolme polyeteenikalvoa.	-	2,05 · 10 ⁻¹⁰ d)	1,5 · 10 ⁻¹⁵ b)	1,03 · 10 ⁻⁶ d)	976 · 10 ³ e)	7,5 · 10 ⁻¹² g)	13,3 · 10 ¹⁰ a)	125 000 c)	25			5
Kartonkialuskate, HDPE-kudokseen laminoitu paperi	-	-	-	0,711 · 10 ⁻⁶ a)	1407 · 10 ³ e)	5,2 · 10 ⁻¹²	0,19 · 10 ⁻¹² a)	-	-	-	-	8
Kartonkialuskate, neljän kartongin välissä kolme polyeteenikalvoa.	-	-	-	1,37 · 10 ⁻⁶ a)	732 · 10 ³ e)	10 · 10 ⁻¹²	0,1 · 10 ⁻¹² a)	-	-	-	-	9
Kermit												
Kondensisuojuuttu kumbituminen aluskate 0,6 mm polyestertuikkeroksella ja polypropeenikuudotuspinnnoitteella.	-	590 · 10 ⁻¹² e)	4,32 · 10 ⁻¹⁵ d)	0,984 · 10 ⁻⁶ a)	1016 · 10 ³ e)	7,2 · 10 ⁻¹²	0,14 · 10 ⁻¹² a)	44 444 f)	-	-	-	6
Bitumikermit	1100	1 · 10 ⁻⁹ f)	9,4 · 10 ⁻¹⁵ b)	-	-	-	-	20 000	-	-	-	7
		0,52 · 10 ⁻⁹ f)	3,76 · 10 ⁻¹⁵ b)	-	-	-	-	50000	-	-	-	7

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kysyttyjen ominaisuuksien materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Puronlihti (2010).
- 2) Icopal Oy (2009d).
- 3) Icopal Oy (2009c).
- 4) Icopal Oy 7) SFS-EN ISO 104 7) SFS-EN ISO 10456 (2008).
- 5) Icopal Oy 8) Ypap Oy (2010c) 8) Ypap Oy (2010c).
- 6) Icopal Oy 9) Ypap Oy (2010d) 9) Ypap Oy (2010d).
- d) laskettu arvosta δ_v .
- e) laskettu arvosta W_p .
- f) laskettu μ :n vakioarvosta.
- g) laskettu arvosta Z_v .

Vedeneristeiden kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C										
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn- läpäisykerroin, W_v [ms]	Vesihöyryn- vastus Z_v [sm]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn- vastus Z_p [m ² ·s/Pa/kg]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Diffuusio- vastus S_d [m]	Lähde
Nestemäisiä massoista koostuvat vedeneristysjärjestelmät										
Yksikomponenttinen polymeeridispersio	-	-	-	lattia: 8,2 · 10 ⁻⁶ d) seinä: 15,0 · 10 ⁻⁶ e)	lattia: 122 · 10 ³ e) seinä: 66,5 · 10 ³ e)	lattia: 60 · 10 ⁻¹² seinä: 110 · 10 ⁻¹²	lattia: 1,67 · 10 ¹⁰ b) seinä: 0,91 · 10 ¹⁰ b)	-	-	1
Synteettiseen kumilataksiin perustuva	-	-	-	seinä: 4,1 · 10 ⁻⁶ d) lattia: 1,31 · 10 ⁻⁶ d)	seinä: 244 · 10 ³ e) lattia: 762 · 10 ³ e)	seinä: 30 · 10 ⁻¹² lattia: 9,6 · 10 ⁻¹²	seinä: 3,33 · 10 ¹⁰ b) lattia: 1,67 · 10 ¹⁰ b)	-	-	2
Yksikomponenttinen SRB-pohjainen	-	-	-	8,2 · 10 ⁻⁶ d)	122 · 10 ³ e)	60 · 10 ⁻¹²	1,67 · 10 ¹⁰ b)	-	-	3
Yksikomponenttinen polymeeridispersio	-	-	-	ilman kosteussulkua: 8,2 · 10 ⁻⁶ d) lattia: 4,1 · 10 ⁻⁶ d)	ilman kosteussulkua: 122 · 10 ³ e) kosteussulun kanssa: 244 · 10 ³ e)	ilman kosteussulkua: 60 · 10 ⁻¹² kosteussulun kanssa: 30 · 10 ⁻¹²	ilman kosteussulkua: 1,67 · 10 ¹⁰ b) kosteussulun kanssa: 3,33 · 10 ¹⁰ b)	ilman kosteussulkua: 63 g) kosteussulun kanssa: 125 g)	-	4
Nestemäiset vedeneristemassat										
Kosteussuku, muovidispersio	-	-	-	5,47 · 10 ⁻⁶ d)	183 · 10 ³ e)	<40 · 10 ⁻¹²	2,5 · 10 ¹⁰ b)	-	-	5
Synteettisen kumin perustuva vedeneristemassa 0,5 mm	-	5 · 10 ⁻⁹ e)	4,0 · 10 ⁻¹² h)	10,9 · 10 ⁻⁶ d)	91,5 · 10 ³ e)	<80 · 10 ⁻¹²	1,25 · 10 ¹⁰ b)	47 g)	-	6
Matot ja kermit										
Kumiälmikermi 3 mm	-	8...180 · 10 ⁻⁹ e)	5,93...1,3 · 10 ⁻¹² h)	0,27...0,18 · 10 ⁻⁶ d)	3660...5540 · 10 ³	1,32...2,0 · 10 ⁻¹²	75,8...20 · 10 ¹⁰	33 000...50 000	99...150	12
Muovimatto 1 mm seinään asennettava	-	7 · 10 ⁻⁹ e)	5,0 · 10 ⁻¹² h)	6,83 · 10 ⁻⁶ d)	146 · 10 ³ e)	≤50 · 10 ⁻¹²	2,0 · 10 ¹⁰ b)	38 g)	0,038 f)	7
Muovimatto 1,3 mm seinään asennettava	-	10 · 10 ⁻⁹ e)	7,61 · 10 ⁻¹² h)	0,8 · 10 ⁻⁶ d)	1250 · 10 ³	5,65 · 10 ⁻¹² e)	17,1 · 10 ¹⁰ b)	25 g)	0,033 f)	8
Muovimatto 1,5 mm lattiaan asennettava	-	6 · 10 ⁻⁹ e)	4,5 · 10 ⁻¹² h)	0,41 · 10 ⁻⁶ d)	2439 · 10 ³ e)	≤3,0 · 10 ⁻¹²	33,3 · 10 ¹⁰ b)	42 g)	0,063 f)	9
Vedeneristelevyt										
Vedeneristeellä pinnoitettu kuitusementtilevy 8 mm	1350...1550	2 · 10 ⁻⁹ e)	1,68 · 10 ⁻¹² h)	27,0 · 10 ⁻⁶ d)	>37 · 10 ³ i)	30 · 10 ⁻¹²	3,33 · 10 ¹⁰ b)	119 g)	0,952 f)	10
Polymeerimodifioitua sementtipohjaisella laastilla päällystetty XPS-levy (12,5...80 mm)	30 ^{a)}	257 · 10 ⁻⁹ g)	1,88 · 10 ⁻¹² f)	3,42...21,9 · 10 ⁻⁶ a) d)	293...457 · 10 ³ e) a)	25...160 · 10 ⁻¹² a)	4...0,625 · 10 ¹⁰ a) b)	100 a)	4,6 a)	11

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) VTT 141/00 (2010).
- 2) VTT-C-870-06 (2009).
- 3) VTT 118/99 (1999).
- 4) VTT 142/00 (2000).
- 5) maxit Oy Ab (2007).
- 6) maxit Oy Ab (2008b).
- 7) VTT C-372/05 (2005).
- 8) Lindberg et al. (2003).
- 9) VTT C110/00 (2000).
- 10) VTT C112/00 (2000).
- 11) VTT C-043-08 (2008).
- 12) Höyrynsulkukalvojen vesihöyrynläpäisevyysominaisuuksia-taulukko. ITTY.

- 13) Cembrit Oy (2009).
- a) XPS-ydin
- b) laskettu arvosta W_p
- c) laskettu arvosta Z_v
- d) laskettu arvosta W_p
- e) laskettu arvosta W_v
- f) laskettu arvosta μ
- g) laskettu arvosta δ_p
- h) laskettu arvosta δ_v

Vedeneristeiden lämpöteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +10 °C							
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c_p [J/(kg·K)]	Pituuden lämpölaajene- miskerroin [1/K]	Ilmanläpäisy- kerroin K_a [m ³ /(m ² ·s·Pa)]	Lämmön- johtavuus λ_{10} [W/(m·K)]	Lähde	
Matot ja kermit							
Kumibitumikermi 3 mm	1100	1000	-	-	0,23	14	
Vedeneristelevyt							
Vedeneristeellä pinnoitettu kuitusementtilevy 8 mm	1350...1550	900 ¹³⁾	7 · 10 ⁻⁶ ¹³⁾	-	0,3 ¹³⁾	10	
Polymeerimodifioidulla sementtipohjaisella laastilla päällystetty XPS-levy 12,5...80 mm)	30 ^{a)}	-	-	-	0,035	11	

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

10) VTT C112/00 (2000).

13) Cembrit Oy (2009).

a) XPS-ydin

11) VTT C-043-08 (2008).

14) arvot bitumikermitille; SFS-EN ISO 10456 (2008).

Höyrönsulkujen kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C													
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_v [m/s]	Vesihöyryn- vastus Z_v [s/m]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn- vastus Z_p [m ² ·s·Pa/kg]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Diffuusiovastuskerroin S_d [-]			Lähde	
									25 % RH	50 % RH	70 % RH		90 % RH
Höyrönsulkukalvoja													
Höyrönsulkukangas 0,2 mm. Polyeteeni-kopolymerikudos polyeteeni-kopolymerikalvolla.	500	0,683 · 10 ⁻⁵ n)	5 · 10 ⁻¹²	3415 · 10 ⁻³ m)	293 l)	25 · 10 ⁻⁹ g)	0,040 · 10 ⁹ k)	150...52 000	10	6,5	2,3	0,21	1
Polyamidipohjainen höyrönsulkukalvo 0,2 mm	-	0,1...43 · 10 ⁻⁹ n)	3,12 · 10 ⁻¹³ ...7,52 · 10 ⁻¹⁵ e)	213...5876 · 10 ⁻⁶ m)	170...4695 l)	2...43 · 10 ⁻⁹ g)	0,024...0,5 · 10 ⁹ k)	1500...25 000		0,3...5			2
Polyeteenipohjainen muovikalvo 0,2 mm	-	5,2...1,1 · 10 ⁻¹⁰ l)	3,8...0,79 · 10 ⁻¹⁵ m)	1,3...0,27 · 10 ⁻⁶ g)	750...3660 · 10 ³	2...9,78 · 10 ⁻¹²	102...500 · 10 ⁹	101 000... 485 000		20...99			4
Polyeteenipohjainen muovikalvo 0,4 mm	-	2,12 · 10 ⁻¹⁰ l)	1,6 · 10 ⁻¹⁵ m)	0,53 · 10 ⁻⁶ g)	1900 · 10 ³	3,84 · 10 ⁻¹²	280 · 10 ⁹	129 000		51			4
Höyrönsulkumuovi	980	0,00003 · 10 ⁻⁶	2,2 · 10 ⁻¹⁶ m)	0,3 · 10 ⁻⁶ g)	3330 · 10 ³	2,2 · 10 ⁻¹² l)	455 · 10 ⁹ k)	89000					3
Muovitiivistyspaperi	940	0,003 · 10 ⁻⁶	2,2 · 10 ⁻¹⁴ m)	2,8 · 10 ⁻⁶ g)	358 · 10 ³	41,3 · 10 ⁻¹²	0,24 · 10 ⁹ k)	9340...9900					3
Muovipintainen voimaapaperi	760	0,007 · 10 ⁻⁶	5,12 · 10 ⁻¹⁴ m)	6,9 · 10 ⁻⁶ g)	144 · 10 ³	50 · 10 ⁻¹² l)	0,2 · 10 ⁹ k)	3880					3
Verkkovahvistetun polyeteeni-alumiinilaminaatti 0,4 mm	-	4,8 · 10 ⁻⁷ ... 2,4 · 10 ⁻¹¹ l)	3,5 · 10 ⁻¹⁶ m)	0,12...0,06 · 10 ⁻⁶ g)	8120...1830 · 10 ³	0,4...0,9 · 10 ⁻¹²	1110...2500 · 10 ⁹	549 000... 1 238 000		220...495			4
Höyrönsulkulevyjä													
Alumiinilaminaatilla pinnoitettu polyuretaanilevy 30 mm	35...80	0,1...1,2 · 10 ⁻¹² a)	7,3...8,8 · 10 ⁻¹⁹ a) m)	0,01...0,16 · 10 ⁻⁶ a) k)	73 184...6099 · 10 ³ a) l)	0,1...1,2 · 10 ⁻¹² a)	4050 · 10 ⁹ e)	167...267 a) l)		5...8			5
Paperilaminaattipintainen polyuretaanilevy 30 mm	35...80	0,1...1,2 · 10 ⁻¹² a)	7,3...8,8 · 10 ⁻¹⁹ a) m)	0,01...0,16 · 10 ⁻⁶ a) k)	74 184...6099 · 10 ³ a) l)	0,1...1,2 · 10 ⁻¹² a)	94 · 10 ⁹	258 000 000... 214 000 000 n)		7 740 000...6 420 000 e)			5
XPS-höyrönsulkulevy 30 mm ja 50 mm	30...50	<1,5 · 10 ⁻¹²	1,1 · 10 ⁻¹⁷ m)	5...3 · 10 ⁻¹¹ m)	2...3,33 · 10 ¹⁰ l)	3,7...2,2 · 10 ⁻¹⁶ l)	2,7...4,6 · 10 ¹⁵ k)	17 000 000 n)		510 000...850 000 e)			6
Höyrönsulkusivelyt ja pinnoitteet													
Kloorikautsumaali	-	-	-	0,27 · 10 ⁻⁶ k)	3659 · 10 ³ l)	2 · 10 ⁻¹² l)	500 · 10 ⁹	-	-	-	-	-	7

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Puronlanti (2010).
- 2) Saint Gobain Isover G+H AG (2009).
- 3) Vinha (2007).
- 4) Höyrönsulkukalvojen vesihöyrönläpäisevyysominaisuuksia-taulukko. TTY.
- 5) Käkelä et al. (2009).
- 6) Finnfoam Oy (2010b).
- 7) RIL 107-2000 (2009).
- a) polyuretaani
- b) XPS-ydin 30 mm
- c) XPS-ydin
- e) laskettu μ :n vakioarvosta
- f) laskettu arvosta W_v
- g) laskettu arvosta Z_v
- h) laskettu arvosta S_d
- i) laskettu arvosta δ_p
- j) laskettu arvosta Z_p
- k) laskettu arvosta W_p

Höyrynsulkujen lämpötekniisiä ominaisuuksia					
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Huokoi- suus [m ³ /m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c_p [J/(kg·K)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{design +23^\circ C}$ [W/(m·K)]	Lähde
Höyrynsulkukalvojen ominaisuuksia lämpötilassa +10 °C					
Höyrynsulkumuovi	980	0,00	2300	0,4 ⁿ⁾	3
Muovitiivistyspaperi	940	0,3	2000	0,1 ⁿ⁾	3
Muovipintainen voimapaperi	760	0,3	2000	0,1 ⁿ⁾	3
Höyrynsulkulevyjen ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C					
Alumiinilaminaatilla pinnoitettu polyuretaanilevy 30 mm	35...80	-	-	0,024	5
Paperilaminaattipintainen polyuretaanilevy 30 mm	35...80	-	-	0,026	5
XPS-höyrynsulkulevy 30 mm	30...49	-	-	0,032	6
XPS-höyrynsulkulevy 50 mm	30...50	-	-	0,035	6

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

3) Vinha (2007).

