

# Rakenteiden ja materiaalien kosteusvaurioituminen

Tutkimusmenetelmät korjausrakentamisessa -  
opintojaks

Korjausrakentaminen ja kiertotalous -opintokokonaisuus

Niko Tolvanen, RI, RTA, PKA,  
Savonia amk

Julkaistava aineisto (poikkeaa opintojaksolta)



Euroopan unionin rahoittama –  
NextGenerationEU

Mikä on halvinta korjausta, mikä säästää ympäristöä eniten?

Yleensä ennakoiva korjaaminen

Milloin se on halvinta?

Kun tunnetaan rakennuksen kunto hyvin, eikä merkittäviä vaurioita ole kerennyt syntyä

Miten tunnetaan rakennuksen kunto hyvin?

Tutkimalla rakennus hyvin oikealla menetelmällä ja laajuudella

Kun tiedetään tarkkaan rakennuksen sen hetkinen kunto ja vika tai vaurio, voidaan:

- Korjata rakennuksia ja rakenteita
- Korjata oikealla laajuudella ja tekniikoilla
  - Ei korjata turhaan montaa kertaa
- Tehdä ennakoivia korjauksia
  - Ehkäistään suuria vaurioita
  - Ehkäistään sisäilmahaittaa
- Suunnitella ja priorisoida korjauksia tuleville vuosille

Rakennuksen käyttöikä pitenee (ei tarvitse vielä purkaa ja rakentaa uutta)

- Säästää ympäristöä

Korjaaminen, uudelleenkäyttö ja kierrätys voidaan optimoida. Tämä vähentää tarpeetonta purkamista ja uusien materiaalien käyttöä, mikä pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä ja edistää resurssien tehokasta hyödyntämistä.

Aiheesta on myös kerrottu KorKi:n [Korjausrakentamisen yleiset laatuvaatimukset](#) -osiossa

# Rakennuksien kunnossapito on tärkeää

## RAKENNUKSET (tekninen arvo)

**460** mrd €

Arvo yhteensä

90 mrd €	Asuinkerrostalot
150 mrd €	Erilliset pientalot
30 mrd €	Rivi- ja ketjutilat
45 mrd €	Teollisuus- ja varastorakennukset
55 mrd €	Julkiset rakennukset
45 mrd €	Liike- ja liikenteen rakennukset
20 mrd €	Muut rakennukset
20 mrd €	Toimistorakennukset
10 mrd €	Kesämökki

(Roti 2023)

## Kiinteistö- ja rakentamisala:

**83%** kansallisvarallisuudesta

**15%** BKT:sta

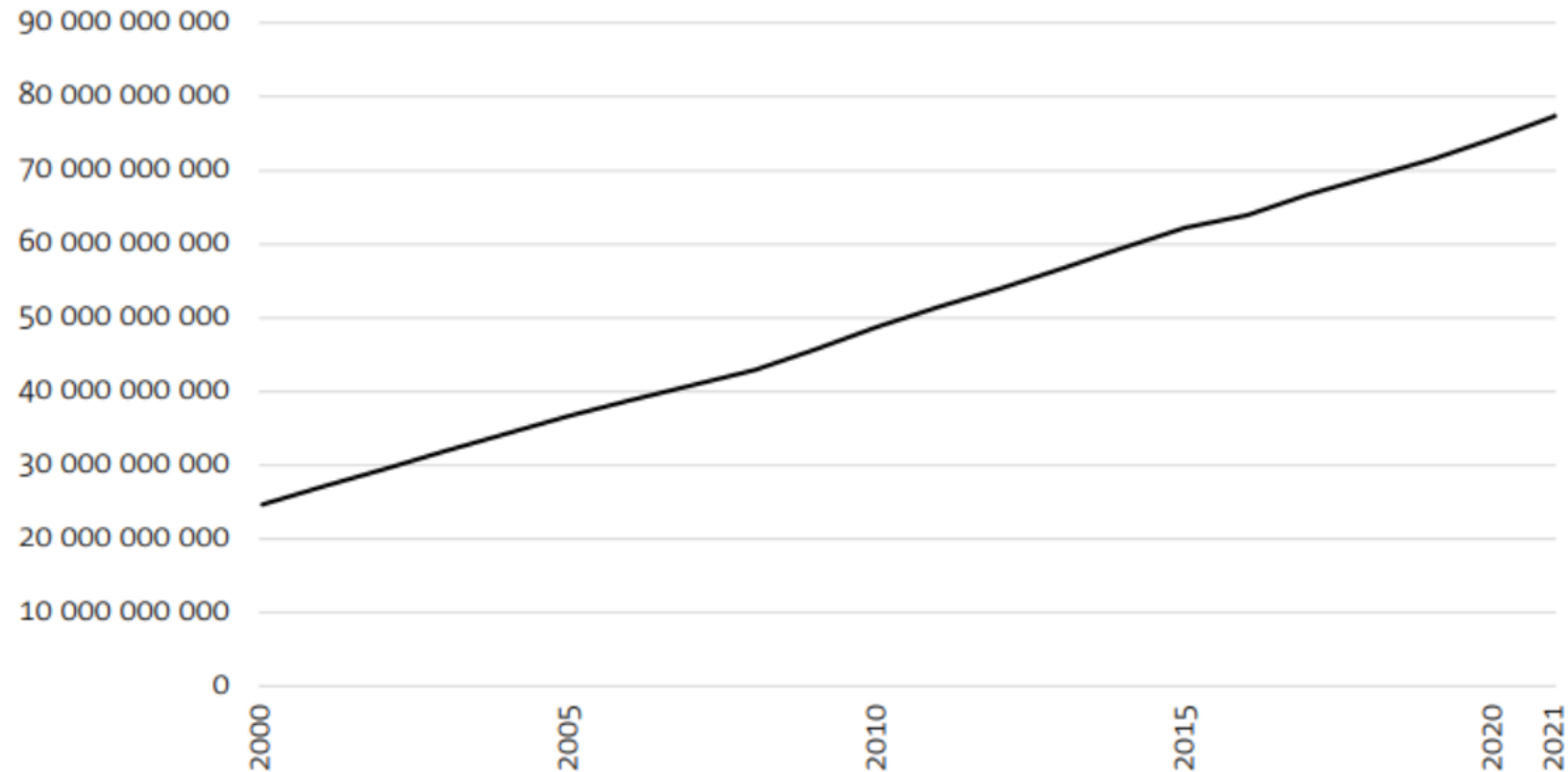
**20%** työllisyydestä

**60%** investoinneista

**35%** energiankulutuksesta

(Kuva: Roti 2021)

# Korjausvelka on kasvanut



Talokannan korjausvelan kehitys euroissa vv. 2000-2021

Lähde: Forecon Oy, ROTI 2023

# Esimerkki pientaloista

THL:n selvitys:

Kosteusvauriot ovat yleisiä Suomen pientaloissa (rivi- ja omakotitalot).

- pientaloista 15 prosentissa on varma kosteusvaurio
- noin 40 prosentissa joko vaurio tai lisätutkimustarvetta yleisimmissä riskirakenteissa.
- Riskirakenne on rakennusaikakaudelleen tyypillinen rakenne, joka myöhemmin on todettu vaurioherkäksi.

# Kosteusvauriotumisen lähtökohdat

Homeongelman kriittiset olosuhteet:

- Materiaalit ja rakenteet
- Kosteus, lämpötila ja aika
- Pintaan kertyvät mikrobit ja muut partikkelit

Mikrobikasvun pääasialliset kasvuvaatimukset

- Vesi
- Ilma
- Lämpö
- Ravinteet
- Eliöt

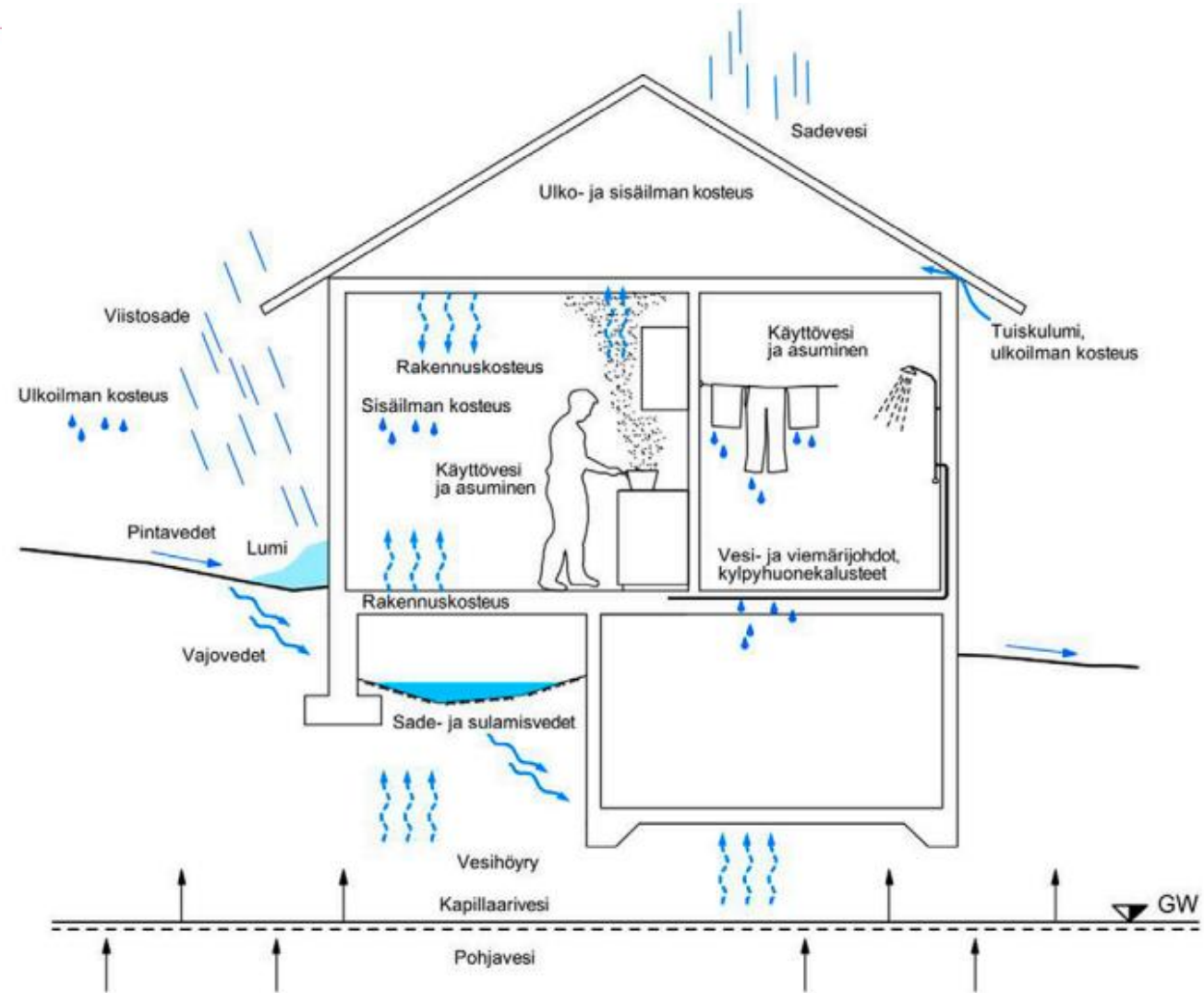
Kuva poistettu

Kuva poistettu

# Kosteuslähteet ja kosteusrasitukset

Rakennuksen ja rakenteiden kosteuslähteitä ja kosteusrasituksia ovat mm.:

- Sade
- Pinta- ja sulamisvedet
- Ulkoilman vesihöyry
- Maaperän kosteus ja pohjavesi
- Vesivuodot putkista ja laitteista
- Rakenteiden vesivuodot (epätiivetydet)
- Sisäpuoliset kosteuslähteet, kuten ihmiset, käyttövesi, kasvit, teollisuusprosessien tuottama kosteus, kuivuvien materiaalien tuottama kosteus jne.
- Rakennuskosteus



Kuva 5.8. Rakennuksen yleisimmät sisä- ja ulkopuoliset kosteuslähteet.  
Lähde: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöministeriö

## Lisätietoja edelliseen

- Sade

Sateen aiheuttama rasitus esiintyy vetenä, lumena ja jäänä. Sateen aiheuttama kosteusrasitus on suurin syksyllä, jolloin rakenteiden kuivuminen on vähäistä sadejaksojen yleisyyden vuoksi. Tuuli lisää sateen aiheuttamaa rasitusta etenkin ulkoseiniin.

