



## RAKENNUSTIETO >

# Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> [rakennustieto.fi/rk/palvelut](https://rakennustieto.fi/rk/palvelut)

### Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

# Rakennusmateriaalien käyttäytyminen ja maanvastaiset rakenteet

Ralf Lindberg, tekniikan tohtori  
Professori, Tampereen teknillinen yliopisto  
ralf.lindberg@tut.fi

2

Artikkelissa käsitellään rakennusmateriaalien rakennusfysikaalista käyttäytymistä ja maata vasten tehtyjen rakenteiden, lähinnä alapohjien toimintaa. Mukana on useita esimerkkejä, joissa on käytetty materiaaliominaisuuksia ja olosuhdereunaehtoja, joiden arvot ja perustelut on esitetty kirjoittajan aiemmissa Rakentajain kalenterin artikkeleissa. Näiltä osin lukijan toivotaan tutustuvan vuoden 2003 kalenterin lukuun ”Rakennusfysiikkaan liittyviä kysymyksiä”, ss. 479...483 ja vuoden 2004 kalenterin lukuun ”Rakennusosien rakennusfysikaalinen toiminta”, ss. 425...434.

## Rakennusmateriaalien kosteuskäyttäytyminen

Rakennusmateriaalit sisältävät sekä kosteutta että vettä. Kosteus on vesihöyrynä materiaalin huokosissa tai ilmatilassa ja vesi on nesteenä huokosten tai materiaalipartikkelien pinoilla. Suomalaisessa ilmastossa on ominaista, että kriittisenä vuodenaikana talvella materiaalin vesi tai ainakin osa siitä jäätyy.

Kosteus liikkuu diffuusiolla materiaalissa alemman vesihöyrynpitoisuuden suuntaan. Tällöin huokosrakenne ei tyypillisesti voi olla kovin täynnä vettä. Tätä käyttäytymistä kutsutaan hygroskooppiseksi tai tasapainokosteuskäyttäytymiseksi.

Vesi liikkuu kapillaarisesti pintajännityksen johdosta. Läheskään kaikissa materiaaleissa ei tapahdu kapillaarista veden liikettä. Maaperä on yksi keskeinen rakentamiseen liittyvä rakenteen osa, jossa kapillaarisuudella on tärkeä merkitys. Kapillaarinen veden siirtyminen tapahtuu yleensä, kun materiaalin vesimäärä on suuri.

Oleellista on, että useilla materiaaleilla, kuten esimerkiksi betonilla, kapillaarisesti siirtyvän veden vauhti on yleensä suuri verrattuna diffusiovauhtiin.

Materiaali voi kastua useista syistä. Sinne voi jäädä vettä rakennusaikana. Vesi voi joutua materiaaliin vesivahingon seurauksena. Hyvin tyypillisesti kastuminen tapahtuu silloin, kun ra-

kennusmateriaali on syystä tai toisesta kosketuksessa veteen. Huonosti toimiva salaajitus voi vaikuttaa. Usein myös rakennuksen ympäristö voi olla sellainen, että sulamisvesiä tai ankanan sateen jälkeen vettä joutuu rakennuksen alle kastellen perustuksia ja perusmuureja.

Rakenteet voivat kuivua ainoastaan haihtamalla ympäröivään ilmatilaan. Haihtumista puolestaan voi tapahtua vain siinä tapauksessa, että ympäröivän ilmatilan kosteussisältö on pienempi kuin materiaalin huokosten kosteussisältö rakenteen pinnalla. Jos kosteuspitoisuudet ovat yhtä suuret, haihtuminen pysähtyy ja vastaavasti, jos ilman kosteussisältö on suurempi kuin materiaalin, tapahtuu tiivistymistä ilmasta materiaaliin.