6) Finnfoam Oy (2010b).

5) Käkelä et al. (2009).

h) mitattu lämmönjohtavuus

Ilmansukututeitten kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C													
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn-läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn-läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn-läpäisykerroin W_v [m/s]	Vesihöyryn-vastus Z_v [s/m]	Vesihöyryn-läpäisykerroin W_p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn-vastus Z_p [m ² ·s·Pa/kg]	Diffuusio-vastuskerroin μ [-]	Diffuusiovastuskerroin μ [-]			Suht. diffuusio-vastuskerroin S_d [m]	Lähde
									0 % RH	65 % RH	75 % RH 95 % RH		
Liimaraitalaminointi verkkovalmisteen paperi, nelikerrosrakenne 0,3 mm	-	13 · 10 ⁻⁹ f)	9,40 · 10 ⁻¹⁴ g)	42,7 · 10 ⁻⁶ e)	23,4 · 10 ³ f)	0,31 · 10 ⁻⁹ b)	3,2 · 10 ⁹	20 h)	-	-	-	-	1
Liimaraitalaminointi verkkovalmisteen paperi, kolmikerrosrakenne 0,3 mm	-	0,14 · 10 ⁻⁶ f)	1 · 10 ⁻¹² g)	4,6 · 10 ⁻⁴ e)	2,2 · 10 ³ f)	3 · 10 ⁻⁹ b)	0,3 · 10 ⁹	209 h)	-	-	-	-	2
Ruskea rakennuspapere	750	1,2 · 10 ⁻⁶	8,7 · 10 ⁻⁶ g)	11,9 · 10 ⁻⁴ e)	0,84 · 10 ³	9 · 10 ⁻⁹ f)	1,14 · 10 ⁹ e)	23	23	23	23	0,023 a)	3
Ilmansulkupapere	600	0,07 · 10 ⁻⁶	0,54 · 10 ⁻¹² g)	0,74 · 10 ⁻⁴ e)	13,5 · 10 ³	0,54 · 10 ⁻⁹ f)	1,84 · 10 ⁹ e)	357	433	418	303	0,357 a)	3
Ilmansulkupapere	990	0,04 · 10 ⁻⁶	0,29 · 10 ⁻¹² g)	3,8 · 10 ⁻⁴ e)	26,2 · 10 ³	3 · 10 ⁻⁹ f)	0,36 · 10 ⁹ e)	695	1200	779	496	0,695 a)	3
Ilmansulkukartonki 0,21 mm	-	0,007 · 10 ⁻⁶ f)	5,04 · 10 ⁻¹⁴ g)	0,33 · 10 ⁻⁴ e)	30,5 · 10 ³	0,24 · 10 ⁻⁹	4,18 · 10 ⁹	0,371 h)	-	-	-	-	4
Oksamassapahvi	-	-	-	-	-	0,21 · 10 ⁻⁹	0,48 · 10 ⁹	-	-	-	-	-	4

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat polkkeuksista.

- a) laskettu μ :n vakioarvosta
 b) laskettu arvosta Z_v
 c) laskettu arvosta Z_p
 d) 97 % RH / 65 % RH: $Z_p = 0,17 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$ ja $W_p = 5,9 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja h) laskettu arvosta δ_p lämpötilassa +5 °C, 97 % RH / 65 % RH: $Z_p = 0,12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$ ja $W_p = 8,4 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
 e) laskettu arvosta W_p
 f) laskettu arvosta W_v
 g) laskettu arvosta δ_v

Ilmansulkuotteiden lämpöteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +10 °C						
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Huokoi- suus [m ³ /m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti C_p [J/(kg·K)]	Ilmanläpäisy- kerroin K_a [m/(s·Pa)]	Lähde	
Liimaritalaminoitu verkkovahvisteinen paperi, nelikerrosrakente 0,3 mm	-	0,95	-	$2,2 \cdot 10^{-6}$	1	
Liimaritalaminoitu verkkovahvisteinen paperi, kolmikerrosrakente 0,3 mm	-	0,85	-	$2,2 \cdot 10^{-6}$	2	
Ruskea rakennuspaperi	750	-	1500	-	3	
Ilmansulkupaperi	600	-	1500	-	3	
Ilmansulkupaperi	990	-	1500	-	3	
Ilmansulkukartonki 0,21 mm	-	-	-	-	4	
Oksamassapahvi	-	-	-	-	4	

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

1) Ekovilla Oy (2010).

2) Isolina Oy (2010).

3) Vinha (2007).

4) Kokko et al. (1999).

Tuulensuojatuotteiden kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C												
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ _v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ _p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn- läpäisykerroin, W _v [m/s]	Vesihöyryn- vastus Z _v [s/m]	Vesihöyryn- läpäisykerroin, W _p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn- vastus Z _p [m ² ·s/Pa·kg]	Diffuusio- vastuskerroin μ	Diffusio- vastuskerroin μ	Diffusio- vastuskerroin μ	Diffusio- vastuskerroin μ	Lähde
								0 % RH	55 % RH	75 % RH	95 % RH	
												[m]
Tuulensuojalevyt												
Huokoinen puukuitulevy 12 mm	270	4,90 · 10 ⁻⁶	35,86 · 10 ⁻¹² n)	4,07 · 10 ⁻⁴ n)	2,46 · 10 ³	3 · 10 ⁻⁶ g)	3,33 · 10 ⁶ g)	5,5	5,5	5,5	5,5	0,138 e)
Huokoinen puukuitulevy 25 mm	280	5,80 · 10 ⁻⁶	42,45 · 10 ⁻¹² n)	5,32 · 10 ⁻⁴ h)	1,88 · 10 ³	2 · 10 ⁻⁶ h)	5 · 10 ⁶ g)	4,6	4,6	4,6	4,6	0,056 e)
Bitumilla kyllästetty huokoinen puukuitulevy 12 mm	241	2,0 · 10 ⁻⁸ h)	14,4 · 10 ⁻¹² n)	1,64 · 10 ⁻⁴ g)	6,1 · 10 ³ f)	1,2 · 10 ⁻⁹	8,33 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	0,156 e)
Bitumilla kyllästetty huokoinen puukuitulevy 25 mm	249	2,15 · 10 ⁻⁸ h)	15,7 · 10 ⁻¹² n)	0,86 · 10 ⁻⁴ g)	11,6 · 10 ³ f)	0,63 · 10 ⁻⁹	0,16 · 10 ⁶	-	-	-	-	0,317 e)
Tuulensuojakipsilevy 9 mm	774	3,40 · 10 ⁻⁶	24,9 · 10 ⁻¹² n)	3,82 · 10 ⁻⁴ h)	2,62 · 10 ³	-	-	7,9	7,9	7,9	7,9	0,071 e)
Kompositiikkipuulensuojalevy 12,5 mm	704	3,60 · 10 ⁻⁶	26,34 · 10 ⁻¹² n)	3,83 · 10 ⁻⁴ h)	2,61 · 10 ³	2,50 · 2,99 · 10 ⁻⁶	35,6 · 10 ⁶	-	-	-	-	0,221 e)
Kompositiikkipuulensuojalevy 15,5 mm	758	3,60 · 10 ⁻⁶	26,34 · 10 ⁻¹² n)	3,17 · 10 ⁻⁴ h)	3,15 · 10 ³	0,22 · 0,24 · 10 ⁻⁶	42,9 · 10 ⁶	-	-	-	-	0,332 e)
Kuitusementituulensuojalevy 3,2 mm	1780	0,30 · 10 ⁻⁶	2,2 · 10 ⁻¹² n)	0,93 · 10 ⁻⁴ h)	10,70 · 10 ³	0,68 · 10 ⁻⁹ h)	1,47 · 10 ⁹ g)	90	90	90	90	0,288 e)
Tuulensuojavillat												
Lasiivillalevy 30 mm, toisella puolella lasikuituhuopa	73	19 · 10 ⁻⁶	139 · 10 ⁻¹² n)	6,33 · 10 ⁻⁴ h)	1,58 · 10 ³	1,7 · 10 ⁻⁹ b)	5,88 · 10 ⁶ g)	1,4	1,4	1,4	1,4	0,042 e)
Lasiivillalevy 25 mm, lasikuitu- ja tuulensuojapinnoitteella	104	14,9 · 10 ⁻⁶	109 · 10 ⁻¹² n)	5,95 · 10 ⁻⁴ h)	1,68 · 10 ³	4 · 10 ⁻⁹ h)	0,25 · 10 ⁶ g)	1,8	1,8	1,8	1,8	0,045 e)
Kivivillalevy 30 mm, pinnoitettu lasikuituhuovalla	92	18,4 · 10 ⁻⁶	135 · 10 ⁻¹² n)	6,13 · 10 ⁻⁴ h)	1,63 · 10 ³	4 · 10 ⁻⁹ h)	0,25 · 10 ⁶ g)	1,5 m)	1,5	1,5	1,5	0,045 e)
Lasiivillalevy 30 mm, pinnoitettu tuulensuojalaminalla	120	16,0 · 10 ⁻⁶	118 · 10 ⁻¹² n)	5,41 · 10 ⁻⁴ h)	1,85 · 10 ³	4 · 10 ⁻⁹ h)	0,2 · 10 ⁶ g)	1,7 m)	1,7	1,7	1,7	0,051 e)
Tuulensuojakalvot												
Polypropeenilla päällystetty kuitukangas	360	0,31 · 10 ⁻⁶	-	-	3,23 · 10 ³ e)	>2 · 10 ⁻⁹ 10)	5 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	0,2 b)
Polyeteeni ja mikrokuiturakenteinen tuulensuojalaminatti	250	1,20 · 10 ⁻⁶	-	-	0,82 · 10 ³	9 · 10 ⁻⁹ h)	0,2 · 10 ⁶ 13)	-	-	-	-	-
Tuulensuojalaminatti	230	0,18 · 10 ⁻⁶	-	-	5,57 · 10 ³	1 · 10 ⁻⁹ h)	1 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	-
Tuulensuojalaminatti	390	0,14 · 10 ⁻⁶	-	-	7,16 · 10 ³	1 · 10 ⁻⁹ h)	1 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	-
Bitumivaruuspaperi	940	0,27 · 10 ⁻⁶	-	-	3,70 · 10 ³	>0,40 · 10 ⁻⁹ g)	2,5 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	-
Bitumivaruuskreppi	540	0,23 · 10 ⁻⁶	-	-	4,29 · 10 ³	>0,40 · 10 ⁻⁹ g)	2,5 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	-
Bitumivaruuspaperi	860	0,08 · 10 ⁻⁶	-	-	12,4 · 10 ³	>0,40 · 10 ⁻⁹ g)	2,5 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	-
Bitumivaruuskreppi	840	0,27 · 10 ⁻⁶	-	-	3,76 · 10 ³	2 · 10 ⁻⁹ f)	0,5 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	-
Bitumivaruuskreppi	620	0,21 · 10 ⁻⁶	-	-	4,70 · 10 ³	2 · 10 ⁻⁹ h)	0,5 · 10 ⁶ g)	-	-	-	-	-

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Vinha (2007).
- 2) Gyproc Oy (2006).
- 3) Hyttinen, A. (2010).
- 4) Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Gyproc (2010a).
- 5) VTT-C-3212-08 (2008).
- 6) RT 37721 (2009).
- 7) Cembrit Oy (2003).
- 8) RT L-37625 (2008).
- 9) Ypöp Oy (2010b).
- 10) Ypöp Oy (2010a).
- 11) VTT-C-713-06 (2006).
- 12) Nilsen, L.H.
- 13) Paroc Oy Ab (2003)
- a) arvo tuulensuojalaminalla
- b) arvo tuulensuojalaminalla
- c) RT L-37625 (2008) ilmoittaa arvoksi 8 · 10⁻³ s/m.
- d) laskettu μ: n vakioarvosta
- e) laskettu arvosta W_v
- f) laskettu arvosta W_p
- g) laskettu arvosta W_p
- h) laskettu arvosta Z.
- i) arvo tuulensuojalaminalla
- j) lasivilla tiheydelle 90...120 kg/m³
- k) ilmanläpäisevyys 25...40 · 10⁻⁶ m²/(m·s·Pa) lasivillan tiheydelle 90...120 kg/m³
- l) ilmanläpäisevyys 25 · 10⁻⁶ m²/(m·s·Pa)
- m) Paroc Oy Ab (2003) mukaan μ = 1
- n) laskettu arvosta δ.

