

# Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet - betonin homeenkesto

Hannu Viitanen

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6558-4 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2004

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 5, PL 1806, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7027

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 5, PB 1806, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7027

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 5, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7027

Toimitus Marja Kettunen

Tekijä(t) Viitanen, Hannu		
Nimeke <b>Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet - betonin homeenkesto</b>		
Tiivistelmä Rakennusten kosteus- ja homeongelmat sekä vauriot johtuvat materiaalien ja rakenteiden sietokyvyn ylittävästä kosteusrasituksesta. Betonin rakennusaikainen kosteus on usein korkea ja kuivauksen tehokkuus ja nopeus on eräs perusedellytys kosteus- ja homeongelmien välttämiseksi. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää betonin (K 30 ja NP 30) ja siihen liittyvien materiaalien (puupuru, valupaperi, askelääneneristeen, kuitulevy, kivivilla- ja EPS-eriste) homehtumisherkyys sekä mikrobien ja homeen kasvuun vaikuttavat kriittiset kosteusolot ja vaikutusajat. Tutkimus rajautuu materiaaleihin sellaisenaan (vapaat pinnat) sekä sellaisiin yhdistelmiin, jossa muut materiaalit ovat betonikerrosten välissä (tiivit pinnat).  Ilmaan rajoittuvissa pinnoissa homekasvun rajakosteus on puhtaan betonin osalta yli RH 88–90 % ja orgaanista puupurua tai pölyä sisältävän materiaalin osalta yli RH 78–80 %. Tällöin pintaan kertynyt orgaaninen aines muodostaa homeen kasvun kannalta kriittisen rajapinnan. Betonin pinnan vanheneminen, pintakäsittely sekä pintaan ajan mittaan kertyvä aines vaikuttavat pinnan mikrobikasvuun. Tiiviitä materiaali-kerroksia omaavan betonirakenteen (esim. lattia) mikrobikasvuun tarvittavat kriittiset kosteusolot ovat korkeammat kuin vapailla pinnoilla. Tiiviissä betonirakenteessa mikrobikasvulle herkin kohta on orgaanista materiaalia sisältävä ainekerros, jossa kriittinen huokosilman kosteustaso on yli 80–90 %. Tiiviissä kerroksessa mikrobikasvun raja-arvo on uuden puhtaan betonin osalta yli 97–98 %. Samoin puhtaiden EPS- ja mineraalivillaeristeiden homehtuminen on mahdollista, kun kosteus on pitkään yli 97–98 %. Altistusajan tulee olla hyvin pitkä (useita kuukausia). Haihtuvia orgaanisia aineita (VOC) ei hankkeessa ole tarkasteltu. Tulokset rajoittuvat uuteen materiaaliin eikä niitä voida sellaisenaan arvioida kosteusvaurioihin liitettynä.		
Avainsanat mold, microbes, moisture, humidity, concrete, construction materials		
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 5, PL 1806, 02044 VTT		
ISBN 951-38-6558-4 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Projektinumero R2SU00320
Julkaisuaika Kesäkuu 2004	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 25 s.
Projektin nimi	Toimeksiantaja(t)	
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )	Julkaisija VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Published by



Series title, number and  
report code of publication

VTT Working Papers 6  
VTT-WORK-6

Author(s) Viitanen, Hannu		
Title <b>Critical conditions for the mould growth in concrete and in other materials contacted with concrete - durability of concrete against mould growth</b>		
Abstract <p>Humidity and mould problems and the associated damage to buildings are caused by humidity loads that exceed the endurance of the materials and structures. The humidity of concrete at time of construction is often high, and the efficiency and speed of drying is one of the fundamental prerequisites for avoiding humidity and mould problems. The purpose of this study was to find out the mould susceptibility of concrete (K 30 and NP 30) and associated materials (sawdust, casting paper, impact sound insulation, fibreboard, mineral wool and EPS insulation), as well as the critical humidity conditions and periods of time that affect the growth of microbes and mould. The study is limited to the materials as such (open surfaces) and to combinations where other materials are located between layers of concrete (dense layers). The study is intended to determine the allowed limits for maximum humidity content in concrete structures in more detail with regard to microbe growth.</p> <p>The humidity limit for mould growth on surfaces in direct contact with air is more than RH 88 to 90% for concrete and more than RH 78 to 80% for materials including organic sawdust or other organic dust. In this case, the organic material accumulated on the surface forms a boundary surface that is critical for mould growth. Ageing of the concrete surface, surface treatment and material accumulating on the surface over time affect microbe growth. The critical humidity conditions for a concrete structure with dense layers of material (such as a floor) are higher than those for free surfaces. The most sensitive point for microbe growth in a dense concrete structure is a material layer containing organic material, where the critical humidity level for air in the pores exceeds 80 to 90%. For new clean concrete, the limit for microbe growth in a dense layer exceeds 97 to 98%. Clean EPS and mineral wool insulation can also become moulded during long-term exposure to humidity exceeding 97 to 98%. The exposure time must be very long (several months). The project did not study volatile organic compounds. The results are limited to new materials and cannot be assessed in connection with humidity damage as such.</p>		
Keywords mold, microbes, moisture, humidity, concrete, construction materials		
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 5, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland		
ISBN 951-38-6558-4 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Project number
Date June 2004	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 25 p.
Name of project	Commissioned by	
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )	Publisher VTT Information Service P.O. Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

## Alkusanat

Betonin ja siihen liittyvän eristeen homehtumisen kriittiset olosuhteet -projekti on osa Tekesin Terve talo -teknologiaohjelmaan kuuluvaa Olosuhterakentaminen tuotekehityshanketta. Olosuhterakentaminen hanke on toteutettu Humittest Oy:n, Lohja Rudus Oy:n ja Optiroc Oy:n yhteistyönä. Hanke koostuu neljästä osaprojektista; ”Rakennustyömaan olosuhdehallina”, ”Kerrostalon muuraus- ja rappaustöiden talviedellytysten kehittäminen”, ”Betonin ja siihen liittyvän eristeen homehtumisen kriittiset olosuhteet” sekä ”Työmaan lämpötilan ja kosteuden tarkkailu”.

Olosuhterakentaminen hankkeen johtoryhmään ovat kuuluneet:

Kehitysjohtaja Kari Varkki	Rakennusosakeyhtiö Hartela, johtoryhmän puheenjohtaja
Kehitysjohtaja Pentti Lumme	Lohja Rudus Oy
Prosessinomistaja Markku Laine	Optiroc Oy
Tuoteryhmäpäällikkö Seppo Petrow	RTT Betoniteollisuusjaosto
Tuotantojohtaja Ano Korhonen	Oy Alfred A. Palmberg Ab
Laatupäällikkö Jari Valo	NCC Finland Oy
Työpäällikkö Jari Iso-Anttila	Skanska Kodit Oy
Laatupäällikkö Harri Martin	SRV Teräsbetoni Oy
Toimitusjohtaja Tarja Merikallio	Humittest Oy, johtoryhmän sihteeri

Betonin ja siihen liittyvän eristeen homehtumisen kriittiset olosuhteet -projektin projektipäällikkönä toimi FT Hannu Viitanen. Lisäksi hankkeeseen osallistuivat FT Anne-Christine Ritschkoff sekä tutkimusavustajat Pentti Ek, Liisa Seppänen ja Kaarina Kainulainen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta.

VTT kiittää tutkimuksen rahoittajia ja johtoryhmän jäseniä rakentavasta yhteistyöstä.