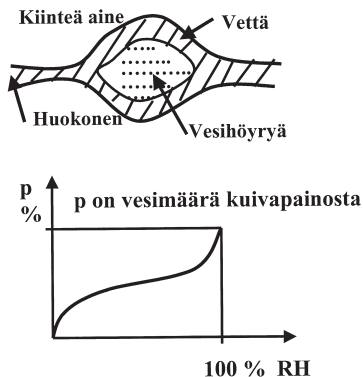
Oleellista on, että haihtuminen voi tavallisissa rakennusmateriaaleissa edullisissa olosuhteissa olla paljon nopeampaa kuin muut veden ja kosteuden siirtymismuodot. Tämä merkitsee, että materiaalit todella voivat kuivua tilapäisen kastumisen seurauksena. Toisaalta rakenteet voivat olla sellaisissa ympäristöolosuhteissa, joissa kuivumismahdollisuutta ei ole haihtumisen pysähdettyä. Tällainen tilanne voi kehittyä todelliseksi ongelmaksi mikrobikasvuston myötä, jos terveyshaittaa aiheuttavat itiöt tai mikrobian aineenvaihduntatuotteet pääsevät rakennuksen sisätilaan.

Nykytiedon perusteella tiedämme, että mm. kärkearakeiset maaperät ja myös täytötkerrokset ovat sellaisissa olosuhteissa, että niiden kuivuminen on käytännössä niin hidasta, että aika ajoin toistuva veden kulkeminen alustassa pitää ne jatkuvasti kosteana. Samalla myös rakenteen osat, jotka ovat kosketuksessa maaperään, ovat kosteita. Tätä ilmiötä on viime vuosina pidetty usein kosteusongelmana, mutta se on kuitenkin usein esiintyvä tilanne lähes kaikissa rakennuksissa. Rakenteiden tulee toimia siten, että tästä kosteudesta ei aiheudu haitallisia seurauksia rakennuksen käyttäjille.

Seuraavassa tarkastellaan rakennusmateriaalien kosteuskäyttäytymistä ja edellä kuvattuja ilmiöitä erilaisten rakenneratkaisujen yhteydessä.

## Rakennusmateriaalien hygroskooppinen käyttäytyminen

Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva materiaalista ja siihen kiinteästi liittyvästä huokosrakenteesta. Huokosissa on ilmaa, ilmassa mm. vesihöyryä ja huokosen rajapinnalla vesikerros. Kuvan alaosassa on esitetty vesimäärän ja huokosilman vesihöyrypitoisuuden välinen yhteys. Tärkein tieto on, että vesimäärää säätelevä tärkein ominaisuus on huokosilman suhteellinen kosteus eli RH.



Kuva 1. Rakennusmateriaalien hygroskooppisen käyttäytyminen.

Kaikissa materiaaleissa on tunnistettavissa nk. kiintoilavuus tai materiaalin kiintoaineksen, jossa ei voi olla huokosia. Kaikilla materiaaleilla sisältyy kokonaistilavuuteen myös huokosia.

Esimerkiksi kuivan betonin tiheys on noin  $2200 \text{ kg/m}^3$ . Betonin keskeiset osa-aineet ovat kiviaines ja hydratoitunut sementti. Kiviaineksen tiheys on noin  $2700 \text{ kg/m}^3$  ja kovettuneen sementin tiheys noin  $3100 \text{ kg/m}^3$ . Kiviaineksen ja kovettuneen sementin suhteelliset osuudet ovat tavanomaisessa betonissa sellaiset, että lopputuloksen kiintoaineksen tiheys on noin  $2800 \text{ kg/m}^3$ . Tästä voidaan päätellä, että yhdessä kuutiometrissä betonia on kiintoainetta  $790 \text{ l}$  ( $2200/2800 \approx 0,79$ ) ja vastaavasti huokosia noin  $210 \text{ l}$ . Tämä huokostilavuudessa on sekä vesihöyryä että vettä.

Mineraalivillan kuivatiheys on noin  $50 \text{ kg/m}^3$ . Mineraalivillan raaka-aineen tiheys on luokkaa  $2700 \text{ kg/m}^3$  (kivestä valmistettujen). Tästä seuraa että kiintoainetta on noin  $20 \text{ l}$  ( $50/2700 \approx$

$0,02$ ) ja ilmatilaa  $980 \text{ l}$ . Tässä ilmatilassa on vesihöyryä ja myös vettä. Mineraalivillassa ei ole kuvan 1 mukaista huokosmuotoa, vaan kuidut ja niiden kosketuskohdat muodostavat pinnan, johon vesi kiinnittyy.

