Suomessa markkinoilla olevien kalsiumsilikaattilevyjen rakennusfysikaaliset materiaaliominaisuudet

Eero Tuominen, Maarit Vainio ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laboratorion rakennusfysiikan tutkimusryhmässä tehtiin COMBI-hankkeen yhteydessä kattavat rakennusfysikaalisten materiaaliominaisuuksien määritykset Suomen markkinoilla saatavilla olleille kalsiumsilikaattilevyille. Tutkittujen kalsiumsilikaattien tuotenimet ovat Kasil E, Promasil 1000, Epatherm, Skamotec 225 ja Kasil Pura.

Tutkimuksessa määritettiin kaikkien tuotteiden kuivatiheys uunikuivauksen jälkeen, vesihöyrynläpäisevyys märkäkuppikokeena, vedenimeytymiskerroin ja kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus vapaan veden imeytyskokeella, hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä kosteushuoneolosuhteisiin tasaannuttamalla, kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä painelevylaitteistolla sekä lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti lämpövirtalevylaitteella.

Tässä artikkelissa esitellään lyhyesti materiaaliominaisuuksien mittausmenetelmät ja niiden virhelähteet. Myös kokeiden tulokset sekä mahdolliset erot kirjallisuustulosten ja mitattujen arvojen välillä esitellään. Erot valmistajien ilmoittamissa ja mitatuissa materiaaliominaisuuksissa ovat pääasiassa niin pieniä, että valmistajan ilmoittamien materiaaliominaisuuksien perusteella on mahdollista valita oikea tuote oikeaan paikkaan.

1. Johdanto

COMBI-hankkeen yhteydessä tutkittiin Suomen rakennustuotemarkkinoilla saatavilla olevien kalsiumsilikaattilevyjen rakennusfysikaalisia materiaaliominaisuuksia. Kalsiumsilikaattilevyjen rakennusfysikaaliset materiaaliominaisuudet ovat mielenkiintoisia, koska niitä voidaan tietyin ehdoin käyttää vanhojen kellareiden sisäpuolisessa lisälämmöneristämisessä.

Tutkittujen kalsiumsilikaattien tuotenimet ovat Kasil E, Promasil 1000, Epatherm, Skamotec 225 ja Kasil Pura. Pääasiallisesti tutkimuksen teki Maarit Vainio diplomityönä [1] Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laboratorion Rakennusfysiikan tutkimusryhmän laboratoriotiloissa vuosien 2015-2016 aikana. Tässä artikkelissa esitellään lyhyesti tutkitut materiaaliominaisuudet sekä niiden mittausmenetelmät virhelähteineen. Lisäksi esitellään mittaustuloksina saadut materiaaliominaisuuksien arvot sekä valmistajien ilmoittamat arvot.

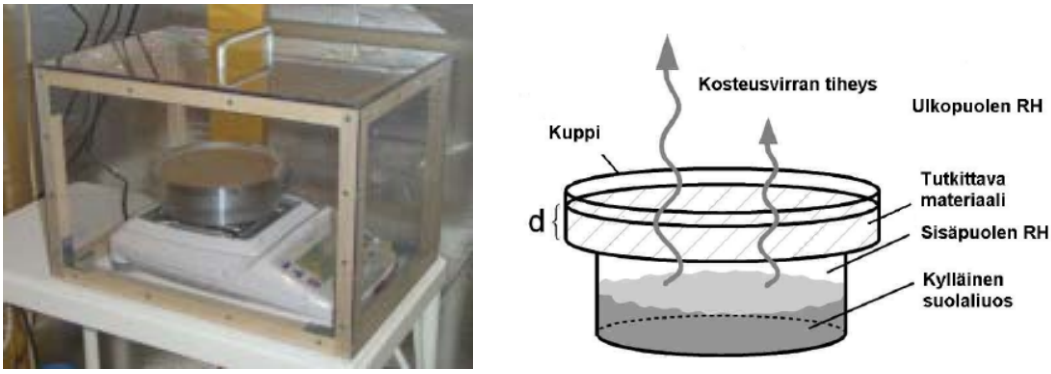
2. Materiaaliominaisuudet

Tutkittuja materiaaliominaisuuksia olivat kuivatiheys, vesihöyrynläpäisevyys, vedenimeytymiskerroin, kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus, hygroskooppinen ja kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä, lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti. Kuivatiheys määritettiin standardin mukaisen uunikuivauksen jälkeen. Seuraavissa kappaleissa esitellään lyhyesti muut materiaaliominaisuudet sekä niiden mittausmenetelmät.