# Sisällysluettelo

Alkusanat.....	6
1. Johdanto .....	9
2. Tutkimuksen sisältö ja suoritus.....	10
3. Tutkimuksen tulokset.....	14
3.1 Yksittäiset rakennusmateriaalit .....	14
3.2 Materiaaliyhdistelmät .....	17
3.2.1 Vakio-olosuhteet .....	17
3.2.2 Aleneva kosteusolosuhde .....	22
4. Päätelmät.....	24
Lähdeluettelo .....	25





# 1. Johdanto

Rakennusten kosteus- ja homeongelmat sekä vauriot johtuvat materiaalien ja rakenteiden sietokyvyn ylittävästä kosteusrasituksesta /1/. Betonin rakennusaikainen kosteus on usein korkea ja kuivauksen tehokkuus ja nopeus on perusedellytys kosteus- ja homeongelmien välttämiseksi /2/. Betonin käytön ja rakentamisen kannalta on tärkeää selvittää betonin ja siihen liittyvien rakenteiden homehtumisalttius sekä sen riippuvuus kosteudesta että vaikutusajasta rakennusten valmistusvaiheessa. Tärkeää on myös selvittää, mikä on optimoitu tavoitekosteus home- ja mikrobiongelmiin välttämiseksi.

Hankkeen tarkoituksena on selvittää betonin ja siihen liittyvien materiaalien (puupuru, valupaperi, askelääneneristeen, kuitulevy, kivivilla- ja EPS-eristeen) homehtumisherkkyys sekä mikrobi- ja homeen kasvuun vaikuttavat materiaalien kriittiset kosteusolot huoneen lämpötilassa ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Tutkimus rajautuu materiaaleihin sellaisenaan sekä sellaisiin yhdistelmiin, jossa muut materiaalit ovat betonikerrosten välissä. Materiaalien vapaan pinnan osalta tutkimuksia on jokin verran /3, 4/, mutta materiaalien yhdistelmien osalta tieto on selvästi puutteellista.

Betonin ja siihen liittyvän eristeen homehtumisen kriittiset olosuhteet -projekti toteutettiin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa laboratoriotutkimuksena, jossa koeolosuhteet voitiin säätää halutuiksi. Lisäksi määritettiin kosteus seuranta kohteista ja kosteuskokeista tulleita materiaalinäytteitä. Tarkoituksena oli selvittää betonin ja siihen liittyvien materiaalien (puupuru, valupaperi, askelääneneriste, kuitulevy, kivivilla- ja EPS-eriste) homehtumisherkkyys sekä mikrobi- ja homeen kasvuun vaikuttavat materiaalien kriittiset kosteusolot huoneen lämpötilassa ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Tutkimus rajautuu materiaaleihin sellaisenaan sekä sellaisiin yhdistelmiin, jossa muut materiaalit ovat betonikerrosten välissä. Osahankkeen tarkoituksena on osaltaan tarkentaa betonirakenteille sallittavia enimmäiskosteuspitoisuuden raja-arvoja mikrobikasvun kannalta.

## 2. Tutkimuksen sisältö ja suoritus

Kammiokokeet tehtiin laboratoriossa kontrolloiduissa kosteus- ja lämpöoloissa (kuva 1). Kammiokokeisiin sisältyivät sekä erilliset, joka puoleltaan ilmaan ja pölyyn kosketuksessa olevat materiaalinäytteet (osa 1) että materiaaliyhdistelmät (osa 2) jossa materiaalit ovat tiiviisti kiinni toisissaan (kuva 2). Viimeksi mainittu simuloi tilannetta lattian eri kerroksissa. Materiaaliyhdistelmien reunoja ei suljettu. Koekappaleiden lähtökosteus oli 95–97 % (simuloi uutta betonilattiaa) ja koekappaleet asennettiin kammioihin, joiden kosteus vaihtelee välillä RH 100–80 %. Kosteus- ja homealtistus käynnistyi toukokuun puolivälissä 2002 ja päättyi toukokuun puolivälissä 2003 /5/.

Tutkittavat materiaalit olivat

- kivivilla (askelääneneriste 50/00, 30 mm), yksittäisenä materiaalina ja yhdistelminä
- lasivilla (askelääneneriste, Isover, Flo-30), yksittäisenä materiaalina
- kova askelääneneriste (polystyreeni, termistol step, 30 mm), yksittäisenä materiaalina ja yhdistelmissä
- betonin valupaperi, yksittäisenä materiaalina ja yhdistelmissä
- suodatin kangas, yksittäisenä materiaalina ja yhdistelmissä
- puupuru, yksittäisenä materiaalina ja yhdistelmissä
- betoni: K 30 ja K 30 NP erikoisbetoni (massat toimitti Lohja Rudus ja näytteiden valu tehtiin VTT:ssä)
- kuitulevy (askelääneneristys), yksittäisenä materiaalina ja yhdistelmissä.

Materiaalit ja niiden yhdistelmät on esitetty taulukossa 1. Koetta varten tehtiin pienet koekappaleet (paksuus ei vastaa käytäntöä), nopeamman testauksen mahdollistamiseksi. Sarjassa 1 näytteiden koko on 50 x 50 mm ja sarjassa 2 koko on 100 x 100 mm. Betoni-näytteiden paksuus on 10 mm ja eristenäytteiden 15 mm. Sarjassa 2 kerrosten väliin tulevan valupaperin koko on 90 x 90 mm.

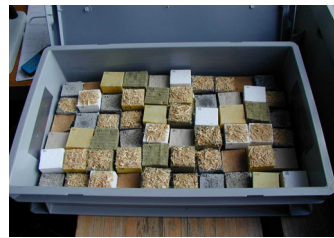
Materiaalinäytteistä seurattiin kosteutta punnitusmenetelmällä sekä mahdollista home- ja mikrobikasvua homeindeksin avulla. Alenevassa kosteusrasituksessa kappaleet siirrettiin ajan suhteen asteittain kuivempiin olosuhteisiin (kuva 3). Tarkastus tehtiin useaan kertaan kosteusolot huomioon ottaen.

Näytteiden homekasvu mitattiin VTT:n homeindeksin mukaan ja ns. suoran viljelytekniikan avulla. Homeindeksi on seuraava: 0 = ei kasvua, 1= alkava mikroskooppinen kasvu, 2 = kohtalaisesti mikroskooppista kasvua, 3 = alkava silmin näkyvä kasvu, 4 = kohtalaisesti silmin näkyvä kasvu, 5= runsas kasvu, 6 = erittäin runsas kasvu.

Kammioiden kosteusoloja seurattiin epäsuorasti männyn pintapuun kosteusnäytteiden avulla (kuva 4). Kokeen jälkeen koekappaleiden kuivapaino määritettiin kuivaamalla 60 C:ssa 2 vrk:n ajan.



Homealtistuskammiot, joissa mahdollisimman vakioiset olosuhteet.