Hygroskooppisella alueella huokosten vesimäärän ja huokosilman vesihöyrynpitoisuuden välillä on yhteys. Se on karkeasti kuvattu kuvan 1 alaosassa. Vesimäärä tulisi aina ilmoittaa joko painoprosentteina kuivapainosta tai yksiköissä  $\text{l/m}^3$ . Tällöin on mahdollista riittävällä tarkkuudella arvioida materiaalin sisältämää vesimäärää.

Vaaka-akselilla on suhteellinen kosteus RH. Se on tärkein kriteeri, joka vaikuttaa vesimäärään. Kostuessaan materiaalin vesimäärä on pienempi kuin kuivussa, jolla ilmiöllä on myös joidenkin materiaalien tapauksessa merkitystä. Ilman vesihöyryn absoluuttinen määrä ei siis vaikuta vaan ilman suhteellinen kosteus. Tämä on erittäin tärkeä materiaalin toiminnan lähtökohta.

Esimerkiksi talvella ulkoilman vesihöyrynpitoisuus on pieni (n.  $2 \text{ g/m}^3$ ), mutta suhteellinen kosteus suuri (n.  $90 \%$  eli  $2/2,2 \text{ g/m}^3$ ). Sisällä kosteusmäärä on käytöstä tulevan kosteuslisän vuoksi suurempi (n.  $5 \text{ g/m}^3$ ), mutta suhteellinen kosteus pieni (n.  $30 \%$  eli  $5/17 \text{ g/m}^3$ ). Hygroskooppisella alueella olevassa puussa talvella on enemmän vettä puun ollessa ulkona. Tämä tiedetään siitä, että kylmän rakennuksen ikkunat ja ovet turpoavat talvella.

Kun  $\text{RH} = 0 \%$  (täysin kuivaa), materiaali kuivuu lopulta täysin. Vastaavasti RH:n ollessa  $100 \%$  materiaali saavuttaa hygroskooppisen tasapainokosteutensa ylärajan. Käyrän yläosa on epämääräinen siksi, että vesimäärän kasvaessa vesi alkaa liikkua myös kapillaarisesti. Tämän vuoksi vesihöyrynpitoisuuden ja vesimäärän välinen yhteys on vaikea hallita tällä alueella. Toisaalta rakennusmateriaalien tulee pääsääntöisesti olla olosuhteissa, jotka ovat selvästi alle kyllästystilan ( $\text{RH} = 100 \%$ ).

Esimerkiksi betonin huokostilavuus on noin  $200 \text{ l/m}^3$ , kuten edellä laskettiin. Tasapainokosteuden ylärajan mukainen vesimäärä on noin  $100 \text{ l/m}^3$ . Osa lopusta huokosista ( $100 \text{ l/m}^3$ ) voi täytyä kapillaarisesti. Osa huokosista jää aina täyttymättä kapillaarivoimien avulla. Tämän loppuosan täyttymisen vedellä on joidenkin materiaalien kohdalla erittäin vaikeaa (mm. betonin). Toiset materiaalit puolestaan voidaan kas-tella koko huokos- tai ilmatilavuudeltaan hel-posti (mm. Mineraalivilla).

## Materiaalien kapillaarinen käyttäytyminen

Kapillaarisuuden taustalla ovat fysikaaliset ilmiöt nesteen koheesio ja rajapinnan adheesio, joista seuraa pintajännitys, joka tavanomaisessa veden ja rakennusmateriaalin tapauksessa saa aikaan nestepinnan kohoamisen. Fysiikassa ilmiö on eräänlainen luonnonlaki mm. pyöreän ohuen lasiputken ja veden välillä.

Rakennusmateriaalien huokosrakenne on varsin epäsäännöllinen eikä perusfysiikan mukainen käyttäytymistä voida todeta. Sen sijaan kokemuksesta tiedetään, että eräät rakennusmateriaalit ja maalajit kykenevät nostamaan vettä vesipinnasta. Tätä kutsutaan kapillaarisuudeksi ja sitä testataan yksinkertaisimmillaan kuvan 2 mukaisella testillä.

Kuvassa 2 vasemmalla ylhäällä on kuvattu testi. Siinä tutkittavaa materiaalia on sijoitettu lasiputkeen, jonka alaosan ja vedenpinnan alapuolella. Kapillaarisessa materiaalissa vesi alkaa nousta ja saavuttaa ajan hetkellä  $t$  korkeuden  $x$ . Materiaalin veteen aiheuttama noste ja nousseen vesimäärän paino ovat lopulta tasapainossa, joka samalla on kyseisen materiaalin kapillaarinen nousukorkeus. Esimerkiksi pohjaveden pinta ei siten nouse kapillaarisuuden vuoksi ylöspäin, ainoastaan vettä nousee ja nousukorkeuden ylätasolla on vettä hyvin vähän.