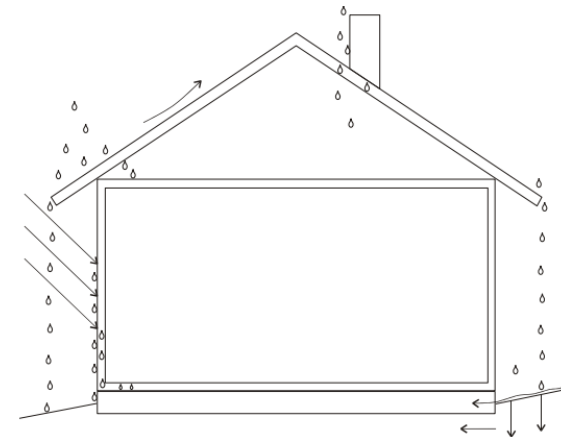
Pystysuora sade rasittaa rakennuksen vaakapintoja, kuten kattoja ja terasseja. Viistosade rasittaa vaakapintojen lisäksi pystysuoria vaipan osia, kuten julkisivuja. Sade voi aiheuttaa rasitusta myös roiskevetenä ja pintoja pitkin siirtyvänä valumavetenä esimerkiksi ikkunapinnasta alaspäin rakenteisiin sekä valumavetenä ja vajovetenä perustuksiin. Joskus sadevesi voi siirtyä myös ylöspäin rakenteiden pinnoissa tuulenpaineen vaikutuksesta. Lumi voi tunkeutua sellaisiin rakenteisiin, joihin vesi ei tunkeudu. Esimerkiksi lumi voi tuiskuta yläpohjaan räystäsrakenteiden kautta. Lumen ja jään sulamisvedet voivat aiheuttaa myös merkittäviä lisärasituksia. Veden jäätyminen rakenteen pintaan voi aiheuttaa myös vaurioita. Lisäksi veden jäätyessä se voi padottaa nestemäistä vettä esimerkiksi syöksytorviin.

- Rakennuskosteus

Rakennuskosteus tarkoittaa rakennusvaiheen aikana tai sitä ennen rakenteisiin tai rakennusaineisiin joutunutta rakennuksen käytön aikaisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta, jonka tulee poistua. Rakennuskosteus on siis rakennusaineisiin ja -tarvikkeisiin valmistuksen, varastoinnin tai rakentamisen aikana joutunutta ylimääräistä kosteutta, joka pyrkii poistumaan.

- Maaperän kosteus

Maaperässä esiintyvä kosteus voidaan jakaa seuraavasti: Pintavedet, vajovesi rakennuksen vieressä, pohjavesi ja kapillaarivesi. Maaperän kosteusolosuhteet rakennuksen alla ja sen lähiympäristössä arvioidaan kussakin tapauksessa paikallisten olosuhteiden perusteella. Maaperän kosteusolosuhteisiin vaikuttavat maanpinnan muodot, vesistöt, pohjaveden korkeus, maalajikerrostumat ja niiden kosteustekniset ominaisuudet sekä kuivatusjärjestelyt maan pinnalla ja rakennuksen ympärillä.



Sadeveden kosteusrasitus kohdistuu rakennuksen vaipan ulkopintoihin, joista se voi edelleen tunkeutua rakenteisiin

- 1 vesikaton epätiiviyistä läpiviennistä
- 2 vesikaton epätiiviyistä saumasta tai rikkoutuneesta katteesta
- 3 seinässä olevasta epätiiviyistä saumasta tai halkeamasta
- 4 pintavetenä
- 5 tuulen vaikutuksesta katteen limitysten alle

Kuva K.4.4. Sadeveden rakennukseen aiheuttamia kosteusvaurioriskejä.

# Kosteusvaurioitumiseen vaikuttavat fysikaaliset tekijät

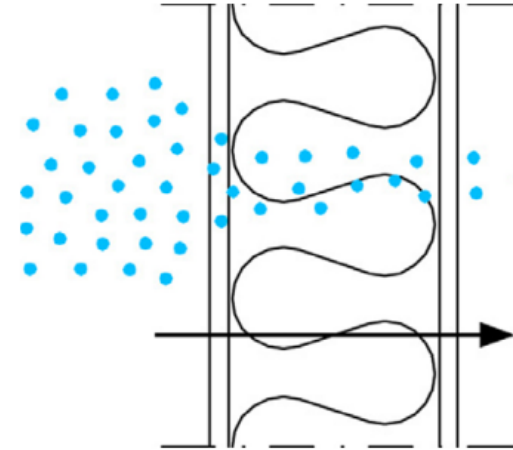
Tutkimusmenetelmät korjausrakentamisessa -opintojakso  
Korjausrakentaminen ja kiertotalous -opintokokonaisuus

Niko Tolvanen, Savonia amk

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät - diffuusio

## • Vesihöyryn diffuusio

- Ilman sisältämä kosteus pyrkii tasoittumaan suuremmasta -> pienempään pitoisuuteen (vesihöyrynsapaine / absoluuttinen kosteus)
  - Sisäilman vesihöyry pyrkii tasoittumaan (diffuntoitumaan) ulkoilmaan ulkovaipan rakenteiden läpi. Rakenne pyrkii estämään diffuusiovirtausta.
  - Tyypillinen vesihöyryn diffuusiosiiirtyminen esiintyy Suomessa talviaikana, kun sisäilmassa on enemmän vesihöyryä kuin ulkoilmassa.
  - Diffuusio on kaasun molekyylien liikettä kaasun suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen. Molekyylien liike johtuu niiden keskinäisistä törmäyksistä.



Kuva 5.22. Vesihöyryn diffuusion periaate. Pallojen lukumäärä kuvaa vesimolekyylien määrää ja nuoli diffuusion suuntaa.

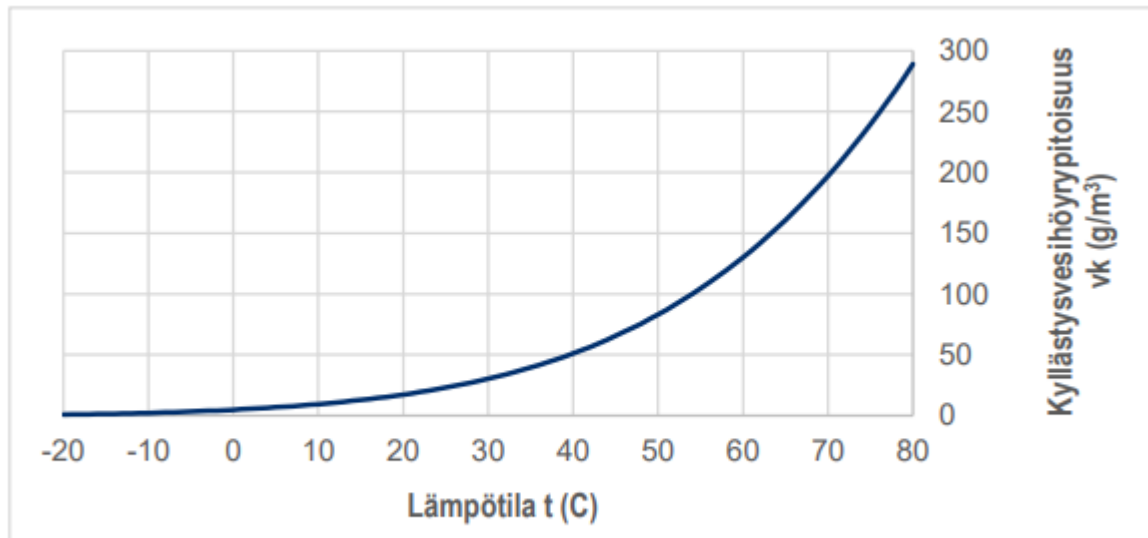
Taulukko 5.4. Eräiden materiaalikerrosten vesihöyrynvastuksia. Taulukon aineisto: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2012.

Materiaali	Paksuus [mm]	Vesihöyrynvastus $Z_p$ [ $m^2sPa/kg$ ]
Kipsilevy	13	$0,45 \times 10^9$
EPS-lämmöneriste	30	$3...9 \times 10^9$
Kevytsorabetoniharkko	200	$8 \times 10^9$
Filmivaneri	12	$63 \times 10^9$
PE-kalvo	0.2	$100...500 \times 10^9$
Kumibitumikermi	3	$800...1\ 500 \times 10^9$

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

Mitä kylmempi, niin sen vähemmän kosteutta ilmaan mahtuu

-> RH% (suhteellinen kosteus) nousee, sisäilmankosteus voi tiivistyä vedeksi ja kuivuminen hidastuu.