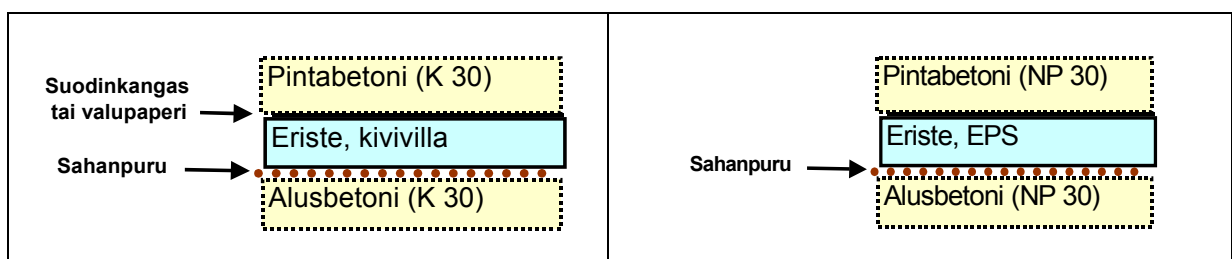


Osa 1

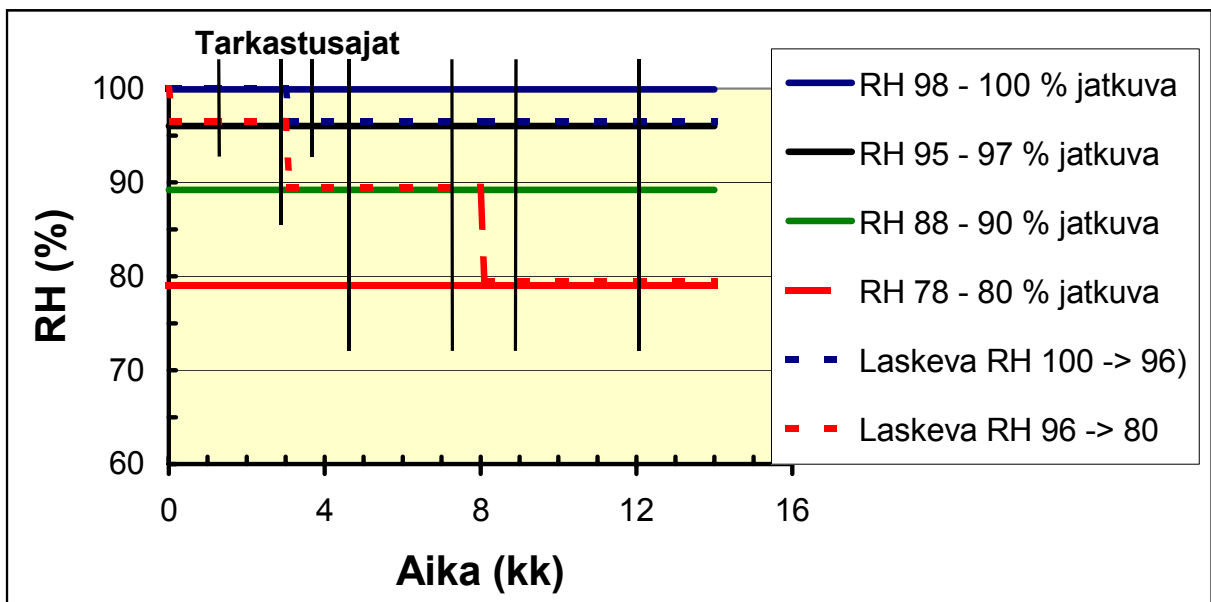


Osa 2

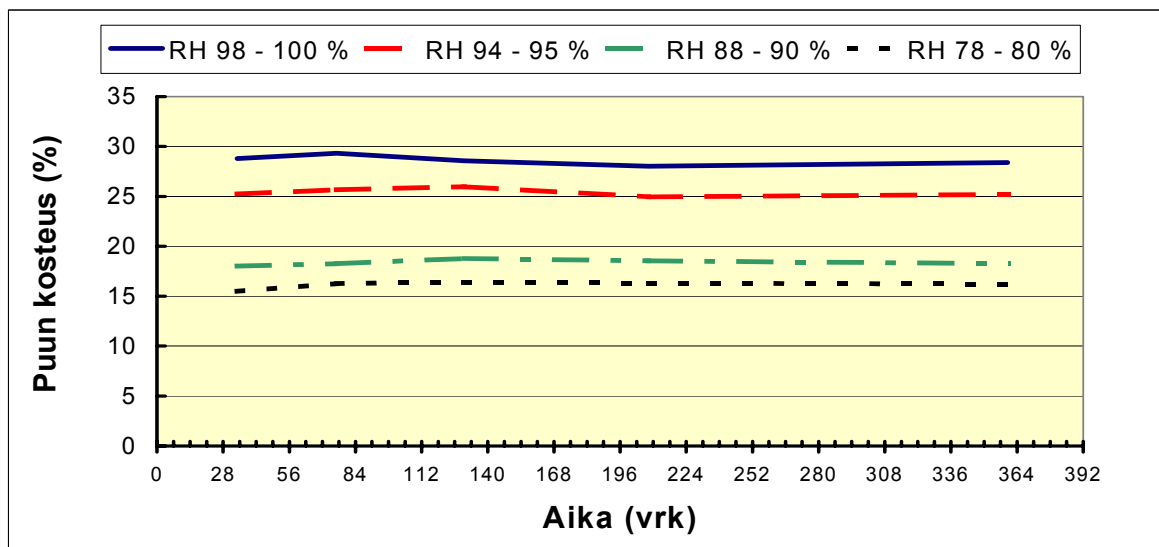
Kuva 1. Kosteus- ja homealtistuskammiot sekä koekappaleiden sijoitus kammioihin.



Kuva 2. Esimerkkejä materiaalien yhdistelmäkokeen koekappaleista (osa 2). Osassa 1 vastaavat materiaalit ovat sellaisenaan, suorassa kosketuksessa ilmaan kaikilta pinnoiltaan (kuva 1).



Kuva 3. Tutkimuksen testausolosuhteet sekä toteutuneet tarkastus- ja mittausajat.



Kuva 4. Männyyn pintapuun kosteus eri kosteusoloissa kokeen aikana.

Taulukko 1. Tutkittavat materiaalit, altistusolosuhteet sekä koekappaleiden määrä ja koko.

**Osa 1, materiaalit yksinään, rinnakkaisia 5 kpl, koko 10 x 50 x 50 mm (eristeet 15 x 50 x 50 mm)**

RH	Vakio-olot, 20 C				Yhteensä	
	98 - 100	95 - 97	88 - 90	78 - 80	Kpl	Betonilaattoja
Betoni K 30	5	5	5	5	20	20
Bet. K30 + Sahanpuru	5	5	5	5	20	20
Betoni NP	5	5	5	5	20	20
Bet. NP + Sahanpuru	5	5	5	5	20	20
Valupaperi	5	5	5	5	20	
Kuitulevy	5	5	5	5	20	
EPS	5	5	5	5	20	
EPS + Sahanpuru	5	5	5	5	20	
Lasivilla	5	5	5	5	20	
Lasivilla + Sahanpuru	5	5	5	5	20	
Kivivilla	5	5	5	5	20	
Kivilla + Sahanpuru	5	5	5	5	20	
Yhteensä	60	60	60	60	240	80

**Osa 2, yhdistelmät, rinnakkaisia 5 kpl, koko 10 x 100 x 100 mm (eristeet 15 x 100 x 100 mm)**

RH	Vakio-olot, 20 C				Laskeva RH				Yhteensä	
	100	95	90	80	95 -> 80		100 -> 95		Kpl	Betonilaattoja
K30+VP+KV+SP+K30	5	5	5	5	5	5	5	5	40	80
K30+SK+KV+SP+K30	5	5	5	5					20	40
K30+SK+KV+K30	5	5	5	5	5	5	5	5	40	80
K30+EPS+SP+K30	5	5	5	5	5	5	5	5	40	80
K30+EPS+K30	5	5	5	5	5	5	5	5	40	80
NP+EPS+NP	5	5	5	5					20	40
NP+EPS+SP+NP	5	5	5	5					20	40
Yhteensä	35	35	35	35	20	20	20	20	220	440