Jos piirretään kuvan 2 oikeassa reunassa oleva kuvaaja eli sijoitetaan pystyakselille aika ja vaakakselille nousukorkeus, voidaan todeta, että nousukorkeus saavuttaa jollakin ajan hetkellä maksimiarvonsa eikä tämän jälkeen enää kasva. Tällainen kuvaaja on selkeästi valitussa koordinaatistossa lähellä paraabelia. Sitä voi-

daan kuvata kaavalla:  $t = m \cdot x^2$ , jossa  $m$  on kerroin, joka muuttaa paraabelin muotoa. Eri materiaalit käyttäytyvät eri tavoin, joten tarvitaan kerroin. Tätä kutsutaan kapillaarivastuskertoimeksi ja sen yksikön tulee olla  $[m] = 1s/m^2$ , jotta kaavasta tulisi vastaukseksi ajan yksikkö. Veden nousua on kokeen aikana helppo seurata ja tulos voidaan ilmoittaa koetuloksiin parhaalla tavalla sopivana paraabelina.

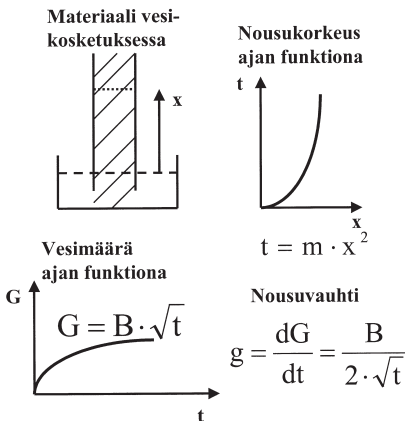
Kokeessa on helppo arvioida myös materiaaliin imeytyvää vesimäärää  $G$  esimerkiksi lasiputken poikkileikkausalaa kohden yksiköissä  $kg/m^2$ . Vesimäärän imeytyminen pysähtyy lopulta ja piirretessä yhteys koordinaatistoon, jossa pystyakselilla on imeytynyt vesimäärä ja vaakakselilla aika, havaitaan, että yhteys on nytkin lähellä paraabelia. Se avautuu tällä kertaa vaakakselin suuntaan. Lopputuloksena on kaava:  $G = B \cdot \sqrt{t}$ , jossa  $B$  on kerroin, joka kertoo paraabelin muodon ja samalla eri materiaalien erilaisen käyttäytymisen. Kerrointa  $B$  kutsutaan kapillaariteettikertoimeksi ja sen yksikön on oltava  $[B] = 1kg/m^2/\sqrt{s}$ , jotta vastaukseksi saadaan oikea laatu.

Vesimäärän  $G$  sijasta usein on parempi arvioida millä vauhdilla vettä tiettyä ajanhetkenä imeytyy kapillaarisesti materiaaliin. Se saadaan derivaamalla  $G$ :n kaava ajan suhteen, tulokseksi saadaan:  $g = B/2/\sqrt{t}$ .

Erilaiset maalajit ovat kapillaarisesti käyttäytyviä. Kapillaarista veden liikettä tapahtuu myös vaakasuuntaan eikä ainoastaan vedenpinnasta maan vetovoimaa vastaan. Tätä voidaan pitää selityksenä sille, että rakennusten alla maaperä on lähes aina kyllästetyllä. Rakennuksen ulkopuolella sulamisvedet yms. eivät kulkeudu suoraan salaojiin ja sitä kautta pois rakennuksen ympäriltä. Nämä vajovedet imeytyvät myös vaakasuuntaan ja voivat vähäisessä määrin kostuttaa myös rakennuksen alla olevia maakerroksia.