Tuulensuojatuotteiden lämpöteknisiä ominaisuuksia										
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c_p [J/(kg·K)]	Pituuden lämpölaajene- miskerroin [1/K]	Ilmaniäpäsyy- kerroin K_a [m ² /(m ² ·s·Pa)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{absoloid}$ [W/(m·K)]	Lämmönjohtavuus $\lambda_{10, +10\text{ °C}}$ [W/(m·K)]				Lähde
						0 % RH	33 % RH	65 % RH	86 % RH	
Tuulensuojalevyt										
Huokoinen puukuitulevy 12 mm	270	1500	-	$10 \cdot 10^{-6}$ 6)	0,052 6)	0,049	0,050	0,051	0,053	1
Huokoinen puukuitulevy 25 mm	280	1500	-	$10 \cdot 10^{-6}$ 6)	0,052 6)	0,050	0,051	0,052	0,054	1
Bitumilla kyllästetty huokoinen puukuitulevy 12 mm	241 12)	-	-	$8 \cdot 10^{-6}$	0,049			0,046		11
Bitumilla kyllästetty huokoinen puukuitulevy 25 mm	249 12)	-	-	$4 \cdot 10^{-6}$	-			0,045		11
Tuulensuojakipsilevy 9 mm	774	1100	$25 \cdot 10^{-6}$ 4)	$0,2 \cdot 10^{-6}$ 2)	-	0,190	0,190	0,190	0,200	1
Kompositiikkipsituulensuojalevy 12,5 mm	704	-	$25 \cdot 10^{-6}$ 4)	$0,2 \cdot 10^{-6}$ 4)	-			0,19 a)		3
Kompositiikkipsituulensuojalevy 15,5 mm	758	-	$25 \cdot 10^{-6}$ 4)	$0,2 \cdot 10^{-6}$ 4)	-			0,22 a)		3
Kuitusementituulensuojalevy 3,2 mm	1780	850	$8 \cdot 10^{-6}$ 7)	-	-	0,400	0,400	0,400	0,400	1
Tuulensuojavillat										
Lasivillalevy 30 mm, toisella puolella lasikuituhuopa	73	850	-	$\leq 2,5 \cdot 10^{-5}$ 5)	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	1
Lasivillalevy 25 mm, lasikuitu- ja tuulensuojapinnoitteella	104	850	-	k)	0,032	0,031	0,031	0,031	0,031	1
Kivivillalevy 30 mm, pinnoitettu lasikuituhuovalla	92	850	-	l)	0,034 13)	0,032	0,032	0,032	0,032	1
Lasivillalevy 30 mm, pinnoitettu tuulensuojalaminaatilla	120	850	-	$10 \cdot 10^{-6}$ 13) b)	0,034 13)	0,033	0,033	0,033	0,033	1
Tuulensuojakalvot										
Polypropeenillä päällystetty kuitukangas	360	1500	-	$2 \cdot 10^{-9}$ 10)	-	-	-	-	-	1
Polyeteeni ja mikrokuiturakenteinen tuulensuojalaminaatti	250	1500	-	$10 \cdot 10^{-6}$ 13)	-	-	-	-	-	1
Tuulensuojalaminaatti	230	1500	-	-	-	-	-	-	-	1
Tuulensuojalaminaatti	390	1500	-	-	-	-	-	-	-	1
Bitumivuorauspaperi	940	1500	-	$< 28 \cdot 10^{-6}$ 9)	-	-	-	-	-	1
Bitumivuorauskreppi	540	1500	-	$< 28 \cdot 10^{-6}$ 9)	-	-	-	-	-	1
Bitumivuorauspaperi	860	1500	-	$< 28 \cdot 10^{-6}$ 9)	-	-	-	-	-	1
Bitumivuorauspaperi	840	1500	-	-	-	-	-	-	-	1
Bitumivuorauskreppi	620	1500	-	-	-	-	-	-	-	1

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksi ilmoittavat poikkeukset.

a) tiheydelle 700 kg/m³ lämpötilassa +23 °C.

b) arvo tuulensuojalaminaatille

c) DuPont de Nemours (2009) n

d) YPPAP Oy (2010a).

1) Vihna (2007).

2) Gyproc Oyj (2006).

3) Hyttinen, A. (2010).

4) YPPAP Oy (2010a).

5) VTT-C-3212-08 (2008).

6) RT 37721 (2009).

7) Cembrit Oy (2003).

8) Paroc Oy Ab (2003).

9) YPPAP Oy (2010a).

10) YPPAP Oy (2010b).

11) VTT-C-713-06 (2006).

12) Paroc Oy Ab (2003).

13) YPPAP Oy (2010a).

Mineraaliivillaisten lämmönneristeiden kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C									
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Diffuusiovastuskerroin μ [-]			Lähde	
					0 % RH	55 % RH	75 % RH 95 % RH		
Mineraaliivillat									
Lasivillalevy	22	$22,3 \cdot 10^{-6}$	$163 \cdot 10^{-12}$ h)	1,2	1,2	1,2	1,2	1	
Kiivillalevy	37	$22,3 \cdot 10^{-6}$	$164 \cdot 10^{-12}$ h)	1,2	1,2	1,2	1,2	1	
Puhallettava lasivilla	22...28	$25,7 \cdot 10^{-12}$ i)	$188 \cdot 10^{-12}$ e)	1 2)	-	-	-	4	
Puhallettava lasivilla	28...30	$25,7 \cdot 10^{-12}$ i)	$188 \cdot 10^{-12}$ e)	1 2)	-	-	-	4	
Puhallettava kivivilla	30...60	$25,7 \cdot 10^{-12}$ i)	$188 \cdot 10^{-12}$ e)	1 2)	-	-	-	3	

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen

- 1) Vinha (2007).
 - 2) RIL 107-2000 (2009.)
 - 3) VTT-C-3840-09 (2009).
 - 4) VTT-C-3786-21-09 (2009).
- e) laskettu μ :n vakioarvosta
g) Paroc Oy Ab (2003) mukaan $\mu = 1$
h) laskettu arvosta δ_v
i) laskettu arvosta δ_p

Mineraalivillalaisten lämmöneristeiden lämpöteknisiä ominaisuuksia											
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c_p [J/(kg·K)]	Ilmanläpäi- sevyys L [m ² /(m·s·Pa)]	Ilmanläpäisy- kerroin K_a [m ³ /(m ² ·s·Pa)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{\text{declared}}$ [W/(m·K)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{\text{design}+23\text{ °C}}$ [W/(m·K)]	Lämmönjohtavuus λ_{10} lämpötilassa +10 °C [W/(m·K)]			Lähde	
							RH 33 %	RH 65 %	RH 86 %	RH 97 % W_{hygr}	
Mineraalivillat											
Lasivillalevy	22	850	100 · 10 ⁻⁶ 2)	-	0,033...0,037 8)	0,033...0,037 8)	0,035	0,035	0,035	0,035	1
Kivivillalevy	37	850	100 · 10 ⁻⁶ 2)	-	0,034...0,039 6)	-	0,034	0,034	0,033	0,034	1
Puhallettava lasivilla	22...28	850 1)	460 · 10 ⁻⁶ 2)	-	0,041	-	-	-	-	-	4
Puhallettava lasivilla	28...30	850 1)	225 · 10 ⁻⁶ 2)	-	0,039	-	-	-	-	-	4
Puhallettava kivivilla	30...60	850 1)	280 · 10 ⁻⁶ 2)	-	0,040	-	-	-	-	-	3
Mineraalivillaiset tuulensuojalevyt											
Lasivillalevy 30 mm, toisella puolella lasikuituhuopa	73	850	-	≤2,5 · 10 ⁻⁶ 5)	-	0,031 5)	0,031	0,031	0,031	0,031	1
Lasivillalevy 25 mm, lasikuitu- ja tuulensuojapinnoitteella	104	850	25...40 · 10 ⁻⁶ 2) c)	-	0,032	-	0,031	0,031	0,031	0,031	1
Kivivillalevy 30 mm, pinnoitettu lasikuituhuovalla	92	850	25 · 10 ⁻⁶ 6)	-	0,034 6)	-	0,032	0,032	0,032	0,032	1
Lasivillalevy 30 mm, pinnoitettu tuulensuojakankaalla	120	850	-	10 · 10 ⁻⁶ 6) b)	-	-	0,033	0,033	0,033	0,033	1

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Vinha (2007).
- 2) RIL 225-2004 (2005).
- 3) VTT-C-3840-09 (2009).
- 4) VTT-C-3786-21-09 (2009).
- 5) VTT-C-3212-08 (2008).
- 6) Paroc Oy Ab (2003).
- 7) Saint-Gobain Isover G+H AG. (2008).
- 8) lasivilla tiheydelle 90...120 kg/m³
- a) theydelle 35...40 kg/m³
- b) arvo tuulensuojalaminaatille
- c) lasivilla tiheydelle 90...120 kg/m³

Muovipohjaisten lämmöneristeiden kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C										
Materiaali	Tiheys p [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_p [m/s]	Vesihöyryn- vastus Z_v [s/m]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn- vastus Z_p [m ² ·s·Pa/kg]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Suht. diffuusio- vastuskerroin S_d [m]	Lähde
EPS-eristeet lämpötilassa +10 °C										
EPS	11...40	0,98...1,6·10 ⁻⁶ b)	7,2...12·10 ⁻¹²	-	-	-	-	-	-	18
EPS 60S Katto	15	22,3·10 ⁻⁶	5...7·10 ⁻¹²	-	-	-	-	26,9...37,6 b)	-	10
EPS 60S Seinä	15	22,3·10 ⁻⁶	5...7·10 ⁻¹²	-	-	-	-	20...40 ¹¹⁾	-	10
EPS 100 Lattia	20	0,41...0,96·10 ⁻⁶ b)	3...7·10 ⁻¹² 11)	-	-	-	-	30...70 ¹¹⁾	-	10
EPS 200 Lattia	30	0,27...0,68·10 ⁻⁶ b)	2...5·10 ⁻¹² 11)	-	-	-	-	40...100 ¹¹⁾	-	10
EPS 120 Rousta	22	0,21...0,51·10 ⁻⁶ b)	3,76...1,57·10 ⁻¹² e)	-	-	-	-	50...120 ¹¹⁾	-	10
Suulakepuristettu polystereeni (XPS)										
XPS	25...55	0,13...0,23·10 ⁻⁶ b)	0,95...1,7·10 ⁻¹²	-	-	-	-	198...111 b)	-	18
Puoliponttilevy 50 mm ja 60 mm	32	0,21·10 ⁻⁶ b)	<1,5·10 ⁻¹²	3,5...4,2·10 ⁻⁶ n)	238...286·10 ⁻³ a)	25,6·10 ⁻¹² a)	39,1·10 ⁹ f)	125,3 b)	6,3...7,5 e)	17
Puoliponttilevy ≥70 mm	32	0,21·10 ⁻⁶ b)	<1,5·10 ⁻¹²	3·10 ⁻⁶ n)	333·10 ⁻³ a)	22,0·10 ⁻¹² a)	45,5·10 ⁹ f)	125,3 b)	8,8 e)	17
Höyrynsulkelevy 30 mm täyspöntti	-	0,21·10 ⁻⁶ b)	<1,5·10 ⁻¹²	7·10 ⁻⁶ n)	143·10 ⁻³ a)	51,2·10 ⁻¹² a)	19,5·10 ⁹ f)	125,3 b)	3,8 e)	17
Grafiittia sisältävä EPS										
Grafiittia sisältävä EPS, lattia	28...45	0,45...0,72·10 ⁻⁶ b)	4,3 (±1)·10 ⁻¹² 12)	-	-	-	-	20...40 ¹¹⁾	-	14
Grafiittia sisältävä EPS, seinä	28...45	0,67...0,94·10 ⁻⁶ b)	5,9 (±1)·10 ⁻¹² 13)	-	-	-	-	20...40 β 11)	-	14
Polyuretaanieristeet (PUR, PIR)										
Polyuretaani, vaahto	30...50	0,43·10 ⁻⁶ b)	3,13·10 ⁻¹² e)	-	-	-	-	60	-	9
Polyuretaani, jäykkä	28...55	0,29...1,61·10 ⁻⁶ b)	2,1...11,8·10 ⁻¹² 18)	-	-	-	-	60	-	9
Alumiinilaminaatilla pinnoitettu polyuretaanilevy 30 mm	35...60	0,014...0,16·10 ⁻⁶ b) k)	0,1...1,2·10 ⁻¹² k)	34·10 ⁻⁴ c)	249 a)	0,247·10 ⁻¹² c)	4050·10 ⁹	157...1880 b)	l)	16
Paperilaminaattipintainen polyuretaanilevy 30 mm	35...60	0,014...0,16·10 ⁻⁶ b) k)	0,1...1,2·10 ⁻¹² k)	1448·10 ⁻⁴ c)	6,9 a)	10,6·10 ⁻¹² c)	94·10 ⁹	157...1880 b)	l)	16
PIR-eriste	20...55	0,30...1,13·10 ⁻⁶ b)	2,2...8,3·10 ⁻¹²	-	-	-	-	-	-	18

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliryöhen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

9) SFSE-EN ISO 10456 (2008).
 10) EPS-rakennuseristeollisuus (2010).
 11) Kilpeläinen & Kunnas (2010).
 12) VTT-C-3094-08 (2010).
 13) VTT-C-3712-09 (2009).
 14) BASF The Chemical Company (2009).
 15) SPU Systems (2009).
 16) Finnfoam Oy (2010b).
 17) Kumaran (1996).
 18) Kumaran & Kunnas (2010).
 a) laskettu arvosta W_p
 b) laskettu arvosta δ_p
 c) laskettu arvosta Z_p
 d) laskettu μ n vakioarvosta
 e) laskettu arvosta W_p
 f) Paroc Oy Ab (2003) mukaan $\mu = 1$
 g) 5...7·10⁻¹² kg/(m·s·Pa) tiheydelle 15 kg/m³
 h) 20...40 [-] tiheydelle 15 kg/m³
 i) theydelle 15 kg/m³
 j) theydelle 15 kg/m³
 k) polyuretaani ilman alumiinilaminaattia
 l) polyuretaanieriste $\mu = 5...8$, alumiinilaminaatti $\mu = 1500$
 m) yksikkö kg/(m·s·Pa)
 n) laskettu arvosta δ_p