K30 on Betoni K30  
NP on betoni NP

VP on valupaperi  
SK on suodatinkangas

KV on kivivilla  
EPS on polystyreeni  
SP on sahanpuru

## 3. Tutkimuksen tulokset

### 3.1 Yksittäiset rakennusmateriaalit

Rakennusmateriaaleissa, joiden pinnat olivat vapaasti kosketuksessa ympäröivään ilmaan, mikrobikasvuston kehittyminen oli runsaampaa ja nopeampaa kuin tiiviissä kerroksissa olevissa materiaaleissa. Homeen kasvu oli selvästi hitaampaa ja lievempää RH 88–90 % kosteusoloissa kuin korkeammissa kosteusoloissa ja kasvua havaittiin vain orgaanista materiaalia sisältävissä materiaaleissa. Home- tai mikrobikasvua ei havaittu 12 kk:n altistuksen jälkeen missään rakennusmateriaalinäytteessä. RH 78–80 % kosteusoloissa.

Yksittäisissä materiaalinäytteissä havaittujen mikrobikasvustojen kehittyminen on esitetty kuvissa 5–7. Orgaanista materiaalia sisältävissä yksittäisissä rakennusmateriaalinäytteissä mikrobikasvuston kehittyminen oli runsasta ja nopeata korkeissa kosteusoloissa (RH 100 % ja 95 % oloissa). Puhtaissa betoni- ja eristenäytteissä homekasvuston kehittyminen oli selvästi vähäisempää ja hitaampaa. Niissä ei havaittu homekasvustoa 15 viikon (n. 4 kk:n) altistuksen jälkeen, mutta K30 betonissa mikrobiokasvua havaittiin 19viikon (n.5 kk:n) altistuksen jälkeen ja kasvu kehittyi sen jälkeen jonkin verran. NP 30 betonissa havaittiin 28 viikon (n. 7 kk:n) jälkeen hieman alkavaa homekasvua.

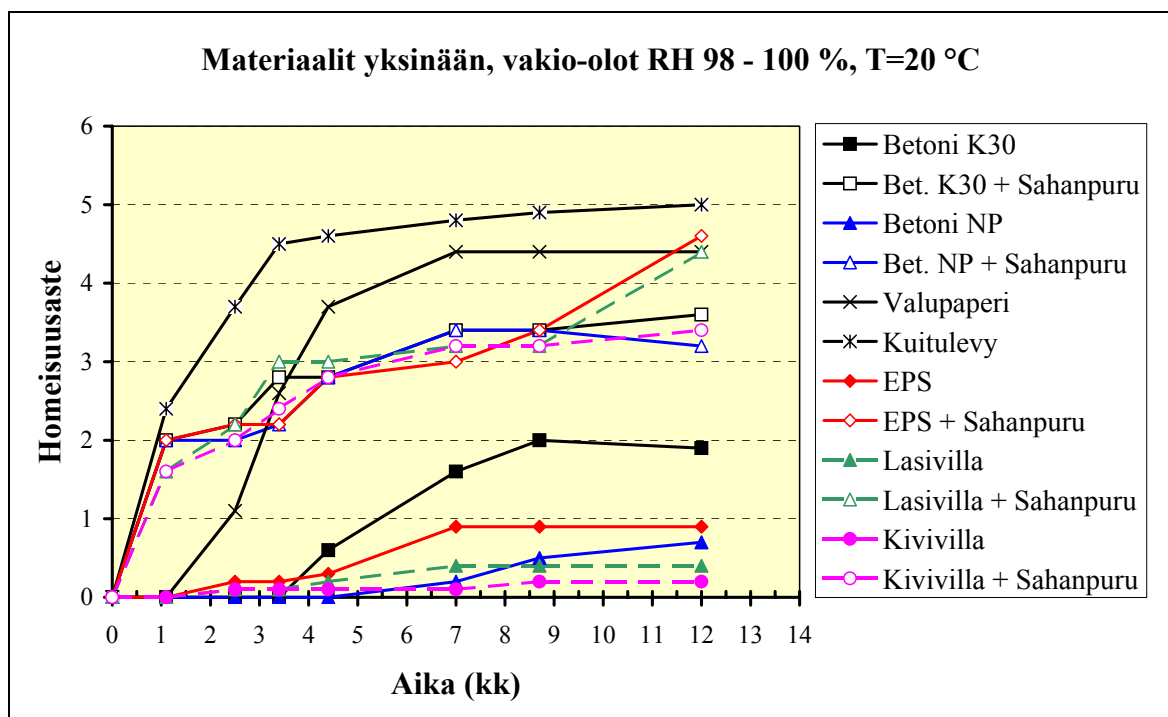
Kuitulevyssä homekasvu on ollut nopeampi ja runsaampi kuin puupuraa sisältävissä betoni- ja eristenäytteissä. Valupaperissa homekasvu on ollut alussa lievempää ja hitaampaa kuin kuitulevyssä, mutta valupaperin homeisuusaste on saavuttanut kuitulevyn tason altistuksen aikana. Puhtaissa eristenäytteissä on havaittu jonkin verran lievää kasvua 12 viikon altistuksen jälkeen RH 100 % ja RH 95 % oloissa. Koviin eristemateriaalien pinnalla havaittiin jonkin verran kasvua n. 5 kk:n ja 7 kk:n altistuksen jälkeen. Puhtaissa mineraalivillaeristeissä kasvun määrä oli pienempi. Syynä voi olla se, että koviin materiaalien pintaan pääsee kerääntymään pölyä ja muuta orgaanista materiaalia, joka edistää mikrobikasvua materiaalin pinnassa.

Koekappaleiden kosteus vaihteli hyvin vähän kokeen aikana. Materiaalien keskimääräiset kosteudet kokeen jälkeen on esitetty taulukossa 2. Kosteusmääritysten mukaan materiaalit olivat koko kokeen ajan hyvin märät RH 98–100 % altistuksessa. Erityisesti valupaperi kostui runsaasti. Näytteeksi valittu lasivillamateriaali imi selvästi enemmän kosteutta etenkin korkeassa kosteusrasituksessa kuin vastaavasti kokeessa ollut kivivilla. Betonimateriaalien osalta K 30 kosteus oli keskimäärin jonkin verran korkeampi kuin NP betonin.