**Kuva K.3.2.** Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus lämpötilan funktiona.

Lähde: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöministeriö

**Taulukko K.3.1.** Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus ja kyllästysosapaine lämpötilan funktiona.

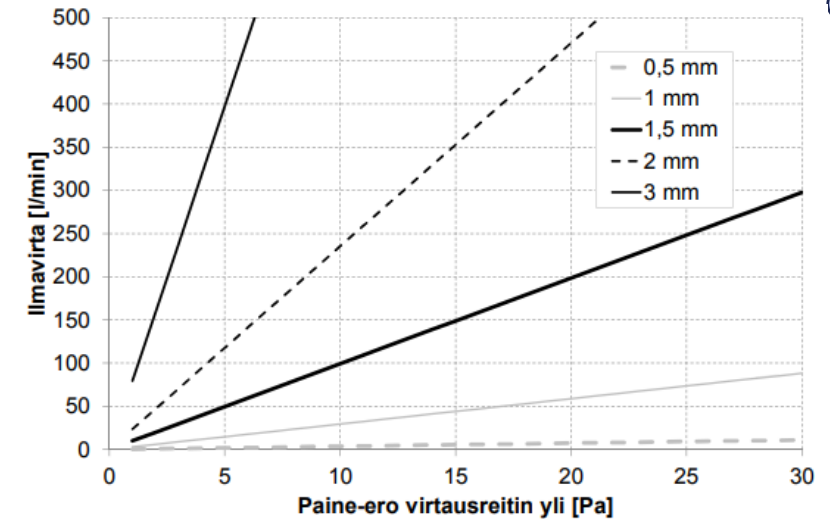
t (°C)	vk (g/m³)	pvk (Pa)	t (°C)	vk (g/m³)	pvk (Pa)	t (°C)	vk (g/m³)	pvk (Pa)	t (°C)	vk (g/m³)	pvk (Pa)
-20	0,88	102	1	5,21	658	22	19,40	2640	43	59,41	8663
-19	0,95	111	2	5,58	708	23	20,54	2805	44	62,40	9128
-18	1,04	122	3	5,98	762	24	21,74	2979	45	65,52	9614
-17	1,14	135	4	6,40	818	25	23,00	3162	46	68,77	10122
-16	1,25	149	5	6,84	878	26	24,32	3355	47	72,15	10653
-15	1,38	164	6	7,31	941	27	25,71	3559	48	75,67	11207
-14	1,52	181	7	7,80	1008	28	27,17	3773	49	79,33	11786
-13	1,67	200	8	8,32	1079	29	28,70	3999	50	83,14	12390
-12	1,83	221	9	8,87	1154	30	30,31	4237	51	87,10	13020
-11	2,01	243	10	9,45	1234	31	31,99	4487	52	91,21	13677
-10	2,20	266	11	10,06	1318	32	33,75	4750	53	95,48	14362
-9	2,40	292	12	10,71	1408	33	35,60	5027	54	99,92	15075
-8	2,61	319	13	11,39	1502	34	37,54	5317	55	104,52	15818
-7	2,84	348	14	12,10	1603	35	39,56	5622	56	109,30	16592
-6	3,08	379	15	12,86	1708	36	41,68	5943	57	114,25	17397
-5	3,33	412	16	13,65	1820	37	43,90	6279	58	119,39	18234
-4	3,60	447	17	14,49	1939	38	46,21	6631	59	124,72	19105
-3	3,89	485	18	15,37	2064	39	48,63	7001	60	130,24	20010
-2	4,19	524	19	16,30	2197	40	51,16	7388	61	135,95	20951
-1	4,51	566	20	17,28	2337	41	53,79	7793	62	141,87	21928
0	4,85	611	21	18,31	2484	42	56,54	8218	63	147,99	22943

Lähde: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöministeriö

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät - konvektio

## • Vesihöyryn konvektio

- Vesihöyryn konvektiolla eli kosteuskonvektiolla tarkoitetaan vesihöyryn siirtymistä ilmavirran mukana. Kosteuskonvektion aiheuttamaa kosteusvaurioriskiä arvioidaan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla.
- Vesihöyryn siirtyminen on konvektiolla yleensä selvästi suurempaa kuin diffuusiolla
- Paine-ero rakenteiden yli vaikuttaa konvektion määrään (lämpötilaero, ilmanvaihto ja tuulenpaine)
- Epätiiveyskohdan pinta-ala vaikuttaa konvektion määrään



Kuva 5.25 Eri levyisten rakojen läpi virtaava ilman tilavuusvirta eri paine-eroilla. Rako on 100 mm syvä, suora ja sileäpintainen.

Taulukko 5.5. Eräiden rakennusmateriaalien ilmanläpäisevyyksiä + 20°C lämpötilassa. Taulukon aineisto: Nevander L. ja Elmarsson B., 2011.

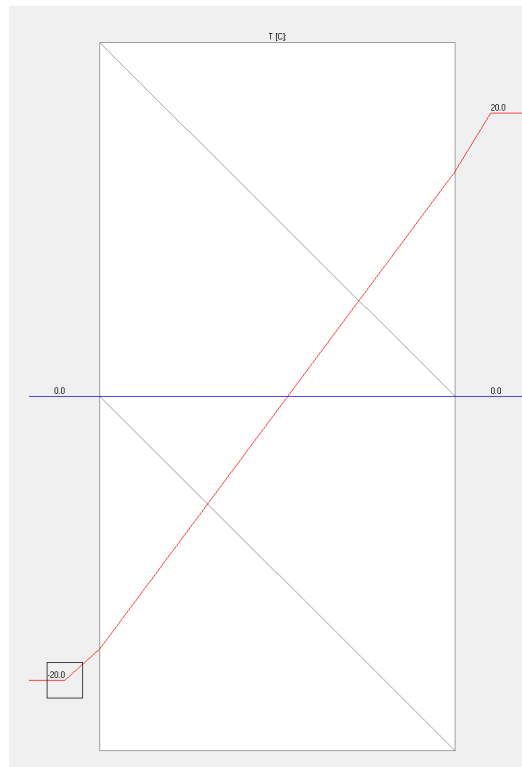
Materiaali	Ilmanläpäisevyys [ $\text{m}^3/\text{msPa}$ ]
Tiili	0,005...0,05 $\times 10^{-6}$
Betoni	0,000005...0,0005 $\times 10^{-6}$
Mineraalivilla	15...800 $\times 10^{-6}$
EPS-lämmöneriste	30...500 $\times 10^{-6}$

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

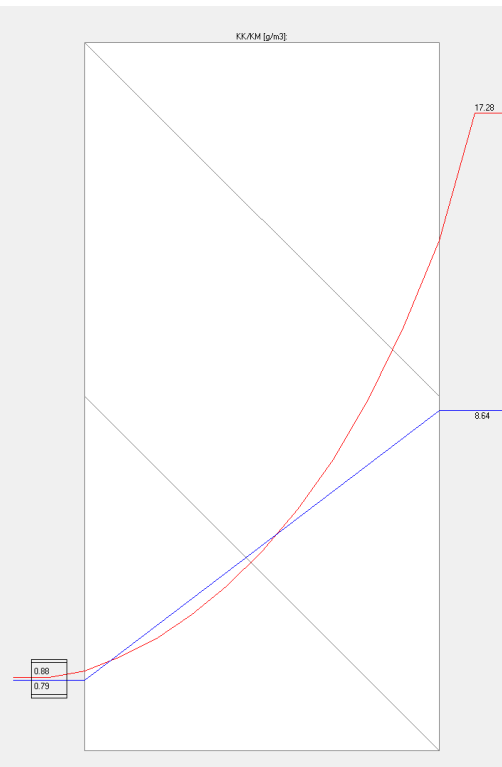
Mitä kylmempi, niin sen vähemmän kosteutta ilmaan mahtuu -> RH% (suhteellinen kosteus) nousee, sisäilmankosteus voi tiivistyä vedeksi ja kuivuminen hidastuu.

## Hirsiseinä (3 vrk kylmin jakso)

Lämpötilajakauma

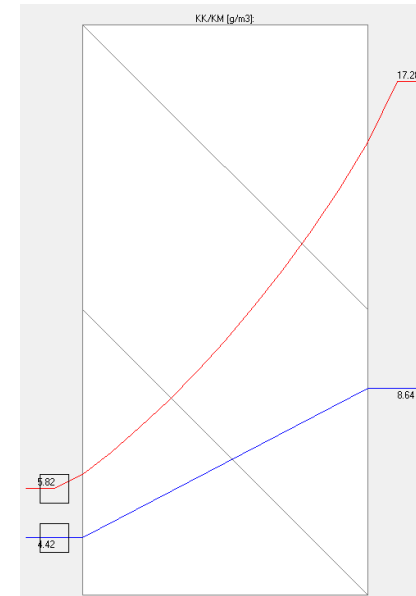


Kosteusjakauma



Piste:	T [c]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-17.80	1.06	0.79	74.4	0.00
2	15.91	13.58	8.64	63.6	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

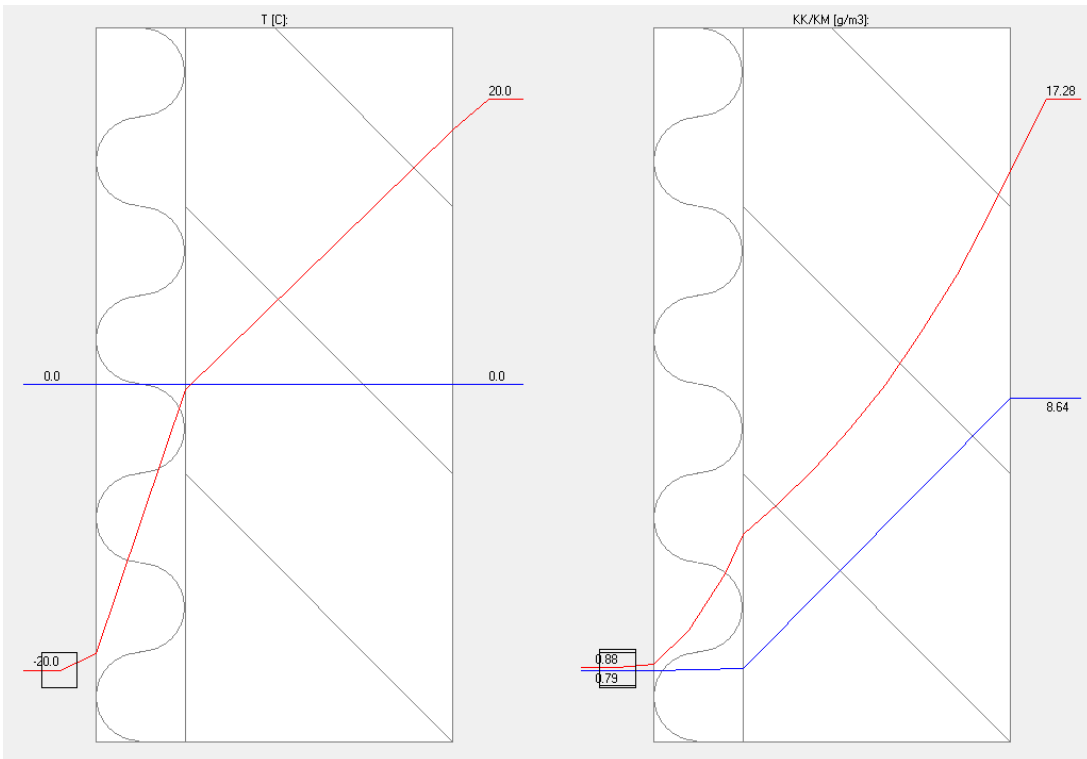
## Huhtikuu



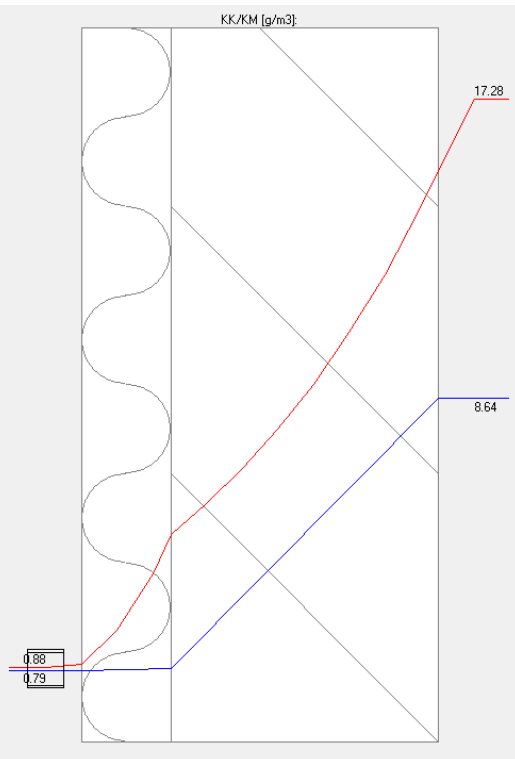
Hirsiseinän lisälämmöneristäminen (50 mm min. villa) ja kosteusvaurioitumisriskin arviointi (3 vrk kylmä jakso)