Muovipohjaisten lämmöneristeiden lämpöteknisiä ominaisuuksia									
Materiaali	Tiheys ρ	Huokoi- suus	Ominaislämpö- kapasiteetti C_p	Pituuden lämpölaajene- miskerroin	Ilmanläpäi-sevyys K_a	Lämmön- johtavuus $\lambda_{dektared}$	Lämmön- johtavuus $\lambda_{design} +23\text{ °C}$	Lämmön- johtavuus $\lambda_{10} +10\text{ °C}$	Lahde
	[kg/m ³]	[m ³ /m ³]	[J/(kg·K)]	[1/K]	[m ² /(m·s·Pa)]	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]	
Paisutettu polystyreeni (EPS)-eristeet lämpötilassa +10 °C									
EPS	11...40	-	1470	-	4,9...5,6 · 10 ⁻⁶ m ²	-	-	0,0333...0,0336	18
EPS 60S Katto	15	-	1210 ¹¹⁾	0,5...0,7 · 10 ⁻⁶	-	0,039	0,039 ^{d)}	-	10
EPS 60S Seinä	15	-	1210 ¹¹⁾	0,5...0,7 · 10 ⁻⁶	-	0,039	0,039 ^{d)}	-	10
EPS 100 Lattia	20	-	1210 ¹¹⁾	0,5...0,7 · 10 ⁻⁶	5...8 · 10 ⁻⁹ 11)	0,04	0,036...0,041 ^{d)}	-	10
EPS 200 Lattia	30	-	1210 ¹¹⁾	0,5...0,7 · 10 ⁻⁶	-	0,03	0,033...0,049 ^{d)}	-	10
EPS 120 Routa	22	-	1210 ¹¹⁾	0,5...0,7 · 10 ⁻⁶	-	0,036	0,037...0,041 ^{d)}	-	10
Grafiittia sisältävä EPS									
Grafiittia sisältävä EPS, lattia	28...45	-	-	-	20...25 · 10 ⁻⁹ 11)	0,030...0,034 ¹²⁾	-	-	14
Grafiittia sisältävä EPS, seinä	28...45	-	-	-	20...25 · 10 ⁻⁹ 11)	0,031 ¹³⁾	-	-	14
Suulakepuristettu polystyreeni (XPS)									
XPS	25...55	-	1470	-	9,2...9,6 · 10 ⁻⁶	-	-	0,0215...0,0279	18
Puoliponttilevy 50 mm ja 60 mm	32	-	-	0,7 · 10 ⁻⁵	-	0,035	0,034...0,035	0,030...0,035	17
Puoliponttilevy \geq 70 mm	32	-	-	0,7 · 10 ⁻⁵	-	0,037	0,036...0,037	0,030...0,035	17
Höyrynsulkulevy 30 mm täyspontti	-	-	-	0,7 · 10 ⁻⁵	-	0,032	0,03	0,029...0,035	17
Polyuretaanieristeet (PUR, PIR)									
Polyuretaani, vaahto	30...50	-	1400	-	-	$\lambda = 0,025...0,030$	-	-	9
Polyuretaani, jäykkä	28...55	-	1400,00	-	-	$\lambda = 0,025...0,030$	-	-	9
Alumiinilaminaatilla pinnoitettu polyuretaanilevy 30 mm	35...60	-	1400 ⁹⁾	0,5...0,8 · 10 ⁻⁶	∞	0,023	0,023	0,023	16
Paperilaminaattipintainen polyuretaanilevy 30 mm	35...60	-	1400 ⁹⁾	0,5...0,8 · 10 ⁻⁶	-	0,026...0,027	0,026 ¹⁵⁾	0,026 ¹⁵⁾	16
PIR-eriste	20...55	-	1470	-	-	-	-	0,024 ¹⁾	18
Muovikuitupohjaisia lämmöneristeitä									
Polypropeenikuitueriste, nauhaeriste, 5...40 mm	-	-	-	-	-	0,033	-	-	19
Polyesterikuitueristelevy 50...100 mm	-	-	-	-	300 · 10 ⁻⁶ 2)	0,045	0,04	-	21

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 2) RIL 225-2004 (2005).
 9) SFS-EN ISO 10456 (2008).
 10) EPS-rakennuseristeteollisuus (2010).
 11) Kilpeläinen & Kunnas (2010).
 12) VTT-C-3094-08 (2010).
 13) VTT-C-3712-09 (2009).
 14) BASF The Chemical Company (2009).
 15) Käkelä et al. (2009).
 16) SPU Systems (2009).
 17) Finnfoam Oy (2010b).
 18) Kumaran (1996).
 19) Jyremark saumaeristeet (2010).
 21) Ewona Finland Oy (2010).
 d) ks. erillinen taulukko
 i) 20...40 [-] tiheydelle 15 kg/m³
 j) tiheydelle 15 kg/m³
 k) polyuretaani ilman alumiinilaminaattia
 l) eristepaksuudelle 52 mm lämpötilassa 24 °C

EPS-eristeen lämpöteknisiä ominaisuuksia. (Kilpeläinen & Kunnas 2010.)					
EPS-eriste	Tiheys [kg/m ³]	Lämmönjohtavuus $\lambda_{design} +10\text{ °C}$, [W/m·K]			
		Kosteuspitoisuus tilavuusprosentteina			
		<1	1	2	5
EPS 60S Katto	15	0,039	-	-	-
EPS 60S Seinä	15	0,039	-	-	-
EPS 100 Lattia	20	0,036	0,037	0,039	0,044
EPS 200 Lattia	30	0,033	0,034	0,036	0,04
EPS 120 Routa	22	-	-	0,037...0,041	

Luonnonkuitupohjaisten lämmöneristeiden kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C													
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_v [m/s]	Vesihöyryn- vastus Z_v [s/m]	Vesihöyryn- läpäisykerroin W_p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn- vastus Z_p [m ² ·s Pa/kg]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Diffuusiovastuskerroin μ [-]			Suht. diffuusio- vastuskerroin S_d [m]	Lähde
									0 % RH	55 % RH	75 % RH		
Puukuitueristeet													
Puukuitueristelevy 25 mm	63	$13,3 \cdot 10^{-6}$	$97,3 \cdot 10^{-12}$ g)	$5,32 \cdot 10^{-4}$ f)	$1,88 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^{-9}$ h)	$0,33 \cdot 10^9$ i)	2	2	2	2	0,05 e)	1
Puukuitueristelevy 50 mm	51	$20,1 \cdot 10^{-6}$	$147 \cdot 10^{-12}$ g)	$4,0 \cdot 10^{-4}$ f)	$2,48 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{-9}$ h)	$0,5 \cdot 10^9$ i)	1,3	1,3	1,3	1,3	0,065 e)	1
Puukuitueristelevy 12 mm	234	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$41,7 \cdot 10^{-12}$ g)	$4,72 \cdot 10^{-4}$ f)	$2,12 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{-9}$ h)	$1 \cdot 10^9$ i)	4,8	4,8	4,8	4,8	0,058 e)	1
Puukuitueriste (irtoeriste, puhallettu)	37	$20,8 \cdot 10^{-6}$	$152 \cdot 10^{-12}$ g)	-	-	-	-	1,3	1,3	1,3	1,3	-	1
Puukuitueriste (irtoeriste, sullottu)	60	$17,7 \cdot 10^{-6}$	$130 \cdot 10^{-12}$ g)	-	-	-	-	1,5	1,7	1,5	1,39	1,28	1
Puukuituulensuojalevyjä													
Huokoinen puukuitulevy 12 mm	270	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$35,9 \cdot 10^{-12}$ g)	$4,07 \cdot 10^{-4}$ f)	$2,46 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{-9}$ 2a)	$0,33 \cdot 10^9$ i)	5,5	5,5	5,5	5,5	0,138	1
Huokoinen puukuitulevy 25 mm	280	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$42,4 \cdot 10^{-12}$ g)	$2,33 \cdot 10^{-4}$ f)	$4,29 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{-9}$ 2a)	$0,5 \cdot 10^9$ i)	4,6	4,6	4,6	4,6	0,056	1
Sahanpuru ja kutterinlastu													
Sahanpuru (irtoeriste)	168	$13 \cdot 10^{-6}$	$95,1 \cdot 10^{-12}$ g)	-	-	-	-	2,1	2,1	2,1	2,1	-	1
Kutterinlastu (irtoeriste)	130	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$79,8 \cdot 10^{-12}$ g)	-	-	-	-	2,5	2,5	2,5	2,5	-	1
Sahanpuru + kutterinlastu (irtoeriste)	149	$12 \cdot 10^{-6}$	$87,8 \cdot 10^{-12}$ g)	-	-	-	-	2,3	2,3	2,3	2,3	-	1
Pellavaeriste													
Pellavaeristelevy	39	$19,9 \cdot 10^{-6}$	$145,6 \cdot 10^{-12}$ g)	-	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	-	1
Hamppueriste													
Hamppueristelevy	28...46							1...2	-	-	-	-	22

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista

1) Vinha (2007).

22) Deutsche Institut für Bautechnik (2006).

24) RT 37721 (2009).

e) laskettu μ n vakioarvosta

f) laskettu arvosta Z_v

g) laskettu arvosta δ_v

h) laskettu arvosta W_v

i) laskettu arvosta W_p

hampueristeiden kosteustekniset ominaisuudet ovat samankaltaiset kuin pellavaeristeillä

Luonnonkuitupohjaisten lämmöneristeiden lämpöteknisiä ominaisuuksia											
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c_p [J/(kg K)]	Ilmanläpäi- sevyys L [m ³ /(m·s·Pa)]	Ilmanläpäisy- kerroin K_a [m ² /(m ² ·s·Pa)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{\text{declared}}$ [W/(m·K)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{\text{design} +23\text{ °C}}$ [W/(m·K)]	Lämmönjohtavuus $\lambda_{10 +10\text{ °C}}$ [W/(m·K)]			Lähde	
							33 % RH	65 % RH	86 % RH		97 % RH W_{hygr}
Puukuitueristeet											
Puukuitueristelevy 25 mm	63	2000	45...50·10 ⁻⁶ 25)	-	0,037 26)	-	0,037	0,037	0,038	0,040	1
Puukuitueristelevy 50 mm	51	2000	45...50·10 ⁻⁶ 25)	-	0,037 26)	-	0,037	0,038	0,039	0,042	1
Puukuitueristelevy 12 mm	234	1500	-	15·10 ⁻⁶ 24)	-	-	0,050	0,051	0,053	0,055	1
Puukuitueriste (irtoeriste, puhallettu)	37	2000	65...80·10 ⁻⁶ 27)	-	0,039...0,040 27)	0,040...0,041 27)	0,038	0,038	0,039	0,042	1
Puukuitueriste (irtoeriste, sullottu)	60	2000	65...80·10 ⁻⁶ 27)	-	0,039...0,040 27)	0,040...0,041 27)	0,040	0,041	0,042	0,044	1
Puukuituulensuojalevyt											
Huokoinen puukuitulevy 12 mm	270	1500	-	≤10·10 ⁻⁶ 24)	0,052 24)	-	0,050	0,051	0,053	0,055	1
Huokoinen puukuitulevy 25 mm	280	1500	-	≤10·10 ⁻⁶ 24)	0,052 24)	-	0,051	0,052	0,054	0,056	1
Sahanpuru ja kutterinlastu											
Sahanpuru (irtoeriste)	168	2500,0	-	-	-	-	0,056	0,057	0,061	0,069	1
Kutterinlastu (irtoeriste)	130	2500	-	-	-	-	0,054	0,055	0,057	0,060	1
Sahanpuru + kutterinlastu (irtoeriste)	149	2500,0	-	-	-	-	0,052	0,054	0,057	0,064	1
Pellavaeriste											
Pellavaeristelevy	39	2000	190·10 ⁻⁶ 2)	-	-	-	0,036	0,036	0,038	0,041	1
Pellavaeriste (irtoeriste, sullottu)	35...97	2000	0,4...4,3·10 ⁻⁹	-	-	-					20
Hamppueriste											
Hamppueristelevy	28...46	1600 23)	-	-	-	0,040					22

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

1) Vinha (2007).

22) Deutsche Institut für Bautechnik (2006).

25) RT K-37006 (2005).

26) Vital Finland Oy (2010).

23) Hock GmbH & Co. KG. (2009).

27) RT K-37555 (2008).

24) RT 37721 (2009).

20) Rissanen & Viljanen (1998).

Runkomateriaalien kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C							
Materiaali	Tiheys p [kg/m ³]	Huokoi- suus [m ³ /m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ _v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ _p [kg/(m·s·Pa)]	Diffuusio- vastuskerroin μ	2) Diffuusiovastus- kerroin μ	Lähde
						<70 % RH >70 % RH	
Puu ja puutuotteet							
Kuusi	385...405	0,8	0,2...3,5·10 ⁻⁶ 3) a)	1) e)	40 14)	-	1
Mänty	365...565	0,8	0,25...2,7·10 ⁻⁶ 5) c)	1) d)	49 4)	-	1
Puutavara	450	-	0,73·10 ⁻⁶ m)	5,37·10 ⁻¹² f)	35 g)	50	2
Puutavara	500	-	0,73·10 ⁻⁶ m)	5,37·10 ⁻¹² f)	35 g)	50	2
Puutavara	700	-	0,21·10 ⁻⁶ m)	1,50·10 ⁻¹² f)	125 g)	200	2
Liimapuu	410...470	-	-	-	-	-	-
Kertopuu	480...510 k)	-	0,3...6,6·10 ⁻⁶ m)	2,29...48·10 ⁻¹² f)	l)	-	13
CLT- monikerroslevy	470	-	-	-	-	50...200	14
Poltettu tiili ja kalkkihiekkatiili							
Tiili	1800...1980	0,11...0,25	2,7...5,5·10 ⁻⁶ 3)	19,8...40,3·10 ⁻¹² n)	5...9 3)	-	∞ 2)
Kalkkihiekkatiili, täystiili	1700...1900	0,2...0,35	0,6...1,3·10 ⁻⁶ 3)	4,39...9,51·10 ⁻¹² n)	15...40 3)	5 9)	25 9)
Kalkkihiekkatiili, harkko	1560...1600	0,2...0,35	0,6...1,3·10 ⁻⁶ 3)	4,39...9,51·10 ⁻¹² n)	15...40 3)	5 9)	25 9)
Kevytbetoni ja kevytsorabetoni							
Kevytbetoni	400...500	0,7	3,2·10 ⁻⁶ m)	23,5·10 ⁻¹² f)	8 g)	10 7)	5 7)
Kevytbetoniharkko	650...950	0,6...0,8	2,7...5,7·10 ⁻⁶ m)	20...42·10 ⁻¹² 12)	-	-	-