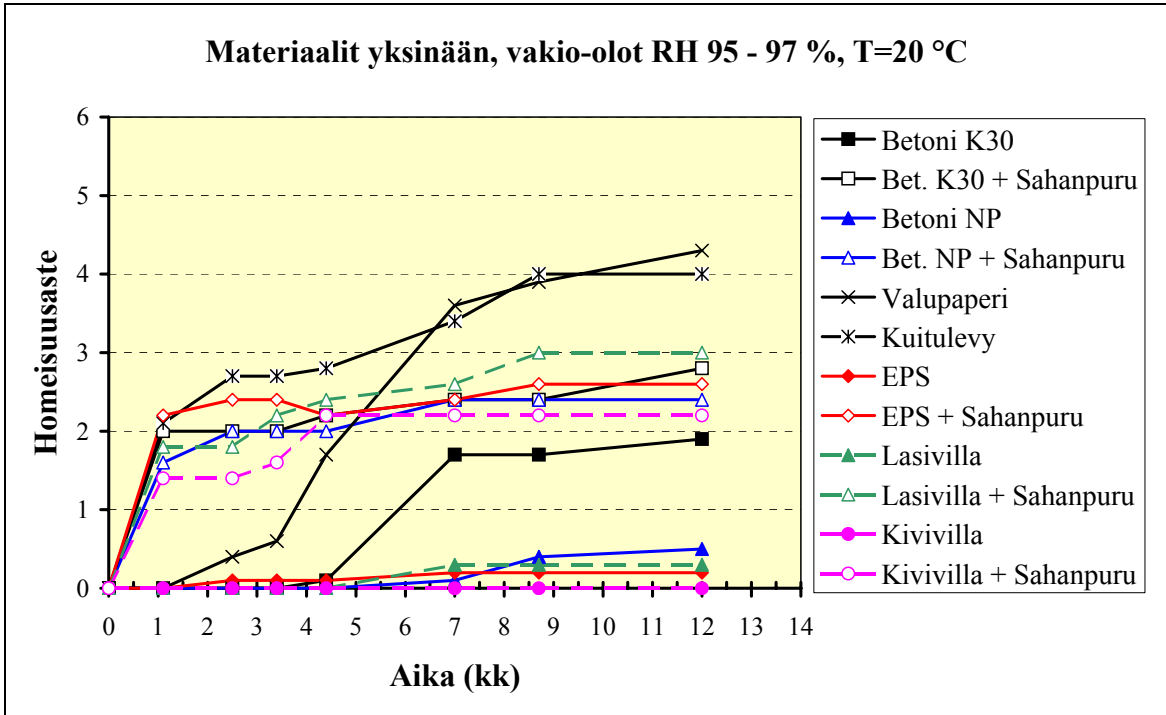
Taulukko 2. Koemateriaalien keskimääräinen kosteus paino-% kuivapainosta laskettuna kokeen jälkeen eri kosteusoloissa.

	RH 98 - 100 %	RH 95 - 97 %	RH 88 - 90 %	RH 78 - 80 %
<b>Betoni, K 30</b>	6,2	4,9	3,3	2,6
<b>Betoni, NP</b>	5,8	4,2	3,1	2,9
<b>Valupaperi</b>	151,1	24,1	20,3	13,0
<b>Kuitulevy</b>	38,9	27,5	16,0	13,7
<b>EPS</b>	2,0	1,1	0,9	
<b>Lasivilla</b>	37,2	5,8	1,2	1,2
<b>Kivillä</b>	1,6	0,4	0,3	0,2

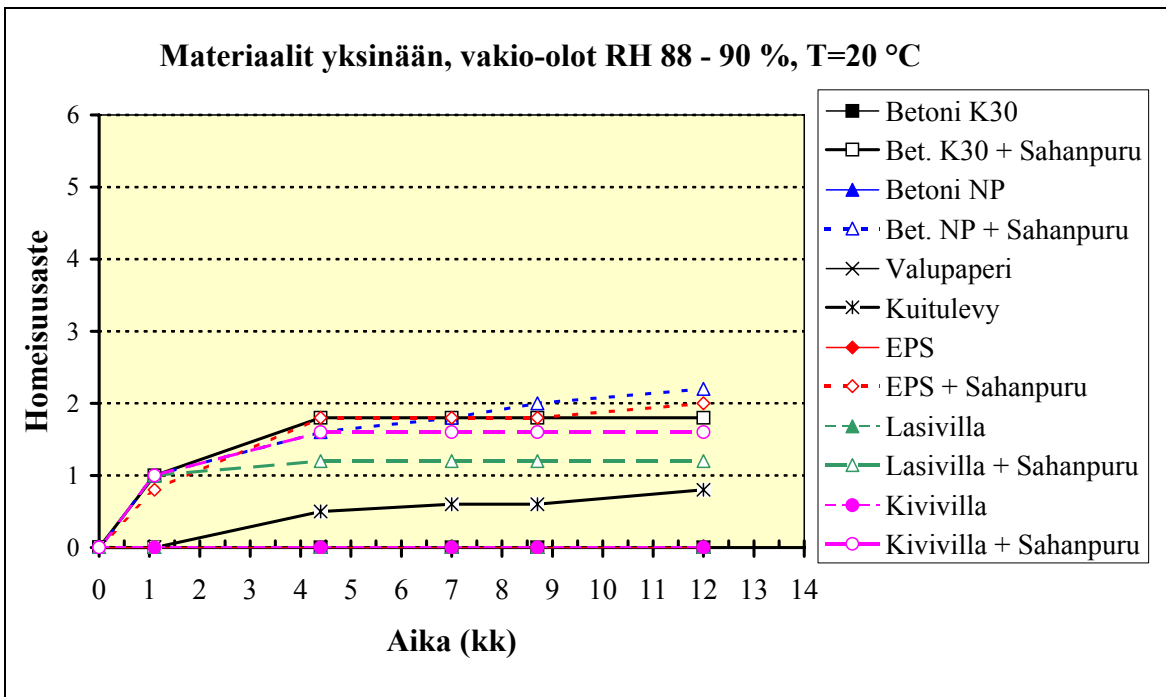
RH 88–90 % altistuksessa materiaalien kosteus oli hieman odotettua pienempi. Tämä viittaa siihen, että kammion kosteustila oli 90 %, mitä vahvistaa myös kosteusmittaukset ja seuranta kokeen aikana. Kosteus oli kuitenkin yli RH 86 %. Vastaavasti RH 78–80 % kosteustila oli alle 80 %, mutta kuitenkin yli RH 75 %. Tätä vahvistaa myös se, että missään sarjassa ei havaittu home- tai mikrobikasvua tässä kosteusaltistuksessa.



Kuva 5. Mikrobikasvuston (etenkin homehtumisen) kehittyminen RH 98–100 % kosteusoloissa yksittäisissä materiaalinäytteissä.



Kuva 6. Mikrobikasvuston (etenkin homehtumisen) kehittyminen RH 95–97% kosteusoloissa yksittäisissä materiaalinäytteissä.



Kuva 7. Mikrobikasvuston (etenkin homehtumisen) kehittyminen RH 88–90 % kosteusoloissa yksittäisissä materiaalinäytteissä. RH 78–80 % oloissa ei missään materiaalissa havaittu kasvua, joten tätä sarjaa ei ole erikseen tulostettu kuvana.



RH 88–90 % kosteusoloissa homeen kasvu oli selvästi hitaampaa ja lievempää kuin korkeammissa kosteusoloissa. Kasvua havaittiin vain orgaanista materiaalia sisältävissä materiaaleissa, mutta ei kuitenkaan valupaperissa. Puhtaissa betoni- tai lämmöneristeenäytteissä ei homekasvua havaittu. Homekasvustoa ei havaittu missään näytteessä. RH 78–80 % kosteusoloissa.

Home- ja mikrobikasvun alarajaksi on käytännössä ja useissa rakennusmateriaaleilla tehdyissä tutkimuksissa osoitettu olevan RH 80 %, jolle myös tämä tutkimus antoi vahvistusta. Altistusaika oli tässä tutkimuksessa vuosi, ja etenkin betonissa oli alussa mukana myös ylimääräistä valmistuskosteutta. Koekappaleet olivat tosin pieniä, jolloin kosteus tasaantui niissä nopeasti.