2.1 Vesihöyrynläpäisevyys

Vesihöyrynläpäisevyys kuvaa materiaalin kykyä läpäistä ilmankosteutta. Suuren vesihöyrynläpäisevyyden materiaalit pyrkivät tasoittamaan materiaalikerroksen eri puolilla olevaa ilman vesihöyrypitoisuutta, kun taas matalan vesihöyrypitoisuuden materiaalit pitävät kosteuspitoisuuseroa yllä.

Materiaalin vesihöyrynläpäisevyyden mittaaminen kuppikokeella perustuu kosteuden tasaiseen virtaukseen. Kokeessa materiaali asennetaan tiiviiksi kanneksi kuppiin, jonka sisällä on vakiona pysyvä suhteellinen kosteus, joka saadaan aikaan suolaliuoksella. Kuppi viedään kosteushuoneeseen, jonka ilman suhteellinen kosteus eroaa kupin sisällä olevasta. Koe suoritetaan vakiolämpötilassa, jolloin vakiona pidettävästä suhteellisesta kosteudesta seuraa vakio vesihöyrypitoisuus. Vesihöyrypitoisuusero aiheuttaa kosteusvirran testattavan kappaleen läpi.



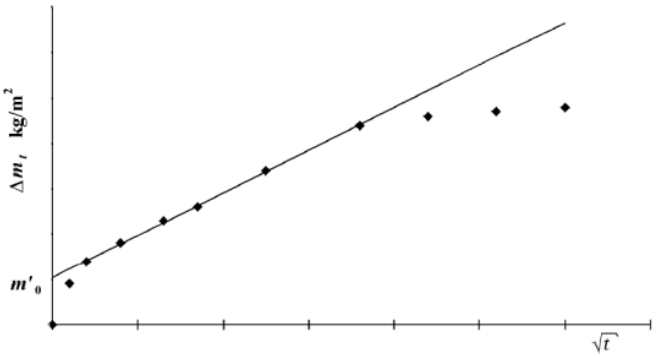
Kuva 1. Märkäkuppikokeen toimintaperiaate ja koekuppi punnituksessa. [2]

Kosteusvirran suuruus mitataan seuraamalla kupin painon muutosta. Painomuutoksen perusteella tiedetään kylläisestä suolaliuoksesta haihtuneen (tai siihen sitoutuneen) kosteuden massa. Kosteusvirran perusteella voidaan laskea materiaalin vesihöyrynläpäisevyys, kun huomioidaan koekappaleen pinta-ala sekä paksuus. Koejärjestelyn virhelähteitä ovat muun muassa lämpötilan vaihtelu ja siitä seuraava suhteellisen kosteuden vaihtelu, koekappaleiden dimensioiden mittaus ja etenkin kosteutta läpäisevän pinta-alan määritys, punnitusten tarkkuus sekä käyttäjän tekemät virheet, kuten kylläisen suolaliuoksen läikyttäminen punnitusten yhteydessä.

2.2 Vedenimeytymiskerroin ja kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus

Vedenimeytymiskerroin on yksinkertaisesti määritettävissä oleva suure, joka kuvaa materiaalin kosteudensiirtokykyä nestemäiselle vedelle. Tietokonemallinnuksessa nestemäisen veden siirtoa kuvataan usein kapillaarisella kosteusdiffusiviteetilla, jonka suuruutta voidaan arvioida vedenimeytymiskertoimen ja kapillaarisen kyllästyskosteuspitoisuuden avulla. Kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus voidaan määrittää samassa kokeessa kuin vedenimeytymiskerroin. Se kuvaa materiaalin suurinta saavutettavissa olevaa kosteuspitoisuutta ilman ulkoisten voimien, kuten hydrostaattisen paineen, vaikutusta.