Lähteessä [1] on annettu eräiden kapillaarisesti käyttäytyvien rakennusmateriaalien kerroimien  $m$  ja  $B$  arvoja. Ne ovat vain suuntaa antavia ja ymmärrettävästi vaihtelua on paljon. Taulukko 1 on lainaus lähteestä ja kertoo mm. ne materiaalit, joita pidetään kapillaarisina. Lisäksi taulukon avulla voidaan karkeasti arvioida veden imeytymisvauhteja erilaisissa tapauksissa. Luonnollisesti vesi kulkeutuu sitä suuremmalla vauhdilla, mitä märempää materiaali on.

Puu ja puupohjaiset materiaalit käyttäytyvät myös kapillaarisesti. Rakentamisen yksi peruslähtökohta on estää puumateriaalin juutuminen kosketuksiin veden kanssa mm. perustusrakenteissa. Seinärakenteissa käytetään nykyisin ratkaisuja, jotka mahdollistavat kondenssin. Siksi puupohjaisten materiaalien kondenssikäyttäytymisestä tulisi olla nykyistä enemmän tietoa.



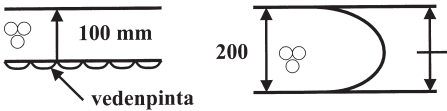
Kuva 2. Kapillaarisuus rakennusmateriaalissa.

Taulukko 1. Rakennusmateriaalien kapillaariseen käyttäytymiseen liittyviä kertoimia.

Rakennusmateriaali	Kapillaarivastuskerroin $m/s \cdot 10^6$	Kapillariteettikerroin B $kg/m^2/\sqrt{s}$	
Punatiili $1700 kg/m^3$	0,5	0,37	
Kalkkihiekkakivi $1800 kg/m^3$	1,6	0,18	
Kevytbetoni $700 kg/m^3$	2,0	0,10	
Betoni		$B_{max}$	B (RH=90 %)
K20 (W/C $\approx 0,8$ )	6	0,050	0,021
K25 (W/C $\approx 0,7$ )	17	0,028	0,012
K30 (W/C $\approx 0,6$ )	31	0,019	0,007
K40 (W/C $\approx 0,5$ )	48	0,013	0,005

Seuraavaksi lasketaan yksinkertainen esimerkki betonilaatan kapillaarisesta käyttäytymisestä.

Kuvan 3 mukainen 100 mm paksu betonilaatta on alapinnastaan vedessä. Vesi imeytyy laatan läpi ja jos haihtumista pinnasta voi tapahtua, vettä kulkeutuu kapillaarisesti tasaisella vauhdilla laatan läpi. Tapaus on samankaltainen kuin viereisessä 200 mm paksussa laatussa, kun sen sisäosissa on vielä kapillaarista vettä. Tämä vesilähde loppuu, kun kapillaarinen vesi on kulkeutunut pois laatan keskeltä.



Kuva 3. Esimerkki betonilaatan kapillaarisesta veden kulkuvauhdistista.

Vesi olottuu yläpintaan ajassa:

$$t = m \cdot x^2 = 17 \cdot 10^6 \cdot 0,1^2 \approx 170000s \approx 47h.$$

Vesi siis kulkeutuu betonilaatassa 100 mm matkan noin kahdessa vuorokaudessa, kun betonin lujuusluokaksi on otaksuttu K25.

Veden imeytymisvauhti ajan hetkellä  $t = 47 h$  saadaan seuraavasti:

$$g = \frac{B}{2 \cdot \sqrt{t}} = \frac{0,028}{2 \cdot \sqrt{170000}} \approx 3,4 \cdot 10^5 \frac{kg}{m^2 \cdot s} \approx 120 \frac{g}{m^2 \cdot h}$$

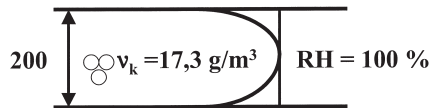
Tuloksen suuruusluokka on tärkeä. Vauhti on hyvin paljon suurempi kuin diffuusio betonissa, kuten seuraavassa esimerkissä osoitetaan.

### Rakennusmateriaalien diffuusioikäyttäytyminen

Diffuusiota käsiteltiin laajasti vuoden 2004 Rakentajain kalenterissa artikkelissa ss. 425...434. Sovelletaan niitä laskelmia vielä edellisen esimerkin betonilaataan.