## **3.2 Materiaaliyhdistelmät**

### **3.2.1 Vakio-olosuhteet**

Materiaaliyhdistelmien osalta mikrobikasvun kehittyminen oli hitaampaa ja homekasvua havaittiin lähinnä vain sellaisissa materiaalikerroksissa, joissa puupuru on suorassa kosketuksessa kosteaan betoniin ja eristeeseen. Homekasvua havaittiin lähinnä vain puupurua sisältävissä sarjoissa RH 98–100, RH 95–97 ja jonkin verran RH 88–90 % kosteusoloissa. Muissa materiaalikerroksissa olennaista home- tai mikrobikasvua ei vuoden altistuksen aikana havaittu. Etenkin NP betonin yhteydessä puupuru oli erittäin kosteaa ja selvästi alkalista.

Materiaaliyhdistelmissä kokeen kuluessa vakio-oloissa havaittujen homekasvustojen kehittyminen on esitetty kuvissa 8–10. RH 78–80 % oloissa ei ole havaittu lainkaan homekasvua. Korkeammissa kosteusoloissa homekasvua on havaittu vain sellaisissa yhdistelmissä, joissa puupurua on alemman betonilaatan päällä. Homekasvua on havaittu vain tässä puupurussa, ei muissa kerroksissa. Puupurua sisältämättömissä näyteryhdistelmissä ei kasvua ole havaittu. Yhdistelmien tarkastusajat täsmennettiin yksittäisten materiaalien tarkastustulosten pohjalta. Puupurussa havaittu homekasvusto on itse asiassa voinut kehittyä jo aiemmin, kuin mitä kuvat 8–10 esittävät.

Korkeimmissa kosteusoloissa puupurun väri muuttui pian kokeen alussa kellertävän ruskeaksi (alkaalinen reaktio), myöhemmin RH 98–100 % oloissa tumman ruskeaksi, paikoin lähes mustaksi. NP betonisarjoissa puru näytti olevan erityisen märkää. Suuri kosteus osittain myös heikentää homesienten kasvumahdollisuutta, joskaan näytteissä ei havaittu myöskään bakteerikasvua tai mikrobien hajua. Näytteistä tehtiin kokeen kuluessa viljelykokeita, ja niissä näytteistä saatiin kasvamaan homesieniä ja jonkin verran

myös bakteereja, mikä osoittaa, että vaikka kasvua ei ollut, mikrobien elinkykyisyys säilyi kokeen aikana.

Kosteusseuranta on tehty kokeen aikana punnituksella, ja kokeen jälkeen on määritetty kuivapaino. Koekappaleiden kosteus oli suhteellisen tasainen koko kokeen ajan. Materiaaliyhdistelmissä materiaalien kosteus oli RH 98–100 % rasiuksessa hyvin korkea. Kosteutta kertyi materiaalien pintaan ja puupuru betonin pinnassa oli märkää, ja puru oli erityisen kosteaa NP betonin yhteydessä. RH 88–90 % kosteudessa puupuru oli kuivahkoa ja vaaleaa. Tässä altistusoloissa alemman betonilaatan kosteus oli pienempi kuin ylemmän laatan kosteus. Korkeammissa kosteusaltistuksissa tilanne oli päinvastainen, alempi laatta oli ylempää kosteampi. Altistuskammioiden kosteusolot ovat seurannan mukaan vastanneet lähes tavoitekosteustiloja.

Koekammioissa kosteusvaihtelua oli jonkin verran riippuen koekappaleen sijainnista kammiossa. Myös materiaalien kontaktipinnan tiiveys vaihteli jonkin verran johtuen kokeen suorituksesta. Betonit valettiin erikseen muoteissa, jonka jälkeen ne siirrettiin kammioihin ja liitettiin kerroksiksi kosketukseen muiden tutkittavien materiaalien kanssa. Keskimäärin kosteudet vaihtelivat kuitenkin niin, että eri kosteusaltistuksissa oli kosteuden keskiarvon suhteen selvät erot (kuvat 8–10). Kammioiden kosteusvaihtelu ei kuitenkaan olennaisesti vaikuttanut koekappaleiden mikrobikasvuun tai sen vaihteluun. Mikrobikasvu ei kerrosnäytteissä näyttänyt suoraan riippuvan koekappaleen kosteudesta, toisin kuin vapaissa pinnoissa osassa 1. Tämä ilmeisesti johtuu betonin vaikutuksesta muihin materiaaleihin niin, että home- tai mikrobikasvua ei kokeen aikana päässyt kehittymään.

Kokeessa pyrittiin simuloimaan uutta betonirakennetta, eikä tuloksia voida laajentaa kattamaan erilaisia vanhoihin rakenteisiin kohdistuneita kosteusvaurioita, joiden yhteydessä rakenteisiin pääsee myöhemmin vuotamaan vettä tai kertymään orgaanista likaa.

RH 98 - 100 %		Homeaste / altistus aika (kk)						
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom
Valupaperi → Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		puru märkää ja tummaa
	Eriste, kivivilla	0	0	0	0,2	0,3	6,0	
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0	21,5	
		0	2	2,4	2,6	2,6	4,7	
		0	0	0	0	0	6,7	
		0	0	0	0	0		
Suodatin kangas → Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		puru märkää ja tummaa
	Eriste, kivivilla	0	0	0,2	0,2	0,2	6,3	
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0	9,6	
		0	2,4	2,4	2,4	2,8	15,4	
		0	0	0	0	0	7,3	
		0	0	0	0	0		
RH 95 - 97 %		Homeaste / altistus aika (kk)						
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom
Valupaperi → Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		puru kosteaa osin märkää
	Eriste, kivivilla	0	0	0	0	0	4,8	
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0	17,1	
		0	2	2	2	2	0,4	
		0	0	0	0	0	5,4	
		0	0	0	0	0		
Suodatin kangas → Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		puru kosteaa osin märkää
	Eriste, kivivilla	0	0	0	0	0	5	
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0	0,6	
		0	2	2	2	2	0,2	
		0	0	0	0	0	5,7	
		0	0	0	0	0		
RH 88 - 90 %		Homeaste / altistus aika (kk)						
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom
Valupaperi → Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		puru kuivaa, vaaleaa
	Eriste, kivivilla	0	0	0	0	0	3,4	
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0	12,0	
		0	0,8	0,8	1	1	0,3	
		0	0	0	0	0	2,5	
		0	0	0	0	0		
Suodatin kangas → Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		puru kuivaa, vaaleaa
	Eriste, kivivilla	0	0	0	0	0	3,3	
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0	0,7	
		0	0,8	0,8	1	1	0,4	
		0	0	0	0	0	2,6	
		0	0	0	0	0		

Kuva 8. K30 betonia ja kivivillaeristettä sisältävissä materiaaliyhdistelmissä havaittu homekasvu vakio-oloissa. Homekasvua on havaittu vain puupurussa alemman betonilaatan yläpinnalla. Muissa kerroksissa tai ilman purua olevissa sarjoissa home- tai mikrobikasvua ei ole havaittu. RH 78–80 %:n kosteudessa home- tai mikrobikasvua ei ole havaittu lainkaan. Kosteus on määritetty kokeen jälkeen.