Vedenimeytymiskerroin voidaan määrittää vapaan veden imeytyskokeella, jossa säännöllisen muotoisen koekappaleen alapinta asetetaan vesikosketukseen. Koekappaleen painon muutosta seurataan vesikosketuksen aikana. Painon muutos jaettuna imeytyspinta-alalla sekä suhteutettuna ajan neliöjuureen on materiaalin vedenimeytymiskerroin. Kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus katsotaan saavutetuksi, kun painon muutoksessa havaitaan taitekohta.



Kuva 2. Vapaan veden imeytyskokeen painonnousukäyrä. [3]

2.3 Hygroskooppinen ja kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä

Avohuokoisen materiaalin huokoset ovat yhteydessä ympäröivään ilmaan. Tämän yhteyden kautta materiaalin huokosten kosteuspitoisuus tasapainottuu materiaalista riippuvaan ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden mukaiseen tasapainokosteuteen. Osa kosteudesta sitoutuu huokosten pinnoille eri voimien vuoksi, joten materiaalien kosteuspitoisuus [kg/m^3] on usein moninkertainen ympäröivän ilman kosteuspitoisuuteen verrattuna. Materiaalin kosteuspitoisuus muuttuu ilman kosteuspitoisuuden muuttuessa.

Erittäin kosteissa olosuhteissa huokosten pinnoille kertynyt kosteusmäärä hiljalleen kasvaa useiden molekyylikerrosten paksuiseksi ja lopulta huokoset täyttyvät vedellä. Tästä johtuen tasapainokosteuskäyrä on jatkuva suure alkaen kuivasta tilanteesta ja päättyen vedellä kyllästyneeseen tilaan. Mittaustekniikan vuoksi tasapainokosteuskäyrä kuitenkin jaetaan hygroskooppiseen ja kapillaariseen osaan; kapillaarisella alueella suhteellisen kosteuden muutokset ovat hyvin pieniä, mutta kosteuspitoisuuden muutokset hyvin suuria ja siksi kosteuspitoisuuden tasapainottaminen tehdään eri tekniikalla kapillaariselle ja hygroskooppiselle alueelle.

Tasapainokosteuskäyrä esitetään erikseen adsorptiolle ja desorptiolle. Desorptiokäyrällä materiaalin tasapainokosteuspitoisuus on adsorptiokäyrän yläpuolella. Tämä johtuu niin sanotusta mustepulloefektistä; pienten huokosten ympäröimät suuremmat huokoset eivät täyty pienten huokosten tahdissa kosteuspitoisuuden noustessa, mutta täytyttyään ne eivät pääse kosteuspitoisuuden laskiessa tyhjenemään, koska pienemmät huokoset estävät kosteuden poistumisen.

2.3.1 Hygroskooppisen tasapainokosteuskäyrän määrittäminen

Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä määritetään tasapainottamalla koekappaleet vakiona pidettäviin ympäröiviin olosuhteisiin. Materiaalista ja koekappaleen koosta riippuen tasapainottaminen voi viedä muutamasta tunnista useisiin kuukausiin. Tasapainottaminen tehdään useisiin eri ympäröiviin olosuhteisiin, jotta tasapainokosteuskäyrältä tulee mitatuksi mahdollisimman monta tunnettua pistettä.

Adsorptiokäyrän määrittäminen aloitetaan uunikuivilla koekappaleilla. Desorptiokäyrän määrittäminen aloitetaan vastaavasti joko vakuumikyllästetystä tai hyvin kosteisiin olosuhteisiin tasapainotetusta tilasta. Kosteuspitoisuus saadaan vertaamalla koekappaleen tasapainotettua painoa kappaleen uunikuivaan painoon.