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Kumaran (1996).
- 2) SFS-EN ISO 10456 (2008).
- 3) Nevander & Elmarsson (1994).
- 4) Vinha (2007).
- 5) Hedenblad (1996).
- 6) RT F-37387 (2007).
- 7) maxit Oy (2009).
- 8) H+H Finland Oy (2010).
- 9) Höyryä & Värtinen (1989).
- 10) Lakan Betoni Oy (2008).
- 11) RT 37933 (2010).
- 12) Manninen (2010).
- 13) RIL 183-2.22-1996 (1996).
- a) laskettu arvosta Z_e.
- b) laskettu arvosta W₀.
- c) laskettu arvosta W_p.
- d) syiden suuntaan 290...1190·10⁻¹³ kg/(m·s·Pa), kohtisuoraan syitä vastaan 2,6·10⁻¹³ kg/(m·s·Pa)
- e) syiden suuntaan 5,3...8,7·10⁻¹¹ kg/(m·s·Pa), kohtisuoraan syitä vastaan 1,7...0,053·10⁻¹¹ kg/(m·s·Pa)
- f) laskettu μ:n vakioarvosta
- g) laskettu keskiarvo
- h) tiheydelle 430 kg/m³ RH 20...50 % δ_p = 1,8...2,2·10⁻¹¹ ja RH 75...95 % δ_p = 4,2...6,3·10⁻¹¹ kg/(m·s·Pa)
- i) tiheydelle 600...1300 kg/m³
- j) kertopuutaloipan tiheys on 410...440 kg/m³
- k) Kertopuupalkille paksumpaan suuntaan 80, leveään 82, syiden suuntaan 3,9
- l) Kertopuulevyille paksumpaan suuntaan 62, leveään 9,5 ja syiden suuntaisesti 4,7.
- m) laskettu arvosta δ_p
- n) laskettu arvosta δ_e

Runkomateriaalien lämpöteknisiä ominaisuuksia									
Materiaali	Tiheys p	Huokoisuus	Ominaislämpökapasiteetti c _p	Pituuden lämpölaajenemiskerroin	Ilmanläpäisykerroin K _a	Lämmönjohtavuus λ _{kerros} +23 °C	Lämmönjohtavuus λ ₁₀ +10 °C	Lämmönjohtavuus λ ₁₀ +10 °C	Lähde
	[kg/m ³]	[m ³ /m ³]	[J/(kg·K)]	[1/K]	[m ³ /(m ² ·s·Pa)]	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]	
Puu ja puutuotteet									
Kuusi	385...405	0,8	1880	-	-	-	-	0 % RH	1
Mänty	385...555	0,8	1880	-	-	-	-	33 % RH	1
Puutavara	450	-	1600	-	-	-	-	65 % RH	2
Puutavara	500	-	1600	-	-	-	-	86 % RH	2
Puutavara	700	-	1600	-	-	-	-	97 % RH	2
Limapuu	410...470	-	-	-	-	-	-	kohtisuoraan syytä vastaan λ ₁₀ = 0,10, syiden suuntaan λ ₁₀ = 0,30	13
Kertopuu	480...510 ^{k)}	-	-	-	-	-	-	0,11 ⁴⁾ 0,12 ⁴⁾ 0,13 ⁴⁾	13
CLT- monikerroslevy	470	-	1600	-	-	-	-	0,11	14
Teräs									
Teräs, hiilipitoisuus 0,1 %	7800	-	460	12,2 · 10 ⁻⁶	-	55	-	-	6
Teräs, hiilipitoisuus 0,85 %	7800	-	480	11,5 · 10 ⁻⁶	-	44	-	-	6
Valurauta, valssattu	7850	-	-	-	-	-	-	-	6
Valurauta	7250	-	500	11 · 10 ⁻⁶	-	28...44	-	-	6
Puhdas rauta	7870	-	-	12,1 · 10 ⁻⁶	-	78	-	-	6
Ruostumaton teräs, lämpötila +20 °C									
Ferriittiset teräsket (17 % Cr) ja martensittiset teräsket (14 % Cr)	7700...7720	-	500	10,8...11,2 · 10 ⁻⁶	-	30 ²⁾	-	-	6
Austenittiset teräsket (18 % Cr 9 % Ni)	7900	-	500	17,6 · 10 ⁻⁶	-	17 ²⁾	-	-	2
Alumiiniseokset									
Poltettu tiili ja kalkkikiekkatiili	2800	-	880	23...24 · 10 ⁻⁶ 6)	-	160	-	-	2
Tiili									
Kalkkikiekkatiili, täystiili	1800...1980	0,11...0,25	840...920	5...6 · 10 ⁻⁶ 3)	3) f)	1,3 ²⁾ 8)	Lämpötilassa +5...+20 °C, kuiva tiili, λ ₁₀ = 1,00...1,01 [W/(m·K)]	Lämpötilassa +20 °C, kosteuspit. 2...12 %, λ ₁₀ = 1,21...2,0 [W/(m·K)]	1
Kalkkikiekkatiili, haarkko	1700...1900	0,2...0,35	-	8 · 10 ⁻⁶	-	-	0,64	0,64	8
Kalkkikiekkatiili, haarkko	1560...1500	0,2...0,35	-	8 · 10 ⁻⁶	-	-	0,64	0,64	8
Kevytbetoni ja kevytsorabetoni									
Kevytbetoni 400 kg/m ³	400	0,83...0,85	1050	8 · 10 ⁻⁶ 10)	-	-	0,096 ^{7) m)}	-	15
Kevytbetoni 450 kg/m ³	450	0,81...0,83	1050	8 · 10 ⁻⁶ 10)	-	-	0,108 ^{7) m)}	-	15
Kevytbetoni 500 kg/m ³	500	0,79...0,81	1050	8 · 10 ⁻⁶ 10)	l)	-	0,12 ^{7) m)}	-	15
Kevytbetoni	400...500	0,7	1050	8 · 10 ⁻⁶	0,001...0,04 · 10 ⁻⁶ 3)	-	0,10...0,13	-	10
Kevytbetoniharkko	650...950	0,6...0,8	900 ^{1) j)}	6 · 10 ⁻⁶	-	-	Tiheydelle 650 kg/m ³ , haarkkoseinän, λ ₁₀ = 0,21...0,25 [W/(m·K)]	-	12

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Kumaaran (1996).
- 2) SFS-EN ISO 10456 (2008).
- 3) Nevander & Eimarsson (1994).
- 4) Vinha (2007).
- 5) Sneck (1970).
- 6) Korpi (2010).
- 7) Korpi (2010).
- 8) RT F-37387 (2007).
- 9) H+H Finland Oy (2010).
- 10) Lakan Betoni Oy (2008).
- 11) RT 37933 (2010).
- 12) Manninen (2010).
- 13) RIL 183-2.22-1996 (1996).
- f) ilmanläpäisykerroin K_a on 5...10 · 10⁻⁵ m³/(m²·s·Pa)
- g) tiheydelle 2300 kg/m³
- h) tiheydelle 600...1300 kg/m³
- i) kertopuutalpan tiheys on 410...440 kg/m³
- j) λ_{10,kerros} = λ_{declared}
- k) λ₁₀ kohtisuoraan syytä vastaan λ₁₀ = 0,090...0,1 W/(m·K)
- l) syiden suuntaan λ₁₀ = 0,229...0,25 W/(m·K)

Betonin kosteusteknisiä ominaisuuksia															
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Diffuusiovastus- kerroin μ , [-], +23 °C		Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyrynläpäisevyys δ_v ·10 ⁶ [m ² /s], RH %										Lähde
		<70 % RH	>70 % RH		35	50	70	80	90	95	96	97	98		
Betoni, w/c = 0,4	-	-	-	37,4 · 10 ⁻¹² c)	0,13	0,13	0,20	0,28	0,45	0,60	0,70	-	-	5	
Betoni, w/c = 0,5	-	-	-	2,79 · 10 ⁻¹² c)	0,14	0,14	0,20	0,35	1	2,50	4	9	-	5	
Betoni, w/c = 0,6	-	-	-	49,4 · 10 ⁻¹² c)	1	1	1	2	8	10	14	17	-	5	
Betoni, w/c = 0,7	-	-	-	62,8 · 10 ⁻¹² c)	0,17	0,17	0,21	0,42	1,30	6	9	20	≈40	5	
Betoni	1800	100	60	2,35 · 10 ⁻¹² d)	0,32 e)										2
Betoni	2000	100	60	2,35 · 10 ⁻¹² d)	0,32 e)										2
Betoni	2200	120	70	1,98 · 10 ⁻¹² d)	0,27 e)										2
Betoni	2400	130	80	1,79 · 10 ⁻¹² d)	0,25 e)										2
Betoni raudoitettu, 1 % terästä	2300	130	80	1,79 · 10 ⁻¹² d)	0,25 e)										2
Betoni raudoitettu, 2 % terästä	2400	130	80	1,79 · 10 ⁻¹² d)	0,25 e)										2
Betoni eri vesi-sementtisuhteissa lämpötilassa +20 °C					85...100 % RH										
0,35	-	-	-	3,66 · 10 ⁻¹² c)	0,50										5
0,4	-	-	-	5,85 · 10 ⁻¹² c)	0,80										5
0,26 + 5 % silikaattia	-	-	-	0,36 · 10 ⁻¹² c)	0,05										5
0,32 + 5 % silikaattia	-	-	-	0,73 · 10 ⁻¹² c)	0,10										5
0,42 + 5 % silikaattia	-	-	-	2,20 · 10 ⁻¹² c)	0,30										5

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

1) Hagertoft (2001).

2) SFS-EN ISO 10456 (2008).

3) Nevander & Elmarsson (1994).

4) Kumaran (1996).

5) Hedenblad (1996).

c) laskettu keskiarvosta δ_v

d) laskettu μ :n keskiarvosta

e) laskettu arvosta δ_p

Betoniin ja sementtipastan vesihöyrynläpäisevyyksiä									
Materiaali	Tiheys P [kg/m ³]	Vesihöyrynläpäisevyys δ_v [m ² /s]						Vesihöyrynläpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Lähde
		35...70 % RH	70...80 % RH	80...90 % RH	90...95 % RH				
Betoni, K30	-	0,12...0,25 · 10 ⁻⁶	0,20...0,50 · 10 ⁻⁶	0,55...1,60 · 10 ⁻⁶	1,75...4,8 · 10 ⁻⁶		4,79...13,1 · 10 ⁻¹² a)	3	
Betoni, K45	-	0,12...0,25 · 10 ⁻⁶	0,15...0,50 · 10 ⁻⁶	0,45...0,90 · 10 ⁻⁶	1,65...2,0 · 10 ⁻⁶		4,34...6,68 · 10 ⁻¹² a)	3	
Betoni eri vesi-sementtisuhhteissa lämpötilassa +20 °C									
0,40 (useamman vuoden vanha)	-	0,15 · 10 ⁻⁶	0,25 · 10 ⁻⁶	0,35 · 10 ⁻⁶	0,5 · 10 ⁻⁶		2,29 · 10 ⁻¹² a)	5	
0,50 (useamman vuoden vanha)	-	0,15 · 10 ⁻⁶	0,25 · 10 ⁻⁶	0,7 · 10 ⁻⁶	2,0 · 10 ⁻⁶		5,67 · 10 ⁻¹² a)	5	
0,60 (useamman vuoden vanha)	-	0,2 · 10 ⁻⁶	0,3 · 10 ⁻⁶	0,8 · 10 ⁻⁶	3,5 · 10 ⁻⁶		8,78 · 10 ⁻¹² a)	5	
0,70 (useamman vuoden vanha)	-	0,2 · 10 ⁻⁶	0,3 · 10 ⁻⁶	0,8 · 10 ⁻⁶	3,5 · 10 ⁻⁶		8,78 · 10 ⁻¹² a)	5	
Sementtipasta eri vesi-sementtisuhhteissa lämpötilassa +20 °C									
0,5 (useamman vuoden vanha)	-	0,6 · 10 ⁻⁶	1,0 · 10 ⁻⁶	2,0 · 10 ⁻⁶	3,0 · 10 ⁻⁶		12,1 · 10 ⁻¹² a)	5	
0,6 (useamman vuoden vanha)	-	1,0 · 10 ⁻⁶	1,5 · 10 ⁻⁶	3,0 · 10 ⁻⁶	6,0 · 10 ⁻⁶		21,0 · 10 ⁻¹² a)	5	
Betonin kosteusteknisiä ominaisuuksia +22 °C									
		55 % RH	75 % RH	86 % RH	93 % RH				
Betoni K30	-	0,208 · 10 ⁻⁶	0,266 · 10 ⁻⁶	0,287 · 10 ⁻⁶	0,271 · 10 ⁻⁶		1,89 · 10 ⁻¹²	6	
Betoni NP K40	-	0,589 · 10 ⁻⁶	0,179 · 10 ⁻⁶	0,218 · 10 ⁻⁶	0,290 · 10 ⁻⁶		2,33 · 10 ⁻¹²	6	

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

3) Nevander & Elmarsson (1994).

5) Hedenblad (1996).

6) Lindberg et al. (2002).

c) laskettu keskiarvosta δ_v .

Betonin vesihöyrynläpäisevyys on $1,5 \dots 5 \cdot 10^{-12}$ kg/(m·s·Pa).

Arvo 5 on usean vuoden vanha betoni w/c = 0,4.

Betonin K30 vesihöyrynläpäisevyys 93 % RH on $2 \cdot 10^{-12}$ kg/(m·s·Pa). (Björkholz 1997.)