RH 98 - 100 %		Homeaste / altistusaika (kk)						
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom
Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0	6,2	puru märkää ja tummaa
	Eriste, EPS	0	0	0	0,2	0,4		
	Alusbetoni (K 30)	0	2,2	2,5	2,8	3		
	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0	6,5	
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	RH 95 - 97 %		Homeaste / altistusaika (kk)					
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom
Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0	4,8	puru kosteaa osin märkää
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	2	2	2	2		
	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0	5,2	
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	RH 88 - 90 %		Homeaste / altistusaika (kk)					
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom
Sahanpuru →	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0	3,4	puru kuivaa, vaaleaa
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	1	1	1	1		
	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0	2,7	
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	Pintabetoni (K 30)	0	0	0	0	0		
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0		
	Alusbetoni (K 30)	0	0	0	0	0		

Kuva 9. K30 betonia ja EPS-eristettä sisältävissä materiaaliyhdistelmissä havaittu homekasvu vakio-oloissa. Homekasvua on havaittu vain puupurussa alemman betoni-laatan yläpinnalla. Muissa kerroksissa ei homea tai mikrobikasvua ole havaittu. RH 78–80 %:n kosteudessa home- tai mikrobikasvua ei ole havaittu lainkaan. Kosteus on määritetty kokeen jälkeen.

RH 98 - 100 %		Homeaste / altistusaika (kk)								
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom		
Sahanpuru →	Pintabetoni (NP 30)	0	0	0	0	0	6,1	osa näytteistä hyvin märät etenkin eriste, puru (>100%) ja betoni		
	Eriste, EPS	0	0	0,2	0	0				
	Alusbetoni (NP 30)	0	2	2	1,4	1,4				
	Pintabetoni (NP 30)	0	0	0	0	0	6,8			
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0				
	Alusbetoni (NP 30)	0	0	0	0	0				
	Pintabetoni (NP 30)	0	0	0	0	0				
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0				
	Alusbetoni (NP 30)	0	0	0	0	0				
	RH 95 - 97 %		Homeaste / altistusaika (kk)							
			0	3	5	9	12		Kosteus %	Huom
	Sahanpuru →	Pintabetoni (NP 30)	0	0	0	0	0		4,7	puru kosteaa osin märkää
Eriste, EPS		0	0	0	0	0				
Alusbetoni (NP 30)		0	2	2	2	2				
Pintabetoni (NP 30)		0	0	0	0	0	5,5			
Eriste, EPS		0	0	0	0	0				
Alusbetoni (NP 30)		0	0	0	0	0				
Pintabetoni (NP 30)		0	0	0	0	0				
Eriste, EPS		0	0	0	0	0				
Alusbetoni (NP 30)		0	0	0	0	0				
RH 88 - 90 %		Homeaste / altistusaika (kk)								
		0	3	5	9	12	Kosteus %	Huom		
Sahanpuru →		Pintabetoni (NP 30)	0	0	0	0	0	3,5	puru kuivaa, vaaleaa	
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0				
	Alusbetoni (NP 30)	0	1	1	1	1				
	Pintabetoni (NP 30)	0	0	0	0	0	3,3			
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0				
	Alusbetoni (NP 30)	0	0	0	0	0				
	Pintabetoni (NP 30)	0	0	0	0	0				
	Eriste, EPS	0	0	0	0	0				
	Alusbetoni (NP 30)	0	0	0	0	0				

Kuva 10. NP- betonia ja EPS-eristettä sisältävissä materiaaliyhdistelmissä havaittu homekasvu vakio-oloissa. Homekasvua on havaittu vain puupurussa alemman betonilaatan yläpinnalla. Muissa kerroksissa ei hometta tai mikrobikasvua ole havaittu. RH 78–80 %:n kosteudessa home- tai mikrobikasvua ei ole havaittu lainkaan. Kosteus on määritetty kokeen jälkeen.

### 3.2.2 Aleneva kosteusolosuhde

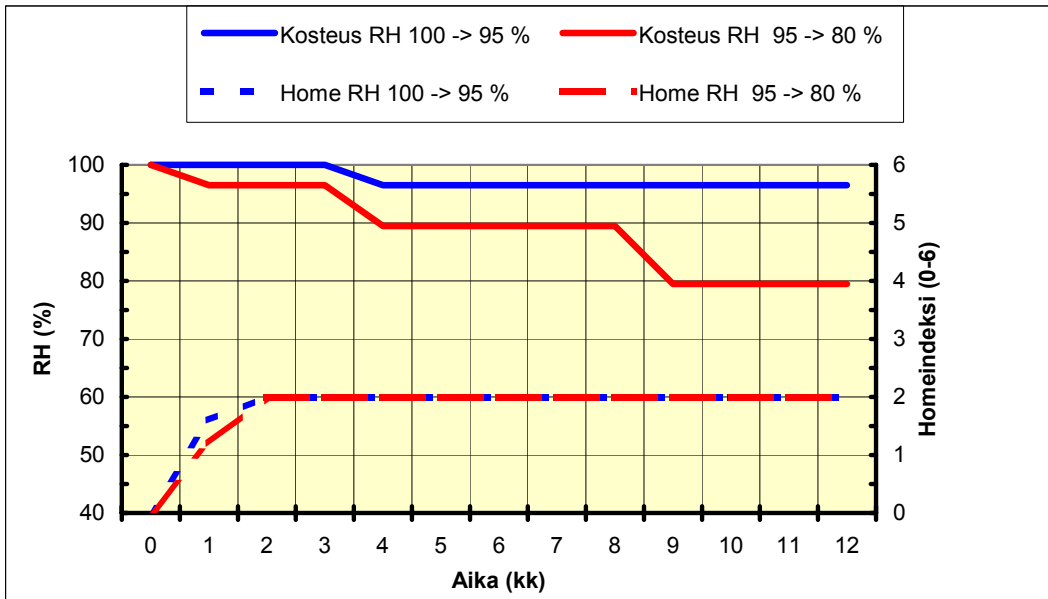
Alenevissa kosteusoloissa kasvua havaittiin vain kokeen alussa, mikä ilmeisesti johtui betonin alkukosteudesta. Kasvu pysähtyi, kun materiaalit kuivuivat, ja lievää kasvun etenemistä purussa havaittiin vain altistuksessa, jossa kosteus pysyi pitkään RH 95 % oloissa, EPS-eristeen alla. Kivivillan alla olleessa puupurussa homeisuusaste pysyi muuttumattomana.

Materiaaliyhdistelmissä alenevassa kosteudessa havaittu homekasvu on esitetty kuvissa 11–12. Homekasvua on havaittu vain puupurussa, alemman betonilaatan päällä. Alenevan kosteusrasituksen koetulosten mukaan homekasvu on ollut havaittavissa jo 5 viikon altistuksen jälkeen. Muissa kerroksissa ei homeetta tai mikrobikasvua ole havaittu. Homeen kasvun kehittyminen on ollut aluksi nopeaa, mutta se on kosteuden aletessa hidastunut ja pysähtynyt itseasiassa kokonaan. Kasvu pysähtyi, kun materiaalit kuivuivat, ja lievää kasvun etenemistä purussa havaittiin vain altistuksessa, jossa kosteus pysyi pitkään RH 95 % oloissa, EPS eristeen alla. Kivivillassa homeisuusaste pysyi muuttumattomana.