2.3.2 Kapillaarisen tasapainokosteuskäyrän määrittäminen

Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä määritetään painelevylaitteella. Koekappaleet kyllästetään ensin vedellä vakumointilaitteiston avulla. Kun kappaleiden koko huokosverkosto on saatu täytettyä vedellä, ne asetetaan painelevylaitteeseen. Painelevylaitteessa koekappaleiden ympärille tuotetaan ylipaine. Ylipaine tunkeutuu koekappaleen huokosiin, jotka on yhdistetty huokoiseen painelevyyn. Koekappaleeseen sitoutunut kosteus pääsee poistumaan painekammiosta painelevyn huokosverkoston kautta. Kosteuden poistumista vastustaa kapillaariset voimat, joiden suuruus on usein riippuvainen enimmäkseen huokoskoosta. Tästä seurauksena määrätyllä painetasolla kosteus saadaan poistumaan vain määrätyn kokoisista huokosista.

Kapillaaristen voimien suuruus ja huokoskoko voidaan laskennallisesti yhdistää vastaamaan ilman vesihöyrypitoisuutta, joten painelevylaitteen koetulos voidaan yhdistää hygroskooppiseen tasapainokosteuskäyrään. Painelevylaitteistossa 100 bar aine vastaa noin 93 % RH suhteellista kosteutta ja tätä pienemmät paineet tätä kosteampia olosuhteita. Painelevylaitteistolla saadaan määritettyä ainoastaan tasapainokosteuden desorptiokäyrä.

2.4 Lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti

Lämmönjohtavuus kuvaa, miten hyvin jokin aine johtaa lämpöä. Mitä suurempi lämmönjohtavuus materiaalilla on, sitä heikommin se toimii lämmöneristeenä. Ominaislämpökapasiteetti sen sijaan kuvaa materiaalin kykyä sitoa lämpöenergiaa. Edellä mainitut suureet voidaan mitata lämpövirtalevylaitteella, jossa materiaalikerroksen yli tuotetaan lämpötilaero ja näin synnytetyn lämpövirran suuruus mitataan.

Lämmönjohtavuus on laskettavissa suoraan lämpövirran suuruudesta, lämpötilaerosta ja koekappaleen paksuudesta. Lämpövirta määritetään lämpövirtalevyllä, jossa ohuen muovinauhan ympärille on kiedottu termoelementtiketju. Termoelementtiketjussa eri metalleista kiedottu johdin tuottaa jännitteen, joka on riippuvainen lämpötilaerosta johtimen päiden välillä. Ohut muovinauha puolestaan toimii lämmönjohtimena, jonka pintojen välille muodostuu pieni lämpötilaero. Lämpövirtalevyn pintojen välinen lämpötilaero voidaan kalibrointien avulla muuntaa levyn läpi kulkevan lämpövirran arvoksi.

Ominaislämpökapasiteetti määritetään tasapainottamalla ensin koekappale tiettyyn lämpötilaan. Tämän jälkeen koekappaleen pintojen lämpötilaa muutetaan ja nyt syntyvä lämpövirta koekappaleen eri pinnoilla mitataan. Eri hetkillä mitattujen lämpövirtojen suuruuden ja vaikutusajan tulo on yhtä kuin koekappaleeseen sitoutunut energiamäärä. Kun lämpövirtoja seurataan koekappaleen lämpötilan tasoittumiseen asti, voidaan energiamäärän ja lämpötilan muutoksen sekä koekappaleen koon ja painon perusteella laskea koemateriaalin ominaislämpökapasiteetti.

3. Tulokset

Mittaustulokset on esitetty taulukossa 1 ja kuvissa 3 ja 4. Osalle materiaaleista on lisäksi saatavissa valmistajan ilmoittamat materiaaliominaisuuksien arvot, jotka on esitetty taulukossa 2. Mittaustulokset noudattivat pääasiassa valmistajan ilmoittamia arvoja, jotka ovat yhteneviä muualla kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin. Erot valmistajien ilmoittamissa ja mitatuissa materiaaliominaisuuksissa ovat pääasiassa niin pieniä, että valmistajan ilmoittamien materiaaliominaisuuksien perusteella on mahdollista valita oikea tuote oikeaan paikkaan.