Kuvan 4 betonilaatan paksuus on 200 mm. Sen keskikohta on vielä kyllästetyllä ja pintojen ja ympäristön suhteellinen kosteus on 60 %. Laatan ja ilman lämpötila on 20 °C.

$$+ 20 \text{ °C} \quad RH = 60 \% \quad v \approx 10,4 \text{ g/m}^3$$



Kuva 4. Diffuusiovauhti betonilaatan sisältä pintaan.

Diffuusiovauhti voidaan laskea tunnetusti:

$$g = \frac{\Delta v}{Z}, \text{ jossa}$$

$\Delta v$  on kahden pisteen välinen vesihöyrynpitoisuusero  $g/m^3$

$Z$  on samalla välillä oleva rakenteen vesihöyrynvastus  $30...1000 \times 10^3 s/m$

$$\text{Saadaan: } \frac{(17,3 - 10,4)}{150 \cdot 10^3} \cdot 3600 \approx 0,16 \frac{g}{m^2 \cdot h}$$

Vesihöyrynvastuksen osalta viitataan vuoden 2004 Rakentajain kalenterin sivun 429 pohdintoihin.

Diffuusiovauhti on betonilaatan tapauksessa mitättömän pieni verrattuna kapillaariseen ve-

Taulukko 2. Esimerkkejä diffuusiiovauhdeista ainekerrosten läpi

Ainekerros	Diffuusiovauhti	Laskentaan soveltuva arvo
	$\frac{g}{m^2 \cdot h}$	$\frac{g}{m^2 \cdot h}$
Polyeteenikalvo 0,2	< 0,01	0,01
Ilma 100	6	6
Betoni 100	0,02...0,8	0,2
Puu 100	0,05...0,8	0,06
Siporex 100	0,5...2,5	0,8
Mineraalivilla 100	2...6	4
Polystyreeni 100	0,2...0,4	0,25
Polyuretaani 100	0,003...0,04	0,02
Kipsilevy 13	6...16	6
Huokoinen kuitulevy 12	7...10	8
Kovalevy 3,2	7...10	8
Vaneri 13	0,3...1,7	0,5
Maalit	0,2...5	
Linoleum	0,1	
Muovimatto	0,05	

den kulkuvauhtiin. Vaikka laskelmat ovat kovin epätarkkoja, voidaan kuitenkin todeta, että betonin vesi kulkee jopa tuhatkertaisella vauhdilla vesihöyryn diffuusioon verrattuna. Tasoero on selvä.

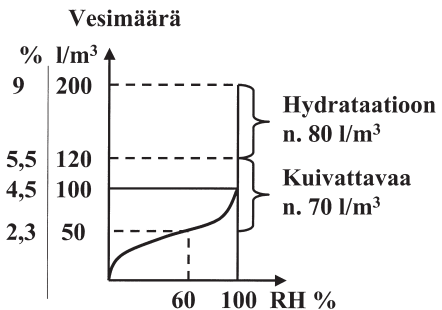
Materiaaleissa tapahtuvan diffuusion vauhti vaihtelee paljon. Taulukkoon 2 on kerätty eräiden rakennusmateriaalien diffuusiiovauhteja. Rakennusmateriaali ja sen kerrospaksuus on vasemmalla sarakkeessa. Keskimmaisessa on diffuusion vaihteluväli, kun vesihöyryn pitoisuusero on  $7 \text{ g/m}^3$ . Tällainen ero on esimerkiksi lämpötilassa  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , kun rakenteen toisella pinnalla  $\text{RH} = 100 \%$  ja toisella noin  $60 \%$ . Kolmannessa sarakkeessa on esitetty vertailulaskelmiin soveltuvia arvoja. Laskelmien tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä korkeassa  $\text{RH}$ :ssa olevissa rakenteen osissa korkeampia diffuusiiovauhteja, koska kosteimmat materiaalit läpäisevät helpommin kosteutta.

Taulukosta havaitaan ilmiön suuri vaihteluväli, joka aiheuttaa sen, että laskennallisesti on äärimmäisen vaikea hallita rakenteen käyttäytymistä. Yhtä hyvin perusteiden voidaan asiaa lähestyä käsinlaskentamenetelmin.