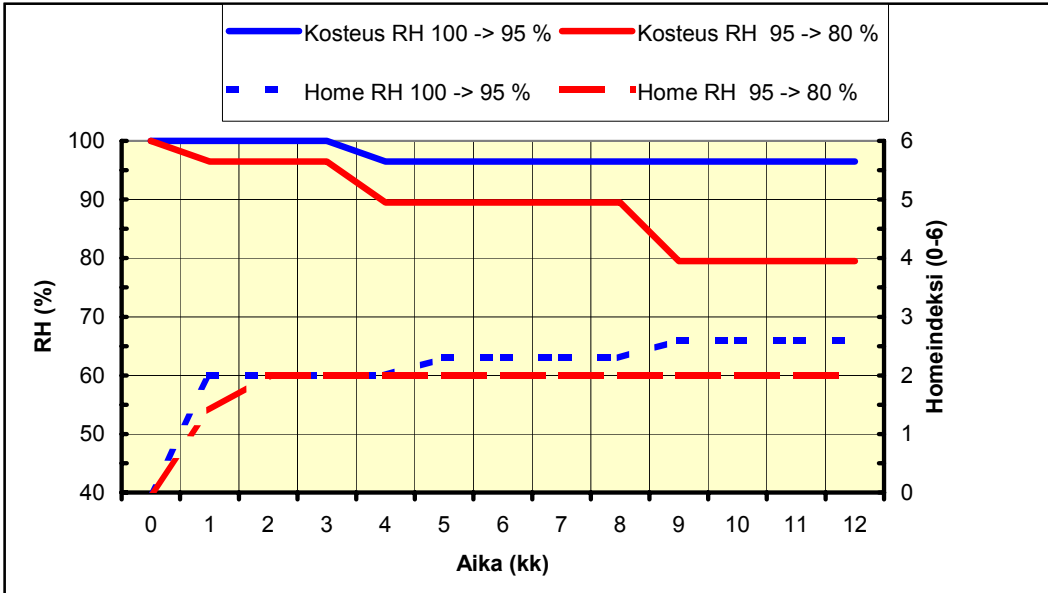
Alenevassa kosteusrasituksessa materiaaliyhdistelmissä havaittu homekasvu rajoittui puupuruun alemman betonilaatan yläpintaan. Kosteuden aleneminen hidasti homeen kehittymistä, mutta home on päässyt kehittymään puupurussa jo ennen kosteuden alenemista. Myöhemmin lievää homekasvun etenemistä havaittiin korkeammalle kosteustasolle jääneissä koesarjoissa.

Muu mahdollinen mikrobikasvu (bakteerit) on tarkistettu aika-ajoin näytteistä viljelymenetelmällä. Viljelyssä näytteistä on saatu homeetta ja mikrobeja kasvamaan, mutta tämä osoittaa vain, että mikrobit ovat elinkykyisiä. Niiden määrien arviointia ei voida käyttää tämänkaltaisissa kokeissa luotettavasti kasvun mittarina.

Tulokset osoittavat, että betonirakenne, jonka kosteus on aluksi korkea ja sitten kuivuu, ei ole altis home- tai mikrobikasvulle, mikäli rakennekerroksessa ei ole orgaanista materiaalia. Kokeessa ei ollut mukana sellaista vaihtoehtoa, että muuta orgaanista likaa (esim. multa) olisi lisätty kerroksiin. Mullassa tiedetään olevan orgaanisen aineen lisäksi mm aktinobakteereja. Näitä ei kokeeseen erikseen lisätty, mutta puupuru ja muut materiaalit eivät olleet steriilejä, joten mahdollisuus useiden mikrobiryhmien kehittymiseen ei ollut suljettu pois.



Kuva 11. Alenevassa kosteusrasituksessa materiaaliyhdistelmissä betoni K30, valupaperi, kivivilla, sahanpuru, betoni K30 havaittu homekasvu rajoittuu puupuruun (SP) alemman betonilaatan yläpintaan. Kosteuden aleneminen on hidastanut homeen kehittymistä, mutta home on päässyt kehittymään puupurussa jo ennen kosteuden alenemista.



Kuva 12. Alenevassa kosteusrasituksessa materiaaliyhdistelmissä betoni K30, EPS eriste, sahanpuru, betoni K30 havaittu homekasvu rajoittuu puupuruun (SP) alemman betonilaatan yläpintaan. Kosteuden aleneminen on hidastanut homeen kehittymistä, mutta home on päässyt kehittymään puupurussa jo ennen kosteuden alenemista.

## 4. Päätelmät

Vapailla betonipinnoilla, joihin voi kertyä orgaanista pölyä ja muuta likaa, home- ja mikrobikasvu voi käynnistyä nopeammin ja kasvu on runsaampaa kuin tiiviissä betonirakenteessa. Ilmaan rajoittuvissa pinnoissa homekasvun rajakosteus on puhtaan betonin osalta yli RH 88–90 % ja orgaanista puupurua tai pölyä sisältävän materiaalin osalta yli RH 78–80 %. Tällöin pintaan kertynyt orgaaninen aines muodostaa homeen kasvun kannalta kriittisen rajapinnan. Betonin pinnan vanheneminen, pintakäsittely sekä pintaan ajan mittaan kertyvä aines vaikuttavat pinnan mikrobikasvuun.

Tiiviitä materiaalikerroksia omaavan betonirakenteen (esim. lattia) mikrobikasvulle kriittiset kosteusolot ovat korkeammat kuin vapailla pinnoilla. Tiiviissä betonirakenteessa mikrobikasvulle herkin kohta on orgaanista materiaalia sisältävä ainekerros, mutta mikrobikasvu on vähäisempi kuin avonaisella pinnalla. Tiiviissä kerroksessa mikrobikasvun raja-arvo on puhtaiden betonimateriaalien osalta yli 97–98 %. Samoin puhtaat EPS- ja mineraalivillaeristeet voivat homehtua, kun kosteus on pitkään yli 97–98 %. Altistusajan tulee olla hyvin pitkä (useita kuukausia).

Orgaanista materiaalia sisältävien kerrosten osalta vastaava arvo on yli 88–90 % vuoden altistuksessa. Haihtuvia orgaanisia aineita (VOC) ei hankkeessa ole tarkasteltu. Tulokset rajoittuvat uuteen materiaaliin eikä niitä voida sellaisenaan arvioida kosteusvaurioihin liitettynä.



## Lähdeluettelo

1. Saarimaa, J., Rautiainen, L. & Viitanen, H. Rakenteiden kosteustekninen suunnittelu, kosteusvauriot ja niiden estäminen. Sisäilmastoseminaari 20.3.1996. Espoo. Sisäilmayhdistys ry. pp 101–106.
2. Lumme, P. 2000. Critical moisture content in concrete constructions. In Seppänen, O. & Säteri, J. (ed): Healthy Buildings 2000. Espoo. Vol. 1. FiSIAQ, Espoo, p. 317–322.
3. Nielsen, K.F., Nielsen, P.A. and Holm, G. 2000. Growth of moulds on buildings materials in different humidity conditions. In Seppänen, O. & Säteri, J. (ed): Healthy Buildings 2000. Espoo. Vol. 1. FiSIAQ, Espoo, p. 283–288.
4. Ritschkoff, A-C., Viitanen, H. and Koskela, K. 2000. The response of building materials to the mould exposure at different humidity and temperature conditions. In Seppänen, O. & Säteri, J. (ed): Healthy Buildings 2000. Espoo. Vol. 3. FiSIAQ, Espoo, p. 317–322.
5. Viitanen, H. 2003. Betonin ja siihen liittyvän eristeen homehtumisen kriittiset kosteusolosuhteet. Sisäilmastoseminaari 2003. Dipoli, Espoo, 19.–20.3.2003. Sisäilmayhdistys ry, 275–280