Eristäminen ulkopuolelta

Lämpötilajakauma

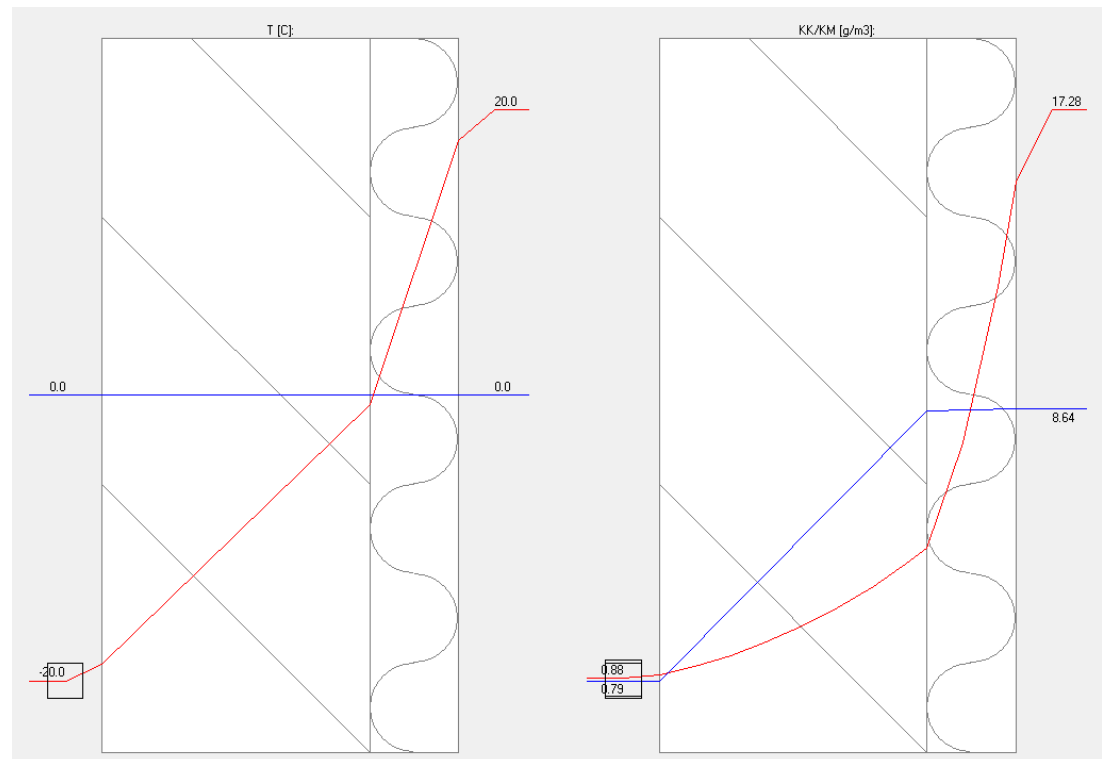


Kosteusjakauma

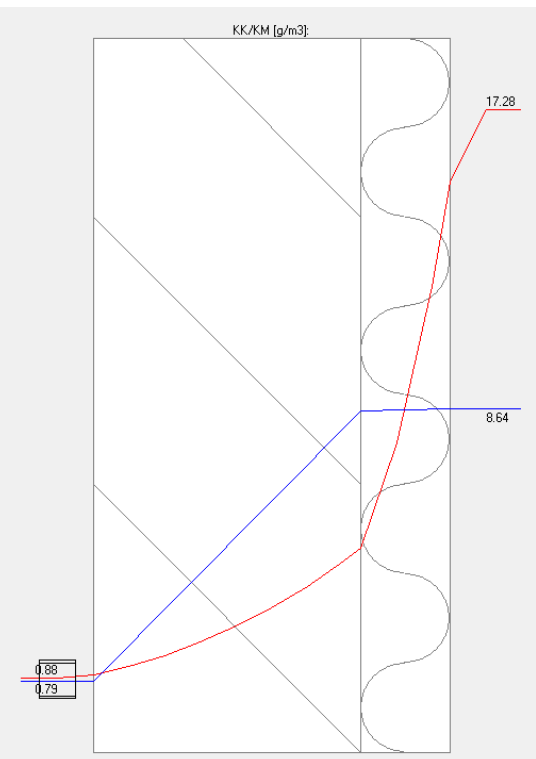


Eristäminen sisäpuolelta

Lämpötilajakauma



Kosteusjakauma



Mitä kylmempi, niin sen vähemmän kosteutta ilmaan mahtuu -> RH% (suhteellinen kosteus) nousee, sisäilmankosteus voi tiivistyä vedeksi ja kuivuminen hidastuu.

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

Rakennuksen rakennusfysikaalisen toiminnan lähtökohta on ulkoilma

Kuva poistettu

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talvella ( $T_{\text{int}}$ : 5 °C)	Rakennustyyppi <sup>3), 4)</sup>
1	> 5 g/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	5 g/m <sup>3</sup>	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat <sup>5), 6)</sup> , kylmä- ja pakkahuoneet <sup>5), 6)</sup> , talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	3 g/m <sup>3</sup> <sup>2)</sup>	Vapaa-ajan asunnot, puoliilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

<sup>1)</sup> Kosteusluokan 1 rakennuskohteissa sisäilman kosteuslisä ja lämpötila on aina arvioitava kohdekohtaisesti erikseen mitoituksen yhteydessä. Kosteuslisä voi vaihdella rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen välillä 6–20 g/m<sup>3</sup>.

<sup>2)</sup> Kosteusluokan 3 rakennuskohteissa kosteustekninen mitoitus tehdään käyttäen talvella kosteuslisän arvoa 3 g/m<sup>3</sup>, ellei voida luotettavasti osoittaa, että pienempikin kosteuslisä riittää tarkasteltavassa kohteessa.

<sup>3)</sup> Eri rakennustyyppisiin kuuluvia rakennuksia on lueteltu tarkemmin RakMK D3:ssa.

<sup>4)</sup> Rakennusta suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon, että rakennuksen käyttötarkoitusta saatetaan joskus myöhemmin muuttaa, jolloin myös sen kosteusluokka voi muuttua.

<sup>5)</sup> Jäähdytettyjen tilojen kosteusluokkaa valittaessa on otettava huomioon, että sisäilman kosteuslisä voi nousta suureksi sisätilan mahdollisten lämpötilamuutosten yhteydessä. Jäähallit ja muut jäähdytetyt liikuntatilat, joiden lämpötila nostetaan ajoittain korkeaksi ja joita käytetään ajoittain kosteusluokan 1 mukaisissa tarkoituksissa, kuuluvat kosteusluokkaan 1.

<sup>6)</sup> Jäähdytettyjen tilojen vaipparakenteiden mitoituksessa on otettava huomioon myös ulkoa sisälle päin siirtyvä vesihöyry, joka voi aiheuttaa kosteuden kondensoitumista ja homeen kasvulle otollisia olosuhteita lähellä rakenteen sisäpintaa.

	t (oC)	vk (g/m <sup>3</sup> )	
Taulukosta:	-20	0,88	Ulkoa tuodaan sisälle n. 1g/m <sup>3</sup> kosteutta + sisäilman kosteuslisä 5g/m <sup>3</sup> = 6g/m <sup>3</sup> . +21°C mahtuu 18,31 g kosteutta. Mikä on suhteellinen kosteus sisällä?
	21	18,31	

$6 \text{ g/m}^3 : 18,31 \text{ g/m}^3 = 33 \% \text{ RH}$

Kosteuslisä on tyypillisesti asuinhuoneistoissa n. 1–3 g/m<sup>3</sup> ja toimistohuoneissa n. < 2 g/m<sup>3</sup>. Suunnittelun mitoitusarvona asuin- ja toimistorakennuksissa käytetään kosteuslisää 5 g/m<sup>3</sup>, jolla saadaan mitoituslaskelmaan varmuutta.

Sisäilman kosteuden lisäys 5 g/m<sup>3</sup> tarkoittaa, että ilmaan on tullut viisi grammaa lisää vesihöyryä jokaista kuutiometriä kohti. Esimerkki:

**Huoneiston kosteuslisä:**  
 Jos huoneiston koko on **120 m<sup>2</sup> x 5 m x 2.5 m**, jolloin tilavuus on 300 m<sup>3</sup>  
 Jos kosteuslisä on 5 g/m<sup>3</sup>, lisäkosteus koko huoneistossa on 1500 g, joka vastaa noin 1,5 l vettä.

Lähde: RAFNET 2020 –OPPIMATERIAALI (RIL107-2012)

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

Huoneilman kosteus riippuu ulkoilman kosteudesta, huonetilan kosteustuotosta ja tilan ilmanvaihtuvuudesta. Eri tekijöiden merkitystä tasapainotilanteessa voidaan arvioida kaavalla:

$$v_s = v_u + \frac{G}{nV}$$

missä  $v_s$  on sisäilman kosteuspitoisuus [g/m<sup>3</sup>],  $v_u$  on ulkoilman kosteuspitoisuus [g/m<sup>3</sup>],  $G$  on sisätilan kosteustuotto [g/h],  $n$  on ilmanvaihtokerroin [1/h] ja  $V$  on huoneen tilavuus [m<sup>3</sup>].

Oletetaan, että yksi henkilö tekee istumatyötä tilavuudeltaan 25 m<sup>3</sup>:n huoneessa. Huoneen ilmanvaihtokerroin on 0,6 1/h ja lämpötila on + 21°C. Ulkoilman lämpötila on + 5°C ja suhteellinen kosteus on 80 %. Mikä on sisäilman kosteuspitoisuus?

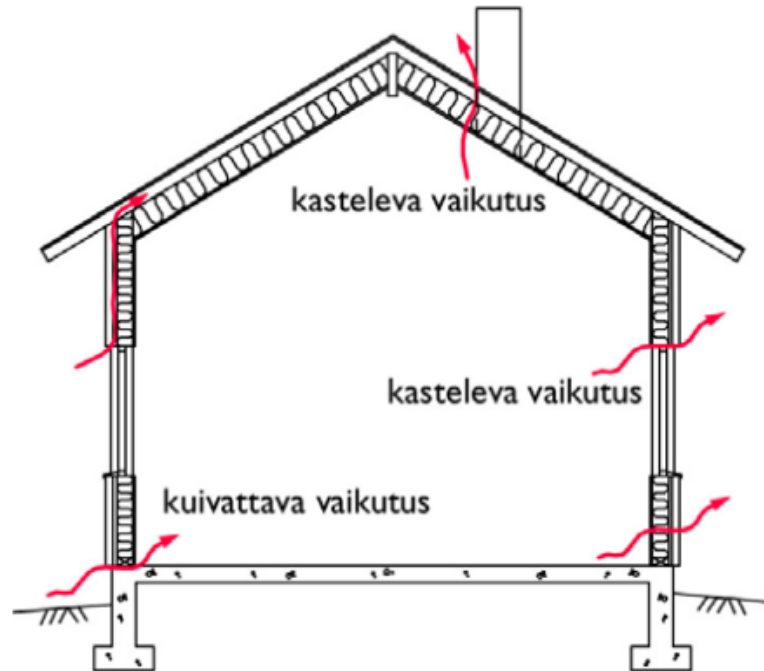
Ulkoilman kosteuspitoisuus on 5,5 g/m<sup>3</sup>. Kosteustuotto on noin 40 g/h (taulukko alla). Sijoittamalla lukuarvot kaavaan saadaan sisäilman kosteuspitoisuudeksi:

$$v_s = 5,5 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} + \frac{40 \text{ g/h}}{0,6 \text{ 1/h} * 25 \text{ m}^3} = 8,2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

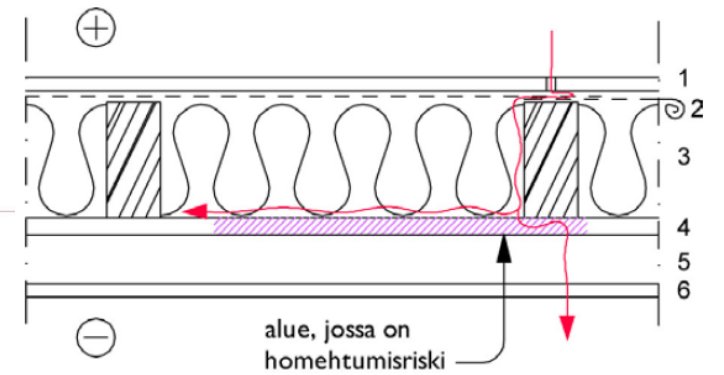
Kuva poistettu

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

Tilanne jossa sisällä on lämmin ja ulkona kylmempi. Ei toteudu välttämättä kesällä kaikissa olosuhteissa.