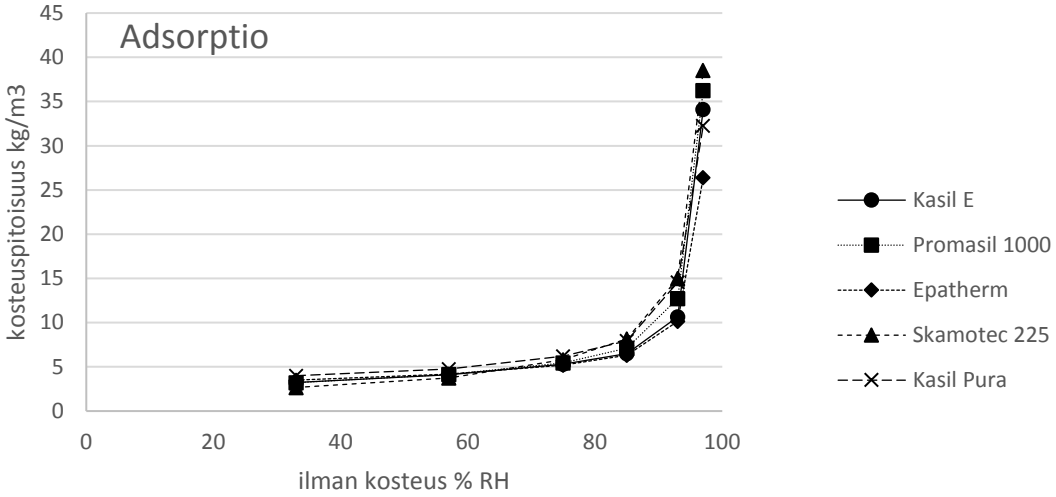
Taulukko 1. Mittaustulokset.

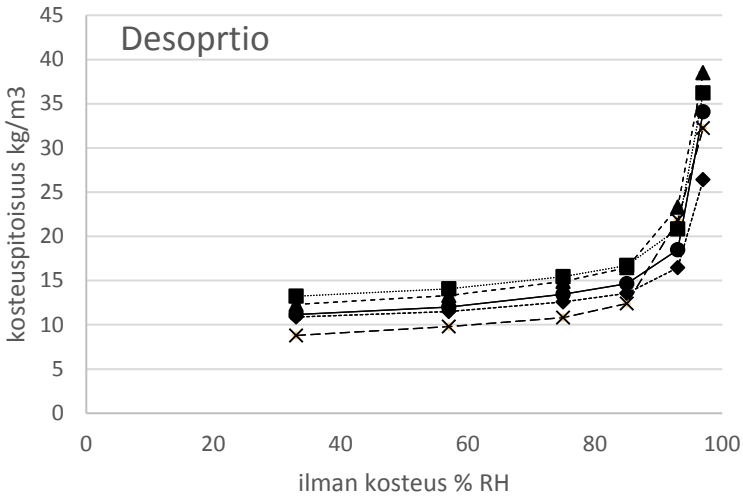
Materiaali	**h [mm]**	**ρ_{dry} [kg/m3]**	**δ_v *10^{-6} [m^2/s]**	**A_w [kg/m^{2}s^{0,5}]**	**w_{cap} [kg(m^3]**	**λ [W/mK]**	**c_p [J/kgK]**
Kasil E	25	253	8,14	1,182	832	0,076	860
Promasil 1000	25	232	7,98	1,199	839	0,071	790
Epatherm	30	236	9,32	1,288	837	0,070	830
Skamotec 225	50	227	10,8	0,643	700	0,072	820
Kasil Pura	50	133	11,7	0,137	347	0,053	910