Betoniin lämmönjohtavuus λ_0 (Kumaran 1996.)		Betoniin lämpöteknisiä ominaisuuksia										Lähde
Kosteus-pitoisuus [kg/kg]	Lämmön- johtavuus λ_0 0 °C [W/m·K]	Materiaali	Tiheys p [kg/m ³]	Huoko- isuus [m ³ /m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c _p [J/(kg·K)]	Pituuden lämpölaajene- miskerroin [1/K]	Ilmaniäpäisevyys L [m ³ /(m·s·Pa)]	Lämmön- johtavuus λ_{design} +23 °C [W/(m·K)]				
0	1,16	Betoni, w/c = 0,7	2300	-	900	-	-	1,7 ^{a)}				1
0,01	1,89	Betoni	2100...2300	0,15	840...940	-	-	1,16...2 ^{b)}				4
0,02	1,24	Betoni	-	-	-	11 · 10 ⁻⁶	0,000005...0,00005 · 10 ⁶	1,2				3
0,03	2,46	Betoni	1800	-	920...1000	8...10 · 10 ⁻⁶	-	1,15				2
0,04	2,61	Betoni	2000	-	920...1000	8...10 · 10 ⁻⁶	-	1,35				2
0,05	2,71	Betoni	2200	-	920...1000	8...10 · 10 ⁻⁶	-	1,65				2
0,06	2,78	Betoni	2400	-	920...1000	8...10 · 10 ⁻⁶	-	2				2
		Betoni raudoitettu, 1 % terästä	2300	-	920...1000	8...10 · 10 ⁻⁶	-	2,3				2
		Betoni raudoitettu, 2 % terästä	2400	-	920...1000	8...10 · 10 ⁻⁶	-	2,5				2

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

1) Hagentoft (2001).

2) SFS-EN ISO 10456 (2008).

3) Nevander & Elmarsson (1994).

4) Kumaran (1996).

a) kohtisuoraan raudoitusta vastaan, 6 terästen suuntaisesti

b) kuiva betoni, eri lämpötiloissa

Luonnonkivien kosteusteknisiä ominaisuuksia									
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Huokoi- suus [m ³ /m ³]	Vesihöyryniäpäisyvyys δ _v , lämpötilassa + 20 °C [m ² /s]			Vesihöyryn- läpäisyvyys δ _p [kg/(m·s·Pa)]	2) Diffuusiovastus- kerroin μ [-] +23 °C <70 % RH ≥70 % RH	Lähde	
			RH 35-70 %	RH 70-80 %	RH 80-90 %				RH 90-95 %
Diabaasi	3080	-	-	-	-	-	10 000	10 000	5
Gneissi	2690...3040	-	0,05 · 10 ⁻⁶ 3)	-	-	0,37 · 10 ⁻¹² d)	10000 a)	10000 a)	7
Graniitti	2640...3080	-	0,05 · 10 ⁻⁶ 3)	-	-	0,37 · 10 ⁻¹² d)	10000 a)	10000 a)	6
Hiekkakivi	2600	-	2...3 · 10 ⁻⁶ 3) b)	-	-	14,6...22 · 10 ⁻¹² d)	40 c)	30 c)	2
Kalkkikivi, hyvin pehmeä	1600	-	0,6...1,3 · 10 ⁻⁶ 3)	-	-	4,39...9,51 · 10 ⁻¹² d)	30	20	2
Kalkkikivi, pehmeä	1800	-	0,6...1,3 · 10 ⁻⁶ 3)	-	-	4,39...9,51 · 10 ⁻¹² d)	40	25	2
Kalkkikivi, keskikova	2000	-	0,6...1,3 · 10 ⁻⁶ 3)	-	-	4,39...9,51 · 10 ⁻¹² d)	50	40	2
Kalkkikivi, kova	2200	-	0,6...1,3 · 10 ⁻⁶ 3)	-	-	4,39...9,51 · 10 ⁻¹² d)	200	150	2
Kalkkikivi, erittäin kova	2600	-	0,6...1,3 · 10 ⁻⁶ 3)	-	-	4,39...9,51 · 10 ⁻¹² d)	250	200	2
Liuskeet	2500...2800	-	-	-	-	-	800	1 000	2
Marmori	2600...2900 8)	-	-	-	-	-	10 000	10 000	2
Suomalainen marmori	3000 8)	-	-	-	-	-	10 000	10 000	2
Syeniitti	2600...2900	-	-	-	-	-	-	-	2
Vuolukivi	2980	-	-	-	-	-	-	-	4
Ruotsalaisia rakennuskiviä lämpötilassa +20 °C									
Graniitti, punainen, Bohus	2650...2670	0,006	~0,005 · 10 ⁻⁶	~0,007 · 10 ⁻⁶	~0,009 · 10 ⁻⁶	~0,010 · 10 ⁻⁶ e)	10 000	10 000	1
Hiekkakivi, Gotlanti	2200...2700	0,17	0,8...1,1 · 10 ⁻⁶	1,1...1,5 · 10 ⁻⁶	1,5...2,0 · 10 ⁻⁶	2,0...2,7 · 10 ⁻⁶ e)	40	30	1
Kalkkikivi, Öölandi	2650	0,03	0,7...0,77 · 10 ⁻⁶	0,77...1,0 · 10 ⁻⁶	1,0...1,4 · 10 ⁻⁶	1,4...1,6 · 10 ⁻⁶ e)	250	200	1

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- Hedenblad (1996).
- SFS-EN ISO 10456 (2008).
- Nevander & Elmarsson (1994).
- Tiira (1986).
- Geological Survey of Finland (2007a).
- Geological Survey of Finland (2007b).
- Geological Survey of Finland (2007c).
- Selonen & Suominen (2003).
- laskettu arvosta δ_v
- laskettu keskiarvosta δ_v
- laskettu arvosta W_v
- laskettu arvosta W₀

Luonnonkivien lämpöteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C						
Materiaali	Tiheys [kg/m ³]	Huokoisuus [m ³ /m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti [J/(kg·K)]	Pituuden lämpölaajene- miskerroin [1/K]	Lämmön- johtavuus λ_{design} [W/(m·K)]	Lähde
Diabaasi	3080	-	-	d)	-	5
Gneissi	2690...3040	-	750 ⁹⁾	d)	e)	7
Granitti	2640...3080	-	750 ⁹⁾	5...9·10 ⁻⁶ ⁹⁾	2,8 ²⁾	6
Hiekkakivi	2600	-	710 ⁹⁾	2...12·10 ⁻⁶ ⁹⁾	2,3	2
Kalkkikivi, hyvin pehmeä	1600	-	880 ⁹⁾	3...7·10 ⁻⁶ ⁹⁾	0,85	2
Kalkkikivi, pehmeä	1800	-	880 ⁹⁾	3...7·10 ⁻⁶ ⁹⁾	1,1 ¹⁾	2
Kalkkikivi, keskikova	2000	-	880 ⁹⁾	3...7·10 ⁻⁶ ⁹⁾	1,4	2
Kalkkikivi, kova	2200	-	880 ⁹⁾	3...7·10 ⁻⁶ ⁹⁾	1,7	2
Kalkkikivi, erittäin kova	2600	-	880 ⁹⁾	3...7·10 ⁻⁶ ⁹⁾	2,3	2
Luskeet	2500...2800	-	-	2...7·10 ⁻⁶ ⁹⁾	2,3...3,5	2
Marmori	2600...2900 ⁸⁾	-	800 ⁹⁾	3...6·10 ⁻⁶ ⁹⁾	3,5	2
Suomalainen marmori	3000 ⁸⁾	-	-	d)	-	2
Syenitti	2600...2900	-	-	4...7·10 ⁻⁶ ⁹⁾	e)	2
Vuolukivi	2980	-	980 ⁴⁾	20·10 ⁻⁶	6,4 ⁴⁾	4
Ruotsalaisia rakennuskiviä lämpötilassa +20 °C						
Granitti 5 mm, punainen, Bohus	2650...2670	0,006	-	-	-	1
Hiekkakivi 8 mm, Gottlanti	2200...2700	0,17	-	-	-	1
Kalkkikivi 7 mm, Öölanti	2650	0,03	-	-	-	1

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaalien lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Hedenblad (1996).
- 2) SFS-EN ISO 10456 (2008).
- 3) Nevander & Elmarsson (1994).
- 4) Tiira (1986).
- 5) Geological Survey of Finland (2007a).
- 6) Geological Survey of Finland (2007b).
- 7) Geological Survey of Finland (2007c).
- 8) Selonen & Suominen (2003).
- 9) Pelttonen (1988).
- b) tiheydelle 2100 kg/m³
- d) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan luonnonkiville 5...12·10⁻⁶ 1/K
- e) Hagentoft (2001) mukaan luonnonkiville tiheydellä 2700 kg/m³ $\lambda = 2,4...3,6$ W/(m·K)
- f) Hagentoft (2001) mukaan $\lambda = 1$ W/(m·K)

Sisäilvyjen kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C											
Materiaali	Tiheys P [kg/m ³]	Vesihöyryn-läpäisevyys δ _v [m ² /s]	Vesihöyryn-läpäisevyys δ _p [kg/(m·s·Pa)]	Vesihöyryn-läpäisykerroin W _v [m/s]	Vesihöyryn-vastus Z _v [s/m]	Vesihöyryn-läpäisykerroin W _p [kg/(m ² ·s·Pa)]	Vesihöyryn-vastus Z _p [m ² ·s·Pa/kg]	Diffuusio-vastuskerroin μ	Diffuusio-vastuskerroin μ	Suht. diffuusio-vastuskerroin S _d [m]	Lähde
								0 % RH 55 % RH 75 % RH 95 % RH			
Puukuitulevyt											
Huokoinen puukuitulevy 12 mm	234	5,7 · 10 ⁻⁶	41,7 · 10 ⁻¹² p)	4,72 · 10 ⁻⁴ b)	2,12 · 10 ³	1,04 · 10 ⁻⁹ s)	1 · 10 ⁸ f)	4,8	4,8	4,8	0,058 e)
Huokoinen puukuitulevy ja MDF	250	6,42 · 10 ⁻⁶ m)	47 · 10 ⁻¹² e)	3,33 · 10 ⁻⁴ b)	3 · 10 ³ b)	5 · 3 · 10 ⁻⁹ b)	0,2 · 0,3 · 10 ⁸ i)	4	<70 % RH; 5	>70 % RH; 3	-
Puolikova puukuitulevy	400	3,43 · 10 ⁻⁶ m)	25 · 10 ⁻¹² e)	1,3 · 0,7 · 10 ⁻⁴ b)	8 · 15 · 10 ³ e)	0,95 · 10 ⁻⁹ d)	1,05 · 10 ⁸ f)	7,5	<70 % RH; 10	>70 % RH; 5	-
Puolikova puukuitulevy	600	0,6 · 10 ⁻⁶ b), h)	4,39 · 10 ⁻¹² p)	1,3 · 0,7 · 10 ⁻⁴ b)	8 · 15 · 10 ³ e)	1 · 10 ⁻⁹ f)	0,7 · 10 · 10 ⁸ i)	11	<70 % RH; 20	>70 % RH; 12	-
Puolikova puukuitulevy	800	0,6 · 10 ⁻⁶ b), h)	4,39 · 10 ⁻¹² p)	1,3 · 0,7 · 10 ⁻⁴ b)	8 · 15 · 10 ³ e)	1 · 0,83 · 10 ⁻⁹ b)	0,7 · 1,2 · 10 ⁸ i)	25	<70 % RH; 30	>70 % RH; 20	-
Kova puukuitulevy 4,8 mm	1140	0,34 · 10 ⁻⁶	2,49 · 10 ⁻¹² p)	0,7 · 10 ⁻⁴ b)	14,1 · 10 ³ f)	0,51 · 10 ⁻⁹ d)	1,95 · 10 ⁸ f)	79	79	79	0,379 e)
OSB-levy											
OSB 3- levy 12 mm	646	0,17 · 10 ⁻⁶	1,24 · 10 ⁻¹² p)	0,14 · 10 ⁻⁴ b)	71,9 · 10 ³	0,10 · 10 ⁻⁹ d)	9,76 · 10 ⁸ f)	162	162	162	1,944 e)
Lastulevyt											
Lastulevy 12 mm	592	0,69 · 10 ⁻⁶	5,05 · 10 ⁻¹² p)	0,57 · 10 ⁻⁴ b)	17,4 · 10 ³ g)	0,63 · 0,29 · 10 ⁻⁹ b)	1,6 · 3,4 · 10 ⁸ i)	39	39	39	0,468 e)
Lastulevy 12 mm, (kostouden kestävä) V313	723	0,20 · 10 ⁻⁶	1,46 · 10 ⁻¹² p)	0,16 · 10 ⁻⁴ b)	60,9 · 10 ³ h)	0,12 · 10 ⁻⁹ d)	8,3 · 10 ⁸ f)	137	146	133	1,644 e)
Vanerit											
Kuusi vanerilevy 9 mm	394	0,27 · 10 ⁻⁶	1,98 · 10 ⁻¹² p)	0,30 · 10 ⁻⁴ b)	33,1 · 10 ³ k)	0,22 · 10 ⁻⁹ d)	4,56 · 10 ⁸ f)	100	232	216	25
Havuvanerilevy	460...520	198 · 10 ⁻⁶ m)	0,1 · 10 ⁻⁹ p)	6,8 · 10 ⁻⁶ f)	147 · 10 ³ e)	50 · 10 ⁻¹² n)	0,8 · 18 · 10 ⁸ i)	0,13 z)	-	-	-
Combivanerilevy	620...660	198 · 10 ⁻⁶ m)	0,1 · 10 ⁻⁹ p)	6,8 · 10 ⁻⁶ f)	148 · 10 ³ e)	50 · 10 ⁻¹² n)	20 · 10 ⁸ f)	0,13...0,17 z)	-	-	-
Koivuvanerilevy	630...680	198 · 10 ⁻⁶ m)	0,1 · 10 ⁻⁹ p)	6,8 · 10 ⁻⁶ f)	149 · 10 ³ e)	53 · 10 ⁻¹² n)	18,9 · 10 ⁸ f)	0,13...0,17 z)	-	-	-
Kipsilevy											
Kipsilevy 13 mm	574	3,9 · 10 ⁻⁶	28,5 · 10 ⁻¹² p)	3,0 · 10 ⁻⁴ b)	3,32 · 10 ³	2 · 10 ⁻⁹ e)	5 · 10 ⁸ f)	6,9	6,9	6,9	0,09 e)
Kipsilevy 9 mm	720...780	2,7...8,9 · 10 ⁻⁶ m)	20...65 · 10 ⁻¹²	2,9...3,7 · 10 ⁻⁴ b)	2,7...3,5 · 10 ³ b)	2...3 · 10 ⁻⁹ d)	0,6...1,8 · 10 ⁸ i)	9,4...2,9 m)	-	-	0,08...0,03 e)
Märkätilojen levyjä											
Kuitusementtilevy 8 mm	1170	1,0 · 10 ⁻⁶	7,32 · 10 ⁻¹² p)	1,37 · 10 ⁻⁴ b)	7,3 · 10 ³	1 · 10 ⁻⁹ d)	0,997 · 10 ⁸ f)	26	26	26	0,208 e)
Kompositiikipsilevy 12,5 mm	704	3,60 · 10 ⁻⁶	26,3 · 10 ⁻¹² p)	3,83 · 10 ⁻⁴ b)	2,61 · 10 ³	2,50...2,99 · 10 ⁻⁹	3,56 · 10 ⁸	17,7	-	-	0,221 e)
Kompositiikipsilevy 15,5 mm	758	3,60 · 10 ⁻⁶	26,3 · 10 ⁻¹² p)	3,17 · 10 ⁻⁴ b)	3,15 · 10 ³	0,22...0,24 · 10 ⁻⁹	4,29 · 10 ⁸	21,4	-	-	0,332 e)