Kuva 5.26. Konvektion vaikutus rakenteiden kastumiseen ja kuivumiseen. Ilmavirtausten suunnat voivat tietyissä tilanteissa olla myös toisinpäin kuin kuvassa.



- 1 sisäverhous
- 2 höyrynsulku
- 3 lämmöneriste ja runko
- 4 tuulensuoja
- 5 tuuletusväli
- 6 ulkoverhous

Kuva 5.27. Esimerkki kosteuskonvektion aiheuttamasta kosteusvaurioriskistä puurunkoisessa seinärakenteessa, vaakaleikkaus. Rasteroidulla alueella on mikrobivaurioitumisriski. Ilman virtausreitti on osoitettu punaisilla nuolilla.

Taulukko 5.6. Rakenteen kosteusvaurion kannalta kriittiset lämpötilat eri sisäilman lämpötiloilla ja suhteellisilla kosteuksilla. Esimerkissä rakenteen kriittinen suhteellinen kosteus on 80 %.

Sisäilman suhteellinen kosteus [%]	Rakenteen kriittinen lämpötila °C	
	Sisäilman lämpötila + 20°C	Sisäilman lämpötila + 25°C
20	-1,6	+ 2,4
40	+ 8,6	+ 13,1
60	+15,2	+ 20,0

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

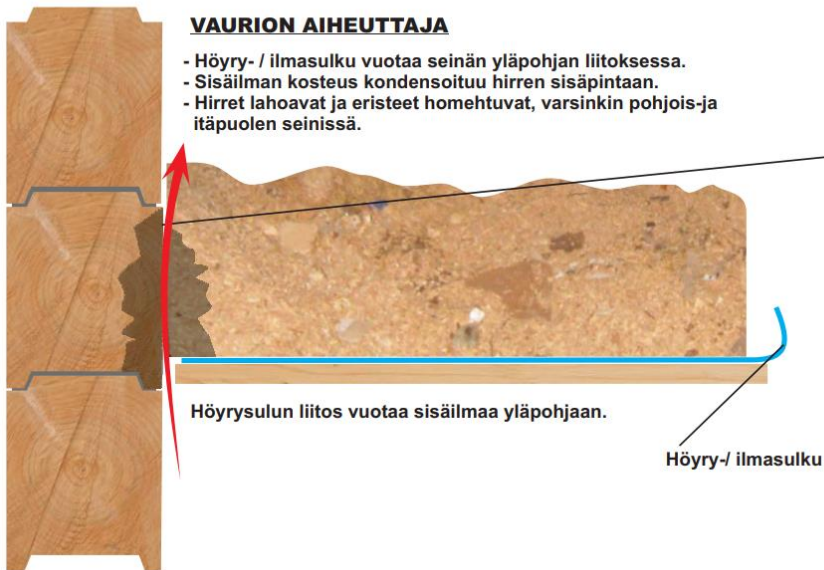
- Vesihöyryn diffuusio ja konvektio, esimerkki:

## VAURIOT

- Ulkoseinän hirret lahoaa, yläpohjan eristeet homehtuvat.

## VAURION AIHEUTTAJA

- Höyry- / ilmasulku vuotaa seinän yläpohjan liitoksessa.
- Sisäilman kosteus kondensoituu hirren sisäpintaan.
- Hirret lahoavat ja eristeet homehtuvat, varsinkin pohjois- ja itäpuolen seinissä.



Kondenssia tapahtuu myös uusissa hirsirakennuksissa, jos seinän ja yläpohjan liitoksessa on ilmavuoto (konvektiovirtaus).

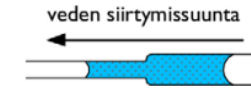


Sisäilma 70%RH T20°C  
Ulkoilma 95%RH T-15°C

Vuorokauden sisällä kehittyi kondenssia valuvaksi vedeksi asti. Niillä osilla missä ei ole pintaverhousta asennettu on kondenssi melko "runsasta".

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

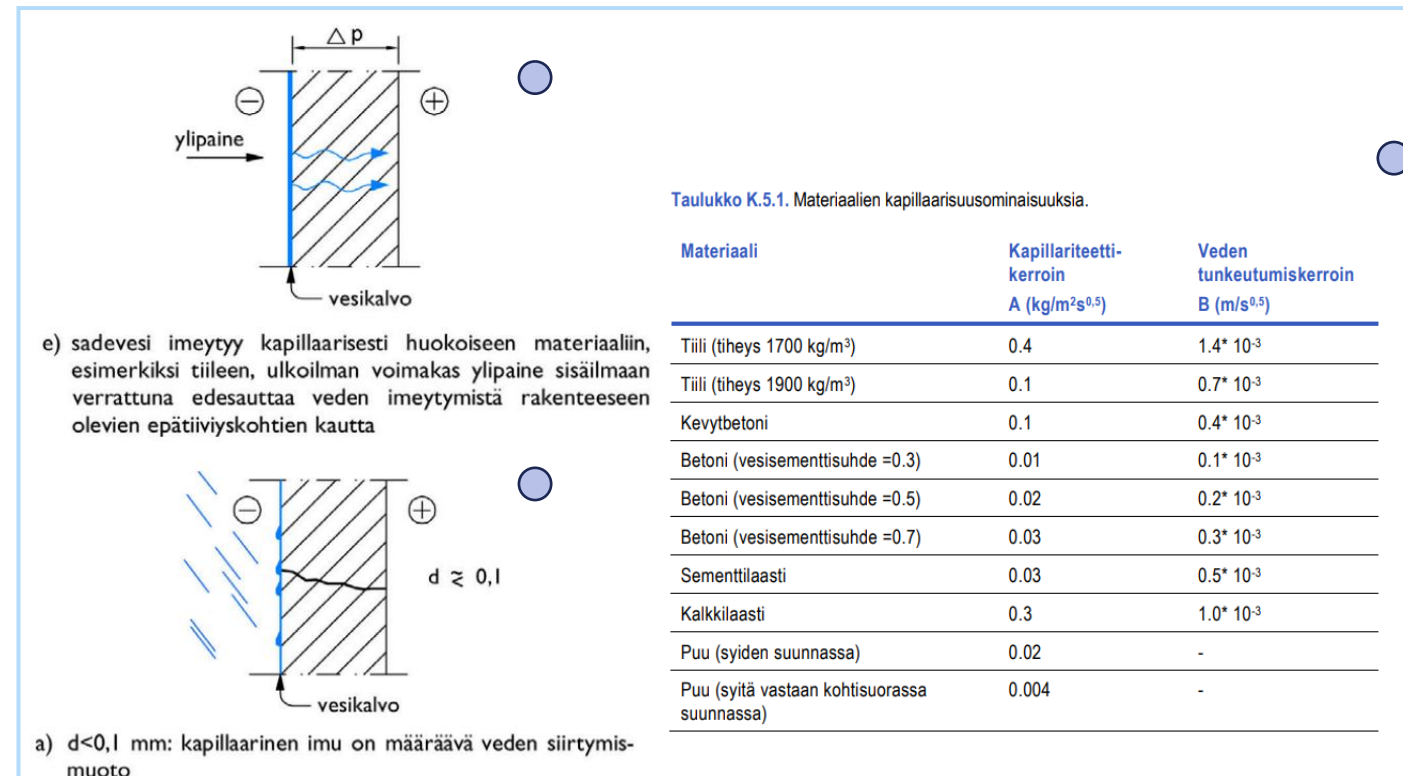
- Kapillaarinen veden siirtyminen
  - Vesi imeytyy kapillaarisesti huokoiseen materiaaliin, jos se on kosketuksissa vapaaseen veteen.
  - Esimerkiksi veden tunkeutumiseen 50 mm tiileen kuluu 21 min ja betoniin vastaavasti 35 h.
  - Yleensä suurempaa kuin konvektiolla siirtyminen



Kuva 5.20. Veden siirtyminen suuremmasta huokosesta pienempään huokoseen.

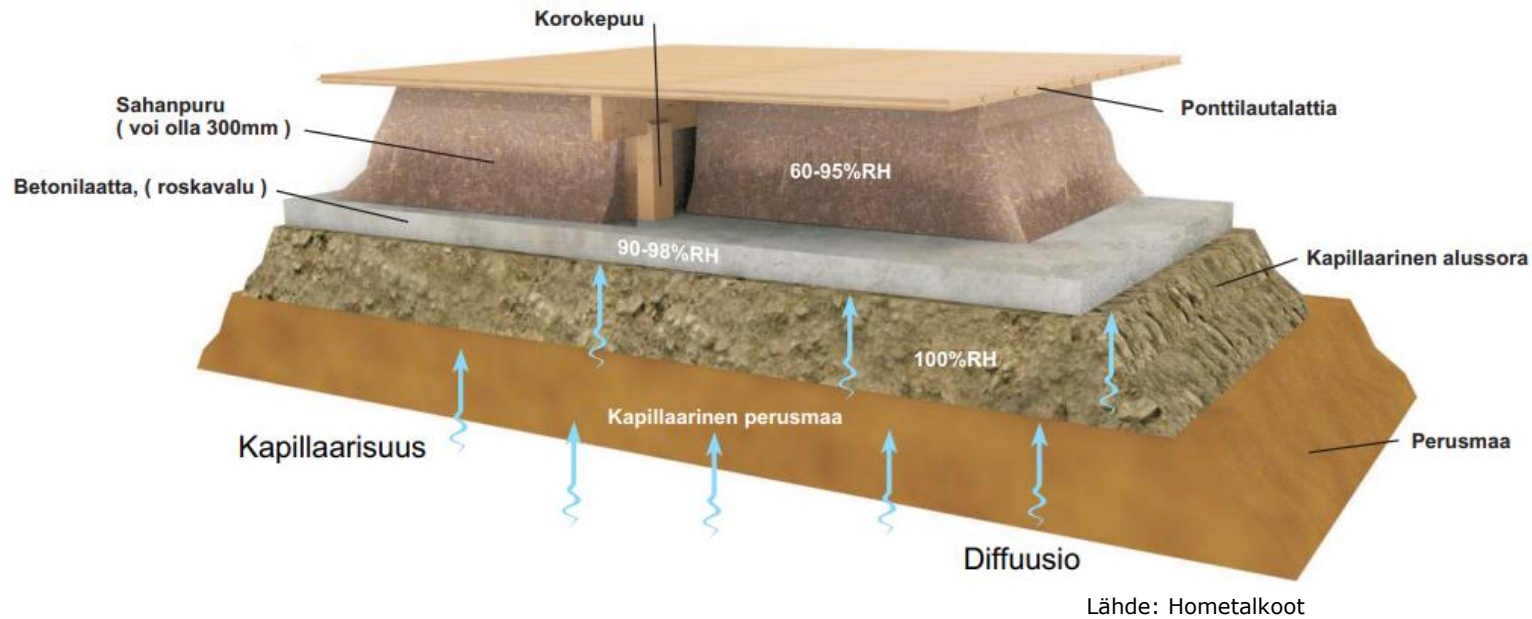


Kuva 5.19. Kapillaarinen maakosteuden nousu on johtanut tasoitteen ja maalin irtoamiseen väliseinän alaosasta. Kuva: J. Ahokas, Vahanan Oy.



# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

- Kapillaarinen veden siirtyminen, esimerkki:



Maali hilseilee, pinnat ja muovimaton tausta homehtuu

Lähde: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöministeriö

## • Painovoimainen veden siirtyminen

- Painovoiman vaikutuksesta vesi kulkeutuu alaspäin rakennuksen pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla sekä rakennuksen vierusmaan pinnalla. Jos veden poisjohtaminen ulospäin rakenteista ei toimi tai rakenteiden ulkopinnat eivät ole vesitiiviit, vesi voi kulkeutua rakenteiden sisään painovoimaisesti. Tämä lisää rakenteiden kosteusvaurioiden riskiä huomattavasti, sillä vesivuodoista rakenteisiin siirtyvät kosteusmäärät ovat suuria.
- Esimerkiksi 2 cm vedenpaineesta siirtyy rakenteeseen 1 cm<sup>2</sup> vuotoaukosta vettä noin 30–40 g/s (Viljanen K., 2012)
- Jos merkittävä epätiivyeys, niin kosteuden siirtyminen on yleensä suurempaa pienellä aikavälillä kuin kapillaarisesti siirtyminen

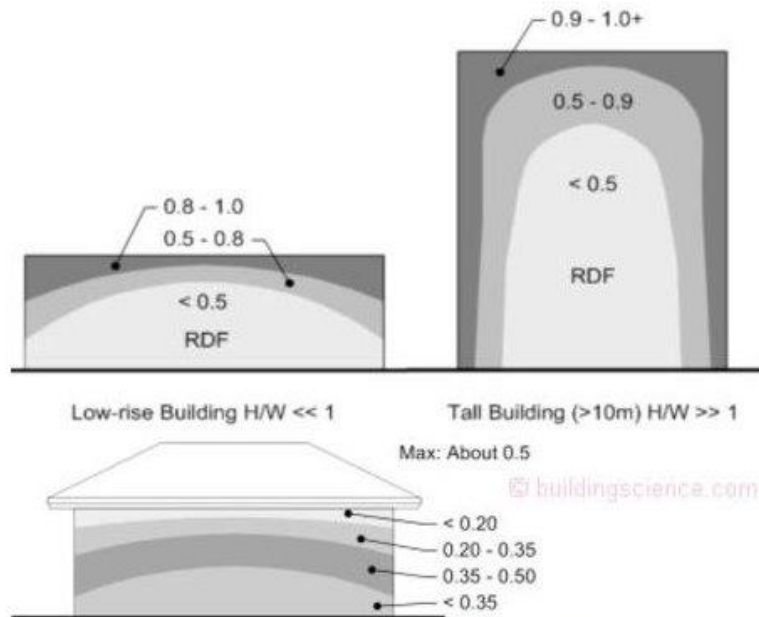


Figure 2: Rain deposition factor (RDF)

Lähde: RDH

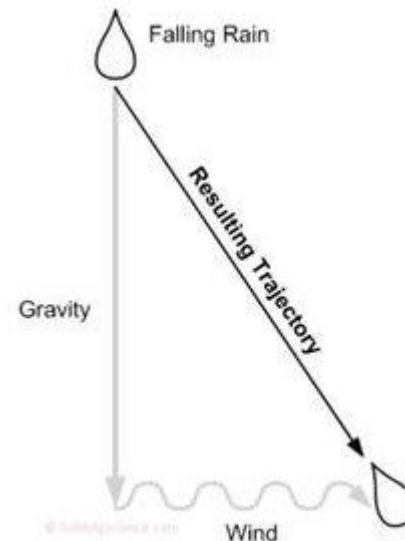
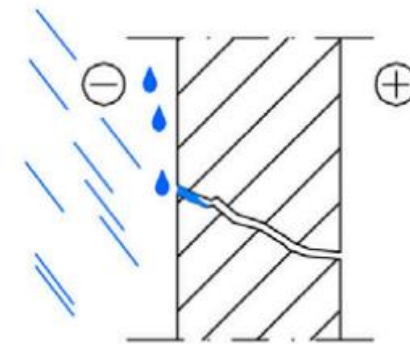


Figure 1

# Kosteusvauriotumiseen vaikuttavat fysikaalliset tekijät

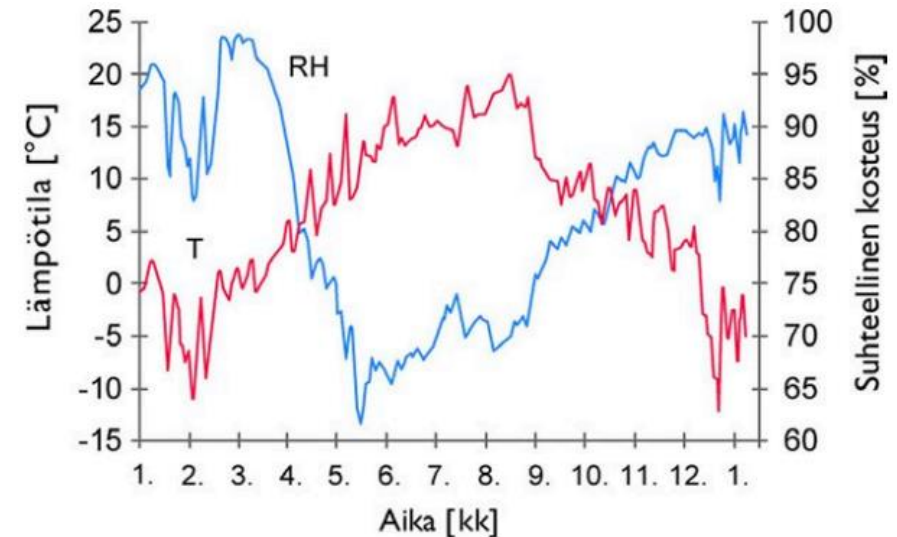
- Painovoimainen veden siirtyminen, esimerkki



- d) sadevesi siirtyy painovoiman vaikutuksesta alaspäin avoimeen halkeamaan tai saumaan

# Vuodenajan merkitys kosteuspitoisuuteen

Kuva poistettu



Kuva 2.4. Perusmuurin ja alapohjarakenteen liitoskohdan lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden mittausjaksolla. TKK, Talonrakennustekniikan laboratorio. Kuva: Ympäristöministeriö 1997a.

Lähde: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöministeriö

- Rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen reunaehtoina on ulko- ja sisäolosuhteet, kuten lämpötila, suhteellinen kosteus, tuuli ja auringon säteily. Esimerkiksi ulkolämpötilan ja suhteellisen kosteuden taso, muutokset ja muutosnopeus ovat erilaiset eri vuodenaikoina.
- Kuvan esimerkki osoittaa, kuinka suuret erot rakenteen olosuhteissa voi olla eri vuodenaikoina. Esimerkkitapauksessa suhteellinen kosteus vaihtelee kesän 62 %:sta talven 98 %:iin, mikä tulee ottaa huomioon lyhytaikaisten mittaustulosten analysoinnissa.

Materiaali ja  
homehtumisherakkyys

Homehtumisherakkyysluokka		Rakennusmateriaalit
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty, kuusi ja lehtipuut), höylätty mänty, koivuvaneri, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy, kartonkipintainen kipsilevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset bitumoidut/käsitellyt tuotteet ja kalvot, puupohjaiset liimatut levyt, havuvaneri, bitumoitu/käsitelty huokoinen kuitulevy
HHL3	Kohtalaisen kestävä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet, kuitusementtilevy, lasikuitupintainen kipsilevy
HHL4	Kestävä	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuojaineita sisältävät materiaalit

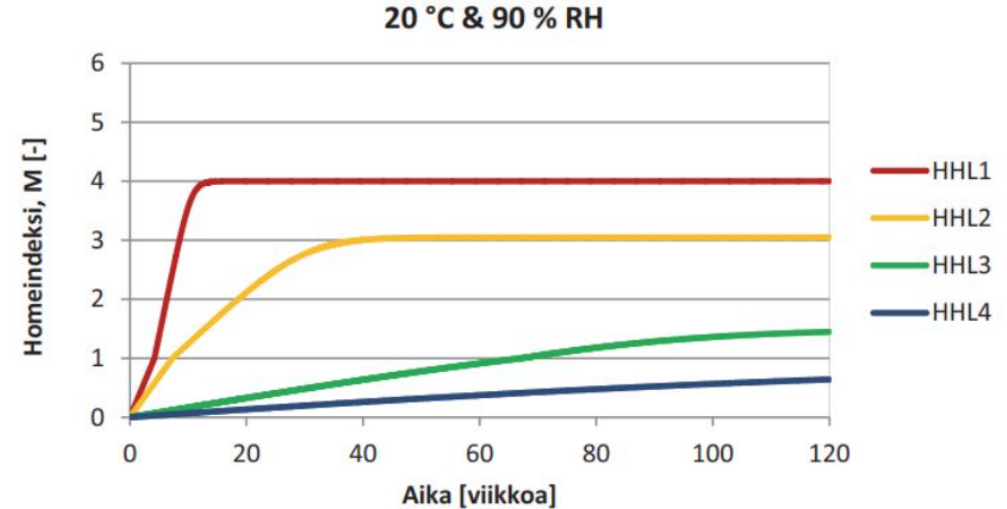
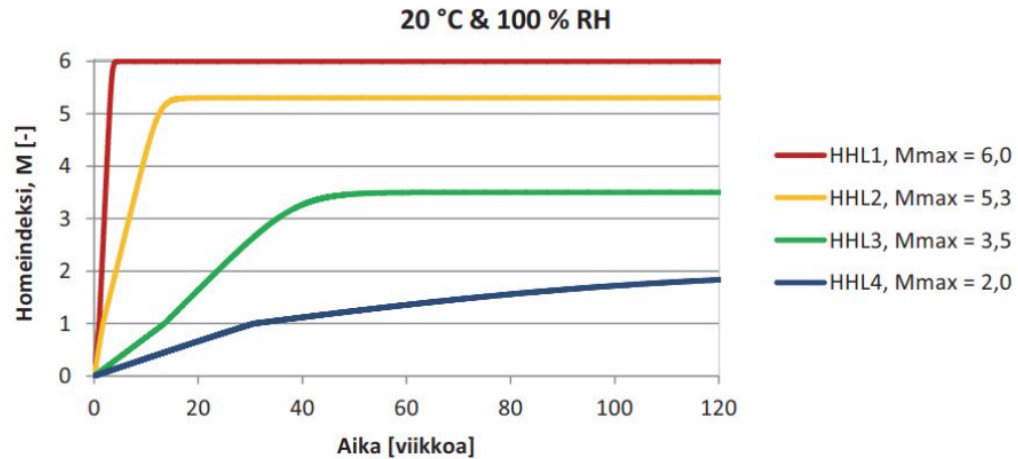
- Joidenkin yllä olevassa taulukossa esitettyjen materiaalien, kuten esim. erilaisten muovipohjaisten materiaalien ja tiilien kuulumista esitettyyn homehtumisherakkyysluokkaan ei ole varmistettu kokeiden avulla.
- Jotkut materiaalit voivat kuulua myös kahteen eri homehtumisherakkyysluokkaan, kuten kevytbetoni, jossa homehtuminen lähtee liikkeelle luokan HHL2 mukaan, mutta homehtuminen jää luokan HHL3 tasolle.