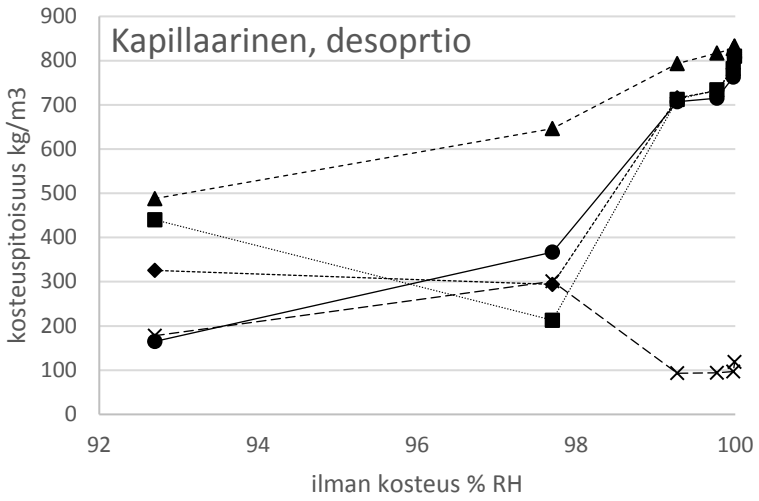
Taulukko 2. Valmistajien ilmoittamat ominaisuudet.

Materiaali	**h [mm]**	**ρ_{dry} [kg/m3]**	**δ_v *10^{-6} [m^2/s]**	**A_w [kg/m^{2}s^{0,5}]**	**w_{cap} [kg(m^3]**	**λ [W/mK]**	**c_p [J/kgK]**
Kasil E	25	300	5,81(1	1,292	830	0,0626	-
Promasil 1000	25	245	-	-	-	0,070	-
Epatherm	30	230	8,93(1	-	-	0,060	-
Skamotec 225	50	225	3,42(1	-	-	0,061	-
Kasil Pura	50	130	8,93(1	0,417	-	0,040	-

(1 Laskettu diffuusiovastuskertoimesta.







Kuva 3. Mitatut tasapainokosteuskäyrät. Kapillaarisen alueen desorptiokäyrällä 92,7 ja 97,7 % RH lukemat ovat epäluotettavia mittausvalmisteluissa mahdollisesti tapahtuneiden virheiden vuoksi.

Tutkimuksiin saatiin varsin kattava valikoima Suomen markkinoilla saatavilla olevia kalsiumsilikaattilevyjä. Materiaaliominaisuuksien puolesta eri tuotteiden välillä on kuitenkin niin suuria eroja, että COMBI-hankkeessa tehdyt mallinnukset kellarin seinien sisäpuolisesta lisälämmöneristyksestä [4] eivät ole kosteusteknisesti turvallisia kaikilla tuotteilla. Rakennustuotteiden valinnan tuleekin perustua tuotteiden materiaaliominaisuuksiin eikä materiaaliryhmän yleisiin ominaisuuksiin.

Erillisenä mainintana nostettakoon tässä kohtaa esiin myös, että Kasil Pura ei ole kalsiumsilikaattilevy, vaan kyse oli kalsiumsilikaattieristeille vaihtoehtoisena ja edullisempana tuotteena markkinoidusta valkokalkkihydraattilevystä. Materiaaliominaisuuksiensa perusteella myös tälle tuotteelle on omat soveltuvat käyttökohteensa.

4. Yhteenveto

Tutkimuksessa määritettiin Suomessa markkinoilla olevien kalsiumsilikaattilevyjen rakennusfysikaaliset materiaaliominaisuudet. Määritetyt materiaaliominaisuudet noudattivat pääpiirteittäin valmistajien ilmoittamia ja kirjallisuudessa esitettyjä arvoja. Eri tuotteiden väliltä löytyi kosteusteknisten ominaisuuksien osalta merkittäviä eroja, jotka tulee ottaa huomioon, jos tuotteita käytetään haastavissa kohteissa.

Lähdeluettelo

[1] Vainio M. 2016. Kalsiumsilikaattilevyjen ja ontelolaattojen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet. Tampereen teknillinen yliopisto, diplomityö
[2] Manelius E. 2013. Rakennusmateriaalien vesihöyrynläpäisevyyskokeiden kehittäminen. Tampereen teknillinen yliopisto, diplomityö
[3] SFS-EN ISO 15148. 2003. Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of water absorption coefficient by partial immersion. Brussels, European Committee for Standardization, 38 s.
[4] Heiskanen R. 2016. Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lisälämmöneristäminen. Tampereen teknillinen yliopisto, diplomityö