1) Vinha (2007).
 2) SFS-EN ISO 10456 (2008).
 3) RT 37/21 (2009).
 4) Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Gyproc (2010b).
 5) Hytinen (2010).
 6) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan 10 mm levyille 20 s/m, RH 80...90 %
 7) Hagentoff (2001).
 8) Kumanan (1996).
 9) UPM Metsäteollisuus ry. (2006).
 10) Kokko et al (1999).

a) tiheydelle 700 kg/m³
 b) laskettu arvosta Z_v
 c) levyn paksaus 10 mm, tiheys 400 kg/m³
 d) laskettu arvosta W_v
 e) laskettu μ:n vakioarvosta
 f) laskettu arvosta W_v
 g) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan 10 mm levyille 20 s/m, RH 80...90 %
 h) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan 10 mm levyille 25 s/m, RH 80...90 %
 i) laskettu keskiana

j) Hagentoff (2001) mukaan 5 mm levyille, tiheys 950 kg/m³ 50...13 s/m, RH 35...95 %
 k) Hagentoff (2001) mukaan 13 mm levyille, tiheys 510 kg/m³ 15...80 s/m, RH 70...95 %
 l) laskettu arvosta Z_v
 m) laskettu arvosta δ_p
 n) 12 mm pinnoittamaton vaneri 50...53 · 10⁻¹² kg/(m²·s·Pa), RH 53 %
 12 mm pinnoittamaton vaneri 460...500 · 10⁻¹² kg/(m²·s·Pa), RH 90 %
 12 mm filippiiniläinen vaneri 59...88 · 10⁻¹² kg/(m²·s·Pa), RH 53...90 %
 o) RH 25...80 %
 p) laskettu arvosta δ_v

Sisälevyjen lämpöteknisiä ominaisuuksia											
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c_p [J/(kg·K)]	Pituuden lämpölaajene- miskerroin [1/K]	Ilmanläpäisy- kerroin K_a [m ³ /(m ² ·s·Pa)]	Lämmön- johtavuus $\lambda_{design}^{+23\text{ °C}}$ [W/(m·K)]	Lämmönjohtavuus λ_{10} lämpötilassa +10 °C [W/(m·K)]					Lähde
						0 % RH	33 % RH	65 % RH	86 % RH	97 % RH W_{hygr}	
Puukuitulevyt											
Huokoinen puukuitulevy 12 mm	234	1500	-	$15 \cdot 10^{-6}$ ³⁾	-	0,049	0,050	0,051	0,053	0,055	1
Huokoinen puukuitulevy ja MDF	250	1700	-	$20 \cdot 10^{-6}$ ^{6) b)}	0,07	-	-	-	-	-	2
Puolikova puukuitulevy	400	1700	-	-	0,1	-	-	-	-	-	2
Puolikova puukuitulevy	600	1700	-	-	0,14	-	-	-	-	-	2
Puolikova puukuitulevy	800	1700	-	-	0,18	-	-	-	-	-	2
Kova puukuitulevy 4,8 mm	1140	1500	-	$0,1 \cdot 10^{-6}$ ^{8) c)}	-	-	0,110	0,120	0,130	0,140	1
OSB-levy											
Elfete OSB 3 12 mm	646	1500	-	-	0,13 ²⁾	-	0,110	0,120	0,130	0,140	1
Lastulevyt											
Lastulevy	570...800	1880	-	-	0,14...0,18 ²⁾	-	-	-	-	-	8
Lastulevy 12 mm	592	1500	-	-	0,14 ²⁾	-	0,110	0,120	0,130	0,140	1
Lastulevy 12 mm, (kosteuden kestävä) V313	723	1500	-	-	0,14...0,18 ²⁾	-	0,110	0,120	0,130	0,140	1
Vanerilevyt											
Kuusivanerilevy 9 mm	394	1500	-	-	0,09...0,13 ²⁾	0,110	0,110	0,110	0,120	0,130	1
Havuvanerilevy	460...520	1600 ²⁾	-	-	0,13 ²⁾	40 mm, 47 % RH;	0,110	0,110	40 mm, 93 % RH;	0,132	9
Combivanerilevy	620...560	1600 ²⁾	-	-	0,13...0,17 ²⁾	40 mm, 47 % RH;	0,188	40 mm, 93 % RH;	0,145	9	
Koivuvanerilevy	630...680	1600 ²⁾	-	-	0,13...0,17 ²⁾	40 mm, 47 RH %;	0,147	40 mm, 93 % RH;	0,175	9	
Kipsilevy											
Kipsilevy 13 mm	574	1100	$25 \cdot 10^{-6}$ ⁴⁾	$0,2 \cdot 10^{-6}$ ⁴⁾	0,21 ^{2) a)}	0,190	0,190	0,190	0,200	0,210	1
Kipsilevy 9 mm	720...780	870	-	-	-	0,22	-	-	-	-	8
Märkätilojen levyjä											
Kuitusementtilevy 8 mm	1170	850	-	-	-	0,230	0,230	0,230	0,230	0,230	1
Komposiittikipsilevy 12,5 mm	704	1100 ²⁾	$25 \cdot 10^{-6}$ ⁴⁾	$0,2 \cdot 10^{-6}$ ⁴⁾	0,21 ^{2) a)}	-	-	-	-	-	5
Komposiittikipsilevy 15,5 mm	758	1100 ²⁾	$25 \cdot 10^{-6}$ ⁴⁾	$0,2 \cdot 10^{-6}$ ⁴⁾	0,21 ^{2) a)}	-	-	-	-	-	5

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Vinha (2007).
- 2) SFS-EN ISO 10456 (2006).
- 3) RT 37721 (2009)
- 4) Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Gyproc (2010b).
- 5) Hyttinen (2010).
- 6) Nevander & Elmarsson (1994).
- 8) Kumaran (1996).
- 9) JPM Metsäteollisuus r.y. (2006).
- a) tiheydelle 700 kg/m³
- b) levyyn paksuus 12,5 mm, tiheys 260 kg/m³
- c) levyyn paksuus 10 mm, tiheys 400 kg/m³

Laastien ja rappausten kosteusteknisiä ominaisuuksia lämpötilassa +23 °C							
Materiaali	Tiheys ρ [kg/m ³]	Huokoi- suus [m ³ /m ³]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_v [m ² /s]	Vesihöyryn- läpäisevyys δ_p [kg/(m·s·Pa)]	Diffuusio- vastuskerroin μ [-]	Suht. diffuusio- vastuskerroin S_d [m]	Lähde
Rappauslaastit							
Sementtilaasti	1480 ^{c)}	-	0,2...1 · 10 ⁻⁶ ⁴⁾	10...2 · 10 ⁻¹²	17 ¹⁾	-	2
Kalkkisementtillaasti	1500...2000	-	1...1,5 · 10 ⁻⁶ ⁴⁾	17...6,5 · 10 ⁻¹²	19 ²⁾	-	4
Kalkkilaasti	1600 ^{d)}	-	1...2,5 · 10 ⁻⁶ ⁴⁾	20...15 · 10 ⁻¹²	7 ¹⁾	-	2
Kipsilaasti	1000...1300	-	2,3 · 10 ⁻⁶ ^{l)}	17 · 10 ⁻¹² ^{h)}	11 ¹⁾	-	2
Jalolaasti, mineraalipitoinen	1482	-	1,5 · 10 ⁻⁶ ^{l)}	11 · 10 ⁻¹² ^{h)}	17 ²⁾	-	2
Silikonihartsipintarappauslaasti	1480	-	0,35 · 10 ⁻⁶ ^{l)}	2,54 · 10 ⁻¹² ^{h)}	74 ²⁾	alk. 0,15 m	1
Keinohartsilaasti	1100	-	0,3...2,3 · 10 ⁻⁶ ^{l)}	2,73...16,67 · 10 ⁻¹² ^{g)}	1000...300 ²⁾	-	2
Muurauslaastit							
Muurauslaasti, sementti	1050...2200	0,33	-	-	-	-	3
Tasoitteet							
Pumpattava sementtipohjainen lattiatasoite	1900	-	0,5...1,25 · 10 ⁻⁶ ⁴⁾	2,2...9,1 · 10 ⁻¹² ^{l)}	85...21 ^{l)}	-	5
lattiatasoite	2000...2200	-	-	-	-	-	1

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

- 1) Alakulju (2010).
- 2) Fraunhofer Institut (2010).
- 3) Kumaran (1996).
- 4) Nevander & Elmarsson (1994).
- 5) Knauf Oy (2009).
- 6) SFS-EN ISO 10456 (2008): <70 % RH $\mu = 10$ ja >70 % RH $\mu = 6$
- 7) 25...75 % RH
- 8) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan 1900 kg/m³
- 9) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan 1700 kg/m³
- 10) laskettu arvosta μ
- 11) laskettu arvosta δ_p
- 12) laskettu arvosta δ_v

Laastien ja tasoitteiden lämpöteknisiä ominaisuuksia									
Materiaali	Tiheys P [kg/m ³]	Huokoi- suus [m ³ /m ³]	Ominaislämpö- kapasiteetti c _p [J/(kg·K)]	Pituuden lämpölaajene- miskerroin [1/K]	Ilmanläpäisevyys L [m ³ /(m·s·Pa)]	Lämmön- johtavuus λ [W/(m·K)]	Lähde		
Rappauslaastit									
Sementtilaasti	1480 ^{c)}	-	1000	-	-	0,70	2		
Kalkkisementtilaasti	1500...2000	-	850 ²⁾	7...9·10 ⁻⁶	0,005·10 ⁻⁶	0,80 ²⁾	4		
Kaakkilaasti	1600 ^{d)}	-	850	-	0,003...0,004·10 ⁻⁶ ⁴⁾	0,70	2		
Kipsilaasti	1000...1300	-	1000	-	-	0,40...0,57 ^{e)}	2		
Jalolaasti, mineraalipitoinen	1482	0,44	1000	-	-	1	2		
Siiikonihartsipintarappauslaasti	1480	-	1000	-	-	0,7	1		
Keinohartsilaasti	1100	-	850	-	-	0,7	2		
Muurauslaastit									
Muurauslaasti, sementti	1050...2200	0,33	840...980	-	-	1,72...2,37 ^{a)}	3		
Tasoiitteet									
Pumpattava sementtipohjainen lattiatasoite	1900	-	1200...1500	5...7·10 ⁻⁶	-	0,50...0,70 ^{b)}	1		
Pumpattava kipsipohjainen lattiatasoite	2000...2200	-	-	-	-	1,40...1,87	5		

Sarakkeen lopussa oleva numero kertoo kyseisen sarakkeen materiaaliarvojen lähteen. Yläindeksit ilmoittavat poikkeuksista.

1) Alakulju (2010).

2) Fraunhofer Institut (2010).

3) Kumaran (1996).

4) Nevander & Elmarsson (1994).

5) Knauf Oy (2009).

a) mitattu lämmönjohtavuus lämpötilassa +20 °C.

b) mitattu lämmönjohtavuus λ₁₀

c) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan 1900 kg/m³

d) Nevander & Elmarsson (1994) mukaan 1700 kg/m⁴

e) Fraunhofer Institut (2010) mukaan 0,26 W/(m·K)

Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden tasapainokosteuksia lämpötilassa +23 °C. (Vinha 2007.)		Sorptiokayra w [kg/m ³], RH %										Adsorptiokayra w [kg/m ³], RH %										Desorptiokayra w [kg/m ³], RH %																
Materiaali	Tiheys [kg/m ³]	0	33	55	65	75	80	83	86	93	Whygr 97	Wcap 100	0	33	55	62	6,8	75	83	93	Whygr 97	Wcap 100	0	33	55	75	83	93	Whygr 97	Wcap 100	0	33	55	75	83	93	Whygr 97	Wcap 100
Tuulensuojakipsilevy 9 mm	774	0,0	6,1	8,4	9,0	9,5	10,8	11,5	13,5	18,2	23,8	500	0,0	3,2	6,2	6,2	6,8	6,8	10,2	18,2	23,8	500	0,0	9,1	10,7	12,2	12,9	18,2	23,8	500	0,0	9,1	10,7	12,2	12,9	18,2	23,8	500
Huokoinen puukutteristelevy 25 mm	63	0,0	4,9	6,4	7,9	9,4	11,4	12,7	17,5	28,9	32,6	710	0,0	2,5	4,0	4,0	4,8	6,8	11,5	28,9	32,6	710	0,0	7,3	8,8	12,0	13,8	28,9	32,6	710	0,0	7,3	8,8	12,0	13,8	28,9	32,6	710
Huokoinen puukutteristelevy 12 mm	270	0,0	2,8	3,8	4,8	5,7	7,3	8,2	11,3	18,5	22,2	650	0,0	2,2	3,4	3,4	4,8	7,6	18,5	22,2	650	0,0	3,3	4,3	6,6	8,8	22,2	650	0,0	3,3	4,3	6,6	8,8	22,2	650			
Huokoinen puukutteristelevy 12 mm	234	0,0	10,4	16,9	19,8	22,7	29,5	33,6	39,8	54,2	62,2	148	0,0	12,4	18,5	20,5	23,3	37,4	62,2	71,3	210	0,0	12,1	20,8	27,2	39,9	62,7	71,3	210	0,0	12,1	20,8	27,2	39,9	62,7	71,3	210	
Huokoinen puukutteristelevy 25 mm	280	0,0	12,3	20,0	24,1	28,2	35,7	40,2	47,6	64,8	74,8	140	0,0	12,0	18,5	20,5	23,3	37,4	62,2	71,3	210	0,0	12,5	21,6	31,3	40,4	64,8	74,8	140	0,0	12,5	21,6	31,3	40,4	64,8	74,8	140	
Kipsilevy 13 mm	574	0,0	4,6	6,3	6,7	7,1	8,0	8,6	10,1	13,5	17,7	371	0,0	2,4	4,6	4,6	5,1	7,5	13,5	17,7	371	0,0	6,7	7,9	9,1	9,6	13,5	17,7	371	0,0	6,7	7,9	9,1	9,6	13,5	17,7	371	
Kiviviljely 30 mm, pinnoitettu tuulensuojakankaalla	92	0,0	0,19	0,21	0,25	0,28	0,33	0,36	0,38	0,44	0,56	-	0,0	0,19	0,21	0,21	0,27	0,35	0,44	0,56	-	0,0	0,20	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	-	0,0	0,20	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	-	
Kiviviljely	37	0,0	0,15	0,23	0,33	0,43	0,53	0,59	0,62	0,69	0,93	-	0,0	0,14	0,16	0,16	0,36	0,58	0,69	0,93	-	0,0	0,16	0,30	0,50	0,60	0,69	0,93	-	0,0	0,16	0,30	0,50	0,60	0,69	0,93	-	
Kova puukutteristelevy 4,8 mm	1140	0,0	69,9	88,2	125	163	195	214	236	288	328	-	0,0	58,2	71,2	142	192	288	328	328	-	0,0	81,7	105	184	235	288	328	-	0,0	81,7	105	184	235	288	328	-	
Kuitusementtilevy 8 mm	1170	0,0	17,9	29,0	36,7	44,4	82,7	106	118	146	178	-	0,0	17,0	27,6	42,1	101	146	178	178	-	0,0	18,8	30,4	46,8	111	146	178	-	0,0	18,8	30,4	46,8	111	146	178	-	
Kuitusementtilevy 12 mm	1780	0,0	27,3	44,3	56,1	67,8	126	161	180	222	271	-	0,0	25,9	42,1	64,2	154	222	271	271	-	0,0	28,7	46,5	71,4	169	222	271	-	0,0	28,7	46,5	71,4	169	222	271	-	
Kutterinlastu (irtoeriste)	130	0,0	7,8	11,8	14,5	17,1	20,7	22,8	25,5	31,8	36,3	540	0,0	6,8	10,5	14,0	21,8	31,8	31,8	31,8	36,3	540	0,0	8,8	13,2	20,2	23,7	31,8	36,3	540	0,0	8,8	13,2	20,2	23,7	31,8	36,3	540
Lasiviljely 25 mm, lasikuitu- ja tuulensuojapinnoitteella	104	0,0	0,80	0,90	0,97	1,0	1,4	1,7	2,6	4,7	5,4	-	0,0	0,36	0,48	0,66	1,7	4,7	5,4	5,4	-	0,0	1,2	1,3	1,4	1,7	4,7	5,4	-	0,0	1,2	1,3	1,4	1,7	4,7	5,4	-	
Lasiviljely 30 mm, pinnoitettu tuulensuojakankaalla	120	0,0	0,21	0,24	0,27	0,29	0,35	0,38	0,43	0,54	0,64	-	0,0	0,20	0,24	0,29	0,37	0,54	0,64	0,64	-	0,0	0,21	0,25	0,30	0,38	0,54	0,64	-	0,0	0,21	0,25	0,30	0,38	0,54	0,64	-	
Lasiviljely 30 mm, toisella puolella lasikuituhuopa	73	0,0	0,51	0,58	0,60	0,62	0,91	1,1	1,6	2,9	3,3	-	0,0	0,21	0,28	0,29	0,96	2,9	3,3	3,3	-	0,0	0,82	0,88	0,95	1,2	2,9	3,3	-	0,0	0,82	0,88	0,95	1,2	2,9	3,3	-	
Lasiviljely	22	0,0	0,45	0,54	0,66	0,78	0,98	1,1	1,3	1,9	2,4	-	0,0	0,14	0,18	0,36	0,80	1,9	2,4	2,4	-	0,0	0,77	0,90	1,2	1,4	1,9	2,4	-	0,0	0,77	0,90	1,2	1,4	1,9	2,4	-	
Lastulevy 12 mm	592	0,0	34,9	49,1	69,1	89,1	106	116	128	158	172	-	0,0	29,0	43,8	75,2	101	158	172	172	-	0,0	40,8	54,5	103	130	158	172	-	0,0	40,8	54,5	103	130	158	172	-	
Lastulevy 12 mm (kosteuden kestävä)	723	0,0	43,7	60,4	82,8	105	127	140	149	170	197	760	0,0	36,2	52,8	91,1	123	170	170	170	197	760	0,0	51,3	68,0	119	158	170	197	760	0,0	51,3	68,0	119	158	170	197	760
Manty	532	0,0	32,3	45,0	62,6	80,1	97,5	108	126	169	185	870	0,0	26,6	38,3	65,0	93,1	169	185	185	870	0,0	38,0	51,6	95,2	123	169	185	870	0,0	38,0	51,6	95,2	123	169	185	870	
OSB 3 -levy 12 mm	646	0,0	37,1	53,0	72,9	92,7	110	121	133	162	183	840	0,0	31,0	45,9	77,5	107	162	183	183	840	0,0	43,3	60,1	108	135	162	183	840	0,0	43,3	60,1	108	135	162	183	840	
Pellavaeristelevy	39	0,0	1,8	2,7	3,2	3,7	5,0	5,7	8,6	15,3	17,6	94	0,0	1,6	2,4	3,4	4,3	15,3	17,6	17,6	94	0,0	2,0	3,1	4,1	7,1	15,3	17,6	94	0,0	2,0	3,1	4,1	7,1	15,3	17,6	94	
Puukutteriste (irtoeriste, puhallettu)	37	0,0	1,9	3,1	4,0	4,8	6,1	6,8	8,6	12,9	15,2	440	0,0	2,1	3,0	4,1	6,6	12,9	15,2	15,2	440	0,0	1,7	3,1	5,5	6,9	12,9	15,2	440	0,0	1,7	3,1	5,5	6,9	12,9	15,2	440	
Puukutteriste (irtoeriste, suljottu)	60	0,0	3,1	5,0	6,4	7,8	9,8	11,0	14,0	20,9	24,6	570	0,0	3,4	4,9	6,6	10,7	20,9	24,6	24,6	570	0,0	2,8	5,0	8,9	11,2	20,9	24,6	570	0,0	2,8	5,0	8,9	11,2	20,9	24,6	570	
Sahanpuru + kutterinlastu (irtoeriste)	149	0,0	9,3	14,0	17,2	20,3	23,2	24,9	28,5	36,9	41,9	505	0,0	7,9	12,2	16,6	25,6	36,9	41,9	41,9	505	0,0	10,6	15,8	24,1	28,3	36,9	41,9	505	0,0	10,6	15,8	24,1	28,3	36,9	41,9	505	
Sahanpuru (irtoeriste)	168	0,0	10,7	16,2	19,9	23,6	28,4	31,2	34,4	42,0	47,5	720	0,0	9,0	13,9	19,3	29,5	42,0	47,5	47,5	720	0,0	12,4	18,4	27,9	32,9	42,0	47,5	720	0,0	12,4	18,4	27,9	32,9	42,0	47,5	720	
Kuusivaneri 9 mm	394	0,0	22,9	31,0	43,2	55,4	67,5	74,7	86,4	114	126	590	0,0	18,9	28,3	48,1	64,8	114	126	126	590	0,0	26,8	33,6	62,6	84,7	114	126	590	0,0	26,8	33,6	62,6	84,7	114	126	590	

Kapillaarisuus ja kosteusdiffusiviteetti lämpötilassa +23 °C						
Materiaali	Tiheys	Huokoi- suus	Kapillaari- teettikerroin A_w	Kapillaarinen tunkeutumis- kerroin B_w	Kosteusdiffu- siviteetti D_w	Lähde
	[kg/m ³]	[m ³ /m ³]	[kg/(m ² ·s ^{0,5})]	[m/s ^{0,5}]	[m ² /s]	
Betoni w/c = 0,3	-	-	0,01	$0,11 \cdot 10^{-3}$	-	3
Betoni w/c = 0,5	-	-	0,02	$0,17 \cdot 10^{-3}$	$144 \cdot 10^{-12}$	3
Betoni w/c = 0,6	-	-	-	-	$376 \cdot 10^{-12}$	3
Betoni w/c = 0,7	-	-	0,028	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$517 \cdot 10^{-12}$	3
Betoni w/c = 0,8	-	-	-	-	$741 \cdot 10^{-12}$	3
Diabaasi	3080	-	0,09	-	-	5
Gneissi	2690...3040	-	0,125	-	-	7
Graniitti	2640...3080	0,006 ^{b)}	0,394	-	-	6
Hiekka, raekoko 0,02 mm	-	-	-	$2,4 \cdot 10^{-3}$	-	3
Kalkkikivi, keskikova	2000 ⁸⁾	0,03 ^{c)}	0,05	-	-	3
Kalkkikivi, pehmeä	1800 ⁸⁾	0,03 ^{c)}	0,18	$0,18 \cdot 10^{-3}$	-	3
Kalkkilaasti	1700	-	0,25	$1,0 \cdot 10^{-3}$	-	3
Kevytbetoni	500	-	0,08	$0,41 \cdot 10^{-3}$ ²⁾	-	3
Kevytsementtibetoni	430...800	0,70	0,066...0,128	-	-	4
Kipsilevy 13 mm	574	0,77	-	-	$100 \cdot 10^{-11}$	1
Kivivilla 30 mm	37	0,97	-	-	$20\,000 \cdot 10^{-11}$	1
Kuitusementtilevy 8 mm	1170	0,3	0,026	-	-	9
Kuitusementtilevyn suojailevy 3,2 mm	1780	0,3	0,026	-	-	9
Kutterinlastu 50 mm (irtoeriste)	130	-	0,034	-	$230 \cdot 10^{-11}$	1
Kuusivaneri 10 mm	394	-	0,022 ^{a)}	-	$5 \cdot 10^{-11}$	1
Lasivilla 30 mm	22	-	-	-	$5200 \cdot 10^{-11}$	1
Lastulevy 12 mm	592	-	0,015	-	$3 \cdot 10^{-11}$	1
Lastulevy 12 mm (kosteuden kestävä)	723	-	0,082	-	$1 \cdot 10^{-11}$	1
Massiivipuulevy mäntyä 10 mm (syiden suuntaan)	532	-	0,010	-	$6 \cdot 10^{-11}$	1
OSB 3- levy 12 mm	646	-	0,011	-	$0,8 \cdot 10^{-11}$	1
Pellavaeristelevy 50 mm (imu kohtisuoraan kuituja vastaan)	39	-	0,0037	-	$510 \cdot 10^{-11}$	1
Pellavaeristelevy 50 mm (imu kuitujen suunnassa)	39	-	0,015	-	$510 \cdot 10^{-11}$	1
Puu, kohtisuoraan syitä vastaan	450	-	0,004	-	-	3
Puu, syiden suuntaan	450	-	0,016	-	-	3
Puukuitueriste 50 mm (irtoeriste, puhallettu)	37	0,97	0,074	-	-	9
Puukuitueriste 50 mm (irtoeriste, sullottu)	60	0,95	0,065	-	-	9
Puukuitueristelevy 25 mm	63	-	0,098	-	$200 \cdot 10^{-11}$	1
Puukuitueristelevy 50 mm	51	-	0,086	-	$400 \cdot 10^{-11}$	1
Puukuitulevy 12 mm	270	-	0,0040	-	$41 \cdot 10^{-11}$	1
Puukuitulevy 25 mm	280	-	0,0054	-	$48 \cdot 10^{-11}$	1
Puukuitulevy 4,8 mm (lapeellaan)	1140	-	0,030	-	$0,7 \cdot 10^{-11}$	1
Puukuitulevy 4,8 mm (syrjällään)	1140	-	0,082	-	$0,7 \cdot 10^{-11}$	1
Sahanpuru + kutterinlastu 50 mm (irtoeriste)	149	0,89	0,056	-	-	9
Sahanpuru 50 mm (irtoeriste)	168	-	0,140	-	$220 \cdot 10^{-11}$	1
Sementtilaasti (muuraus)	1050...2200	0,33	0,042...0,8	-	-	4
Sementtilaasti	1900	-	0,03	$0,51 \cdot 10^{-3}$ ²⁾	-	3
Tiili	1700	-	0,37 ³⁾	$1,41 \cdot 10^{-3}$ ²⁾	-	3
Tiili	1900	-	0,09 ³⁾	$0,71 \cdot 10^{-3}$ ²⁾	-	3
Tuulensuojakipsilevy 9 mm	774	-	0,076	-	$100 \cdot 10^{-11}$	1
Tuulensuojakivivillalevy 30 mm, pinnoitettu lasikuituhuovalla	92	-	-	-	$27\,000 \cdot 10^{-11}$	1
Tuulensuojalasi- ja lasikuitulevy 25 mm, lasikuitulevy ja tuulensuojapinnoitteella	104	-	-	-	$1200 \cdot 10^{-11}$	1
Tuulensuojalasi- ja lasikuitulevy 30 mm	73	-	-	-	$2600 \cdot 10^{-11}$	1
Tuulensuojalasi- ja lasikuitulevy 30 mm, pinnoitettu tuulensuojakankaalla	120	-	-	-	$18\,000 \cdot 10^{-11}$	1

Lähteen 1 kosteusdiffusiviteetit ovat keskiarvoja kosteusdiffusiviteeteistä 83 % RH, 93 % RH ja 97 % RH.

1) Vinha et al. (2005).

2) Hagentoft (2001).

3) Nevander & Elmarsson (1994).

4) Kumaran (1996).

5) Geological Survey of Finland (2007a).

6) Geological Survey of Finland (2007b).

7) Geological Survey of Finland (2007c).

8) SFS-EN ISO 10456 (2008).

9) Vinha (2007).

a) Kumaran (1996) mukaan 0,003

b) Graniitti 2650 kg/m³, paksuus 5 mm

c) Kalkkikivi 2650 kg/m³, paksuus 7 mm