Viikon tarkastelujaksossa  $100 \text{ mm}$  paksun betonilaatan läpi taulukon olosuhteissa kulkeutuu vesihöyryä noin  $3...130 \text{ g/m}^2$ . Kapillaarinen kulkuvauhti oli esimerkin mukaan tunnissa ylärajaa vastaavaa tasoa. Siksi kapillaarinen veden kulkuvauhti on paljon nopeampi kuin diffuusio, ainakin betonissa ja samoin käyttäytyvissä materiaaleissa.

Mineraalivillakerroksen ( $100 \text{ mm}$ ) läpi kulkeutuu viikossa  $300...1000 \text{ g/m}^2$ . Se puolestaan on niin suuri vauhti, että kastunut rakenne voi kuivua merkittäviä määriä jo yhden viikon aikana, kun olosuhteet ovat sopivat.

Yhteenvetona materiaalin kosteuskäyttäytymisestä esitetään betonin sisältämän veden käyttäytyminen. Kuvassa 5 on esitetty betonin "laajennettu" tasapainokosteuskäyrä. Kuvassa on pohdittu mihin kuluu ja kulkeutuu tavannaomaisessa betonissa  $200 \text{ l/m}^3$  vettä, joka tarvitaan sen valmistukseen. On selvää, että kuva on



100 mm paksusta laatasta kuivattavaa on noin  $7000 \text{ g/m}^2$

Kuva 5. Betonin vesimäärä ja mihin se kuluu ja kulkeutuu.



jälleen vain suuntaa antava ja karkea yksinkertaistusta. Betoniteknologisesti on mahdollista valmistaa sellaista betonia, jossa lähes kaikki vesi kuluu kemiallisiin reaktioihin eikä kuivattavaa vettä juuri ole.

Betonin valmistukseen tarvitaan kuvan mukaan noin  $200 \text{ l/m}^3$  vettä. Siitä noin  $80 \text{ l}$  kuluu kemiallisiin reaktioihin, sementin kovettumiseen eli hydrataatioon. Sisällä olevat betonirakenteet asettuvat lopulta noin  $\text{RH} = 60 \%$  vastaavaan tasapainokosteuteen, joka merkitsee, että betonikuutiossa on kuivattavaa vettä yhteensä noin  $70 \text{ l}$ .

Poistuva vesimäärä jakaantuu kahteen osaan. Väli  $120 \dots 100 \text{ l/m}^3$  on kapillaarista vettä. Loput  $100 \dots 50 \text{ l/m}^3$  on hygroskooppista vettä, joka kuluu betonin sisällä pääasiassa diffuusiolla.

Sovellettaessa kuvan 5 esimerkkiä  $100 \text{ mm}$  paksuun betonilaattaan voidaan todeta, että kapillaarista vettä on kuivattava luokkaa  $2000 \text{ g/m}^2$ . Näin paksussa laatussa kapillaarista veden liikettä tapahtui noin  $120 \text{ g/m}^2/\text{h}$ . Siten tämä vesimäärä voidaan poistaa betonista nopeimmillaan noin vuorokaudessa. Todellisuudessa olosuhteet eivät voi olla näin edulliset. Kuitenkin tämä vesi voidaan hyvin poistaa betonista enintään muutama viikon aikana.

Loppu vesimäärä (noin  $5000 \text{ g/m}^2$ ) on kuivattava diffuusiolla. Sitä tapahtui karkeasti vauhdilla  $0,1 \dots 0,2 \text{ g/m}^2/\text{h}$ . Vuorokaudessa kuivuu parhaimmillaankin vain noin  $2 \text{ g/m}^2$ . Tästä voidaan päätellä, että parhaimmillaankin laatan kuivuminen lopulliseen tasapainokosteuteen vie vuosia. Oikea mittaluokka tässä tapauksessa on jopa 10 vuotta. Siten betonilaatta itsessään on merkittävä kosteuslähde. Tätä käsitellään myöhemmin tässä artikkelissa.

## Haihtuminen (ja tiivistyminen)

Monet rakennusmateriaalit voivat kastua hyvin nopeasti ollessaan kosketuksissa veden. Kaikkien kastuneiden materiaalien kuivuminen on erittäin hidasta. Kuivumisaika voi olla monikymmen-, jopa monisatakertainen kastumiseen verrattuna. Kuivuminen on lähes aina haihtumista ympäröivään ilmaan. Haihtuminen pysähtyy, jos ympäröivä ilma on kyllästystilassa ja lämpötilaltaan sama kuin haihduttava pinta.