Taulukko rakennusmateriaalien jakautumisesta eri homehtumisherakkyysluokkiin. Tällä sivulla olevaa taulukkoa päivitetään materiaaleille tehtävien homehtumiskokeiden perusteella.



Lähde: Lisätietoja:  
<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>

# Ajan merkitys kosteusvaurioitumiseen



Homeindeksin kasvu vakio-olosuhteissa 20 degC ja 100 % RH.

Home- indeksi M	Havaittu homeenkasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla). Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut.
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmillä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

Suomalaisen homemallin homeindeksiluokitus.

Kuvia poistettu

Lähde: Lisätietoja:  
<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>

## Materiaali ja homehtumisherkkyyys

Taulukko 6.4. Rakennusmateriaalien jakautuminen eri homehtumisherkkyyssluokkiin (VTT-homeriskimalli).  
Taulukon aineisto: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011b.

Homehtumisherkkyyssluokka	Rakennusmateriaalit
HHL 1 hyvin herkkä	karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
HHL 2 herkkä	höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
HHL 3 kohtalaisen kestävä	mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
HHL 4 kestävä	lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Taulukko 6.5. Homehtumisriskin kannalta kriittinen kosteus eri materiaaleilla kolmen kuukauden tarkastelujaksolla.  
Taulukon aineisto: Johansson P., 2014.

Materiaali	Alin mikrobikasvun mahdollistava kosteus (RH)	
	Lämpötila + 22°C	Lämpötila +10°C
Puu (mänty)	75...79 %	85...90 %
Vaneri	75...79 %	75...85 %
Lastulevy	79...85 %	90...93 %
Ohut kovalevy	85...89 %	93...95 %
Märkätilan kipsilevy	89...95 %	> 95 %
Tuulensuojakipsilevy	89...95 %	> 95 %
Tervapaperi	89...95 %	> 95 %
Sementtipohjainen levy	> 95 %	> 95 %
Lasivilla	> 95 %	> 95 %
EPS-lämmöneriste	> 95 %	> 95 %

Kuvia poistettu

# Homesienten kasvuolosuhteet yhteenveto

Homesientien kasvu on mahdollista, kun materiaaleja välittömästi ympäröivän ilman (mikroilmaston) tai materiaalien huokosilman suhteellinen kosteus on

- **yli 75 - 80 % RH ja lämpötila 5 -50 °C, viikkoja - kuukausia**
- Sienille otollisissa oloissa, **RH yli 95 % ja lämpötila 20 - 40 °C**, homeet voivat kasvaa silmin nähtäviksi kasvustoiksi **muutamassa vuorokaudessa**.
- Alle 5 °C:n lämpötiloissa homesientien kasvu on mahdollista, kun materiaalien pinnan suhteellinen kosteus on jatkuvasti tai pitkäaikaisesti yli 90 - 95 % RH:a vastaava.
- Lyhytaikaiset, vuorokaudessa korkeintaan muutaman tunnin pituiset korkeat kosteusolot (RH 95 - 100 %) eivät lämpimissäkään tiloissa aiheuta homeongelmia, jos pitkäaikainen materiaalin kosteustaso on alle 70 - 75 % RH ja materiaalit pääsevät välillä kuivumaan.
- Pintaan kertynyt orgaaninen lika herkistää pinnan homekasvulle (RH yli 75 %)

Taulukko S.3.1. Ohjeelliset arvot materiaalin kosteuspitoisuuden, lämpötilan ja ajan merkityksestä rakenteen homehtumisriskiin (Ympäristöopas 2016, 151)

Rakennusosa	Homehtumisriski <sup>1)</sup>		
	RH 70...80 % <sup>2)</sup>	RH 80...90 %	RH > 90 % ja kapillaarialue
Rakennuksen ulkovaipan sisäosat, väliseinät ja välipohjat	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy vuositasolla lähinnä lyhyinä jaksoina	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina <sup>3)</sup>	Rakenne on pääsääntöisesti korjattava, ellei kosteuspitoisuus esiinny vain lyhyinä jaksoina esim. kosteiden tilojen sisäpinnoilla. <sup>4) 5)</sup>
Rakennuksen ulkovaipan ulko-osat	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy vuositasolla lyhyinä jaksoina tai pidempiaikaisesti vuoden kylmimpänä aikana	Vähäinen, jos kosteusrasitus esiintyy lyhyinä jaksoina tai kylminä vuodenaikoina <sup>3)</sup>	Rakenne on pääsääntöisesti korjattava, jos kosteuspitoisuudet esiintyvät pitkinä jaksoina, ellei rakenteen lämpötila ole samanaikaisesti alle 0 °C. <sup>3)</sup>
Rakennuksen maakosketuksessa olevat perustus-rakenteet (kiviaines pohjaiset materiaalit, solumuovit, solulasit yms.)	Rakenteen toimivuutta/vaurioitumista ei arvioida suhteellisen kosteuden mukaan. Sen sijaan on arvioitava onko kosteudesta haittaa niille materiaaleille, jotka ovat kosketuksissa ko. rakenteeseen, siirtykö kosteus ko. rakenteesta sisäänpäin sekä arvioitava tapahtuuko maanvastaisen rakenteen kautta ilmavuoja sisätiloihin.		
Rakennuksen kapillaarikatko-kerros, alustäyttö ja maapohja	Rakennusosassa esiintyy yleisesti home- ja mikrobikasvua, joten homehtumisriskin arviointi ei ole tarkoituksenmukaista. <sup>6)</sup>		

<sup>1)</sup> Joissain tapauksissa voi olla tarpeen arvioida rakenteessa vallitsevan kosteustason lisäksi tarkastelu-pisteessä olevan, mikrobien ravintona toimivan orgaanisen aineksen määrää.

<sup>2)</sup> Materiaalin kosteuspitoisuudessa RH ≤ 75 % homehtumisriski on vain hyvin herkällä materiaaleilla, yli 20 °C lämpötilassa kosteusrasituksen esiintyessä tasaisena useiden kuukausien ajan. Vertaa luku 6, kuva 6.5 ja taulukko 6.5.

<sup>3)</sup> Edellyttää kokonaistilanteen huomioimista perustuen yleensä kokemusperäiseen tietoon rakenteen toiminnasta.

<sup>4)</sup> Vesivuototapauksissa korjaukselta voidaan joissain tapauksissa välttyä, jos rakenne kuivatetaan riittävän nopeasti.

<sup>5)</sup> Lukuun ottamatta poikkeustapauksia, joissa kosteuspitoisuus voi olla >90 % tai kapillaarialueella pitkiä aikoja. Näitä ovat mm. märkätilan vedeneristeen päällä olevat rakenteet eli laatan kiinnitys-laasti, saumalaasti ja keraaminen laatta, märkätilan bitumivedeneristeen päällä oleva betoninen pintalaatta sekä huoneistojen välinen märkätilan betoniseinä, jossa on suihkutila seinän molemmilla puolin.

<sup>6)</sup> Maaperässä oletetaan olevan suunnittelun lähtökohtana huokosilman suhteellinen kosteus 100 %, mutta kosteus voi olla ajoittain jopa kapillaarialueella. Alapohjarakenteen toimivuutta ei voida arvioida pelkästään rakenteiden alapuolisen kosteustason perusteella.

# Homesienten kasvuolosuhteet yhteenveto

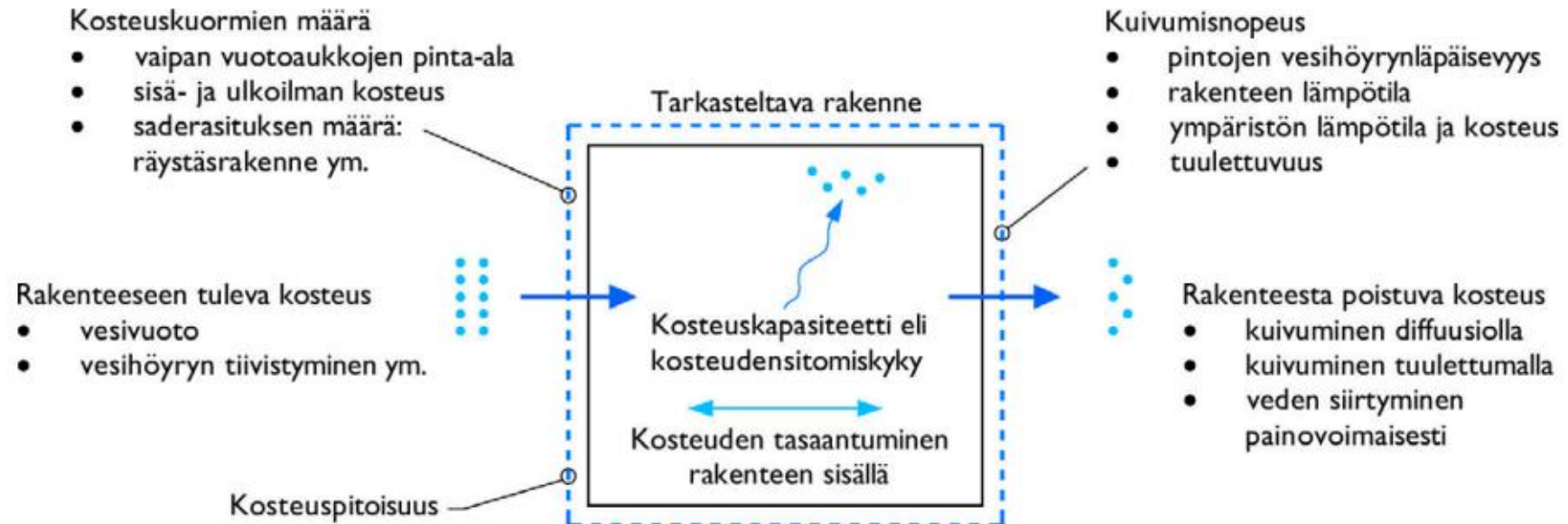
- Rakenteeseen menee ja rakenteesta poistuu kosteutta
  - Oleellista on kuinka paljon menee ja kuinka paljon poistuu
- Materiaalin kosteudenkesto

- Veden imeytyminen ja hygroskooppisuus (ja pinnan huokoisuus)
- Pintakäsittelyt
- Ravinnekoostumus
  - Homeen tarvitsemat ravinteet: sokerit, proteiinit edistävät homeen kasvua, puun uuteaineet voivat hidastaa kasvua
  - Pintaan kertynyt orgaaninen aines herkistää homeen kasvuille

- Kosteusrasitus aika vaikuttaa vaurioitumiseen
- Lämpötila vaikuttaa vaurioitumiseen

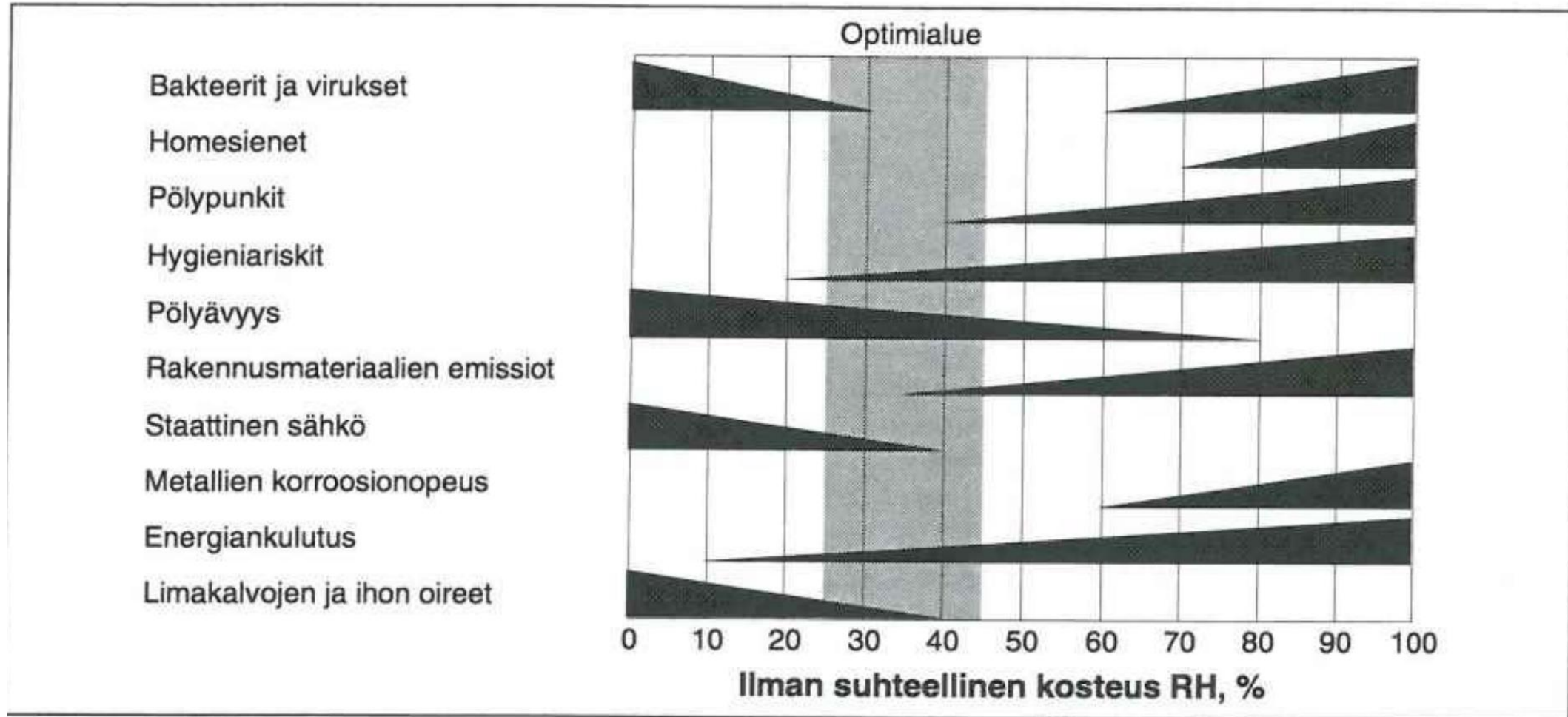
## Esimerkkejä:

- Puu voi kosteusvaurioitua yli 75% (RH) kosteudessa, mutta ominaisuuksiltaan pystyy sitomaan hyvin kosteutta
- Mineraalivilla kosteusvaurioituu yli 98% (RH), mutta ei pysty sitomaan kosteutta



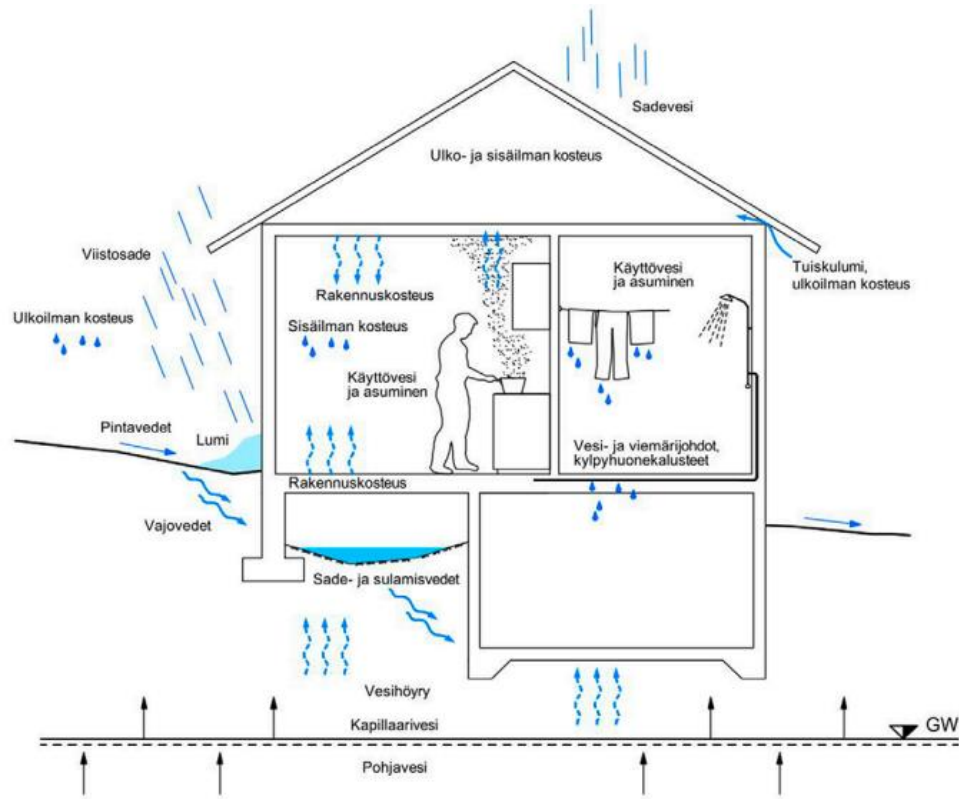
Lähde: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöministeriö

# Homesienten kasvuolosuhteet yhteenveto

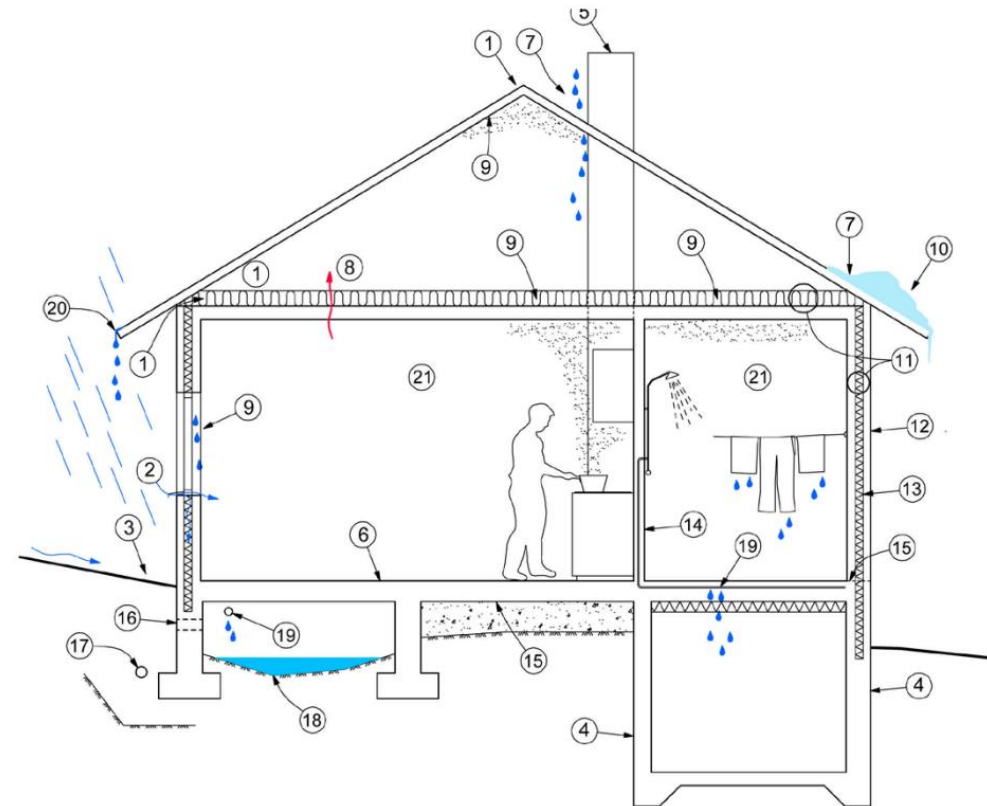


Lähde: Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus

# Kosteuslähteet ja vaurioitumismekanismit



Kuva 5.8. Rakennuksen yleisimmät sisä- ja ulkopuoliset kosteuslähteet.



- |  |   |
|--|---|
| 1 Yläpohjan puutteellinen tuuletus             | 12 Julkisivun vuodot                                |
| 2 Ikkunavuodot                                 | 13 Julkisivun tuuletuksen puutteet                  |
| 3 Virheellinen maan muotoilu                   | 14 Märkätilan puutteellinen vedeneristys            |
| 4 Puutteellinen vedeneristys                   | 15 Kapillaarikatkon puuttuminen                     |
| 5 Suojaamaton savupiippu/horni                 | 16 Ryömintätilan tuuletuspuutteet                   |
| 6 Liian kostean rakenteen pinnoitus            | 17 Puutteellinen salaajitus                         |
| 7 Kattovuodot                                  | 18 Virheellinen maan muotoilu, sorastuksen puutteet |
| 8 Ilmavuodot                                   | 19 Putkivuodot                                      |
| 9 Kondenssi                                    | 20 Sadevedenohjauksen puutteet                      |
| 10 Lämpövuotojen aiheuttamat jääpadot          | 21 Kosteustuottoon nähden riittämätön ilmanvaihto   |
| 11 Höyrysulun ja/tai lämmöneristeiden puutteet |   |

Kuva 7.8. Yleisimmät kosteusvaurioita aiheuttavat rakenteiden puutteet.

Maanvastaisissa rakenteissa on Suomen talokannassa eniten kosteusvaurioita

Roti 2023 ja 2021

Rafnet 2020 -oppimateriaalin teoriaosan osio K (Kosteus)

Suomalainen homamalli -tuotettu aineisto

Hannu Viitalan aineisto

Ralf Lindbergin aineisto

Hometalkoot tuotettu aineisto

Terveet tilat 2028 tuotettu aineisto

Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöministeriö (useita kuvia)

Torikka, K., Hyyppöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R. 1999. Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Johansson P., 2014. Determination of the Critical Moisture Level for Mould Growth on Building Materials. Rapport TVBH-1020 Lund. Väitöskirja. Lundin Yliopisto, Rakennusfysiikan osasto. Lund, Ruotsi

RDH (N.D.) <https://www.rdh.com/resource/using-overhangs-to-reduce-building-facade-exposure-to-rain/>



**SAVONIA**  
AMMATTIKORKEAKOULU

Kiitos mielenkiinnosta

Niko Tolvanen  
niko.tolvanen@savonia.fi  
Savonia amk

[www.savonia.fi](http://www.savonia.fi)