Pinnasta tapahtuvaa haihtumista tai pintaan tapahtuvaa tiivistymistä kuvaa seuraava kokemusperäinen kaava:

$$g = \beta \cdot (v_p - v_i) \quad \text{eli} \quad g = \beta \cdot \Delta v, \quad \text{jossa}$$

$g$  on haihtuvan tai tiivistyvän veden määrä ( $\text{g/m}^2/\text{s}$ )

$\beta$  on kosteudensiirtoluku ( $\text{m/s}$ )

$v_p$  on vesihöyrynpitoisuus pinnassa ( $\text{g/m}^3$ )

$v_i$  on vesihöyrynpitoisuus ilmaa pinnan ulkopuolella ( $\text{g/m}^3$ )

Tyynessä ilmassa tapahtuvalle haihtumiselle sopiva kosteudensiirtoluvun arvo on noin  $0,003 \text{ m/s}$ . Tuulisessa säässä kertoimen arvo voi olla yli kymmenkertainen. Lämpötilan nousu nopeuttaa haihtumista ja vastaavasti haihtuminen on sitä vähäisempää, mitä alempi lämpötila on.

Veden rajapinnassa ja samoin määrän rakennusmateriaalin pinnassa on aina lämpötilaa vastaavaa kyllästystä. Tämä on eräänlainen luonnonlaki. Haihtumista tapahtuu, jos pinnassa on suurempi vesihöyrynpitoisuus kuin ympäristössä. Päinvastaisessa tapauksessa tapahtuu tiivistymistä pintaan. Haihtuminen pysähtyy, jos  $\Delta v = 0$ .

Haihtumiseen liittyy kolme perustapusta. Ensimmäinen tilanne on kesällä, jolloin materiaalin pinta on märkä ( $\text{RH} = 100 \%$ ) ja lämmin ( $t = +20^\circ\text{C}$ ). Ympäröivä ilma voi olla esimerkiksi  $15^\circ\text{C}$  ja  $\text{RH} = 60 \%$ . Tällöin  $v_p = 17,3 \text{ g/m}^3$  ja  $v_i = 0,6 \times 12,9 = 7,7 \text{ g/m}^3$ . Haihtumista tapahtuu seuraavasti, kun  $\beta = 0,003 \text{ m/s}$ :

$$g_1 = 0,003 \cdot (17,3 - 7,7) \approx 0,024 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \approx 85 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Haihtumista tapahtuu pinnasta ilmaan. Haihtuva vesihöyry mahtuu hyvin ilmaan, koska ilman  $\text{RH}$  on pieni. Ilmassa tapahtuva konvektio vie kosteuden pois.

Kerroin  $\beta$  voi olla yli 20-kertainen edelliseen verrattuna. Pinnassa tapahtuva konvektio kasvattaa kerrointa. Siten haihtuminen voi hyvin olla jopa luokkaa  $1000 \dots 2000 \text{ g/m}^2/\text{h}$ .

Toinen perustapaus voi esiintyä keväällä, kun rakenteen pinta on syystä tai toisesta jäänyt kylmäksi ympäröivän ilman muututtua juu lämpimäksi. Pinta voi olla lämpötilassa  $0^\circ\text{C}$  ja märkä ( $\text{RH} = 100 \%$ ). Ilma voi olla  $10^\circ\text{C}$  ja  $\text{RH} = 70 \%$ . Tällöin  $v_p = 4,8 \text{ g/m}^3$  ja  $v_i = 0,7 \times 9,5 = 6,6 \text{ g/m}^3$ . Tiivistymistä tapahtuu seuraavasti:

$$g_2 = 0,003 \cdot (4,8 - 6,6) \approx -0,0054 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \approx -20 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Vesihöyryä tiivistyy ilmasta pintaan. Keväällä ulkoilma on varsin kuivaa, mutta vettä saattaa kuitenkin kondensoitua pintaan sen alhaisen lämpötilan vuoksi.

Kolmas perustapaus liittyy syksyn olosuhteisiin. Silloin vielä lämpimästä ja märestä pinnasta haihtuu kyllästystilassa olevaan ilmaan vesihöyryä, joka näkyy sumuna. Rakenteen pinta on lämmin ( $+10^\circ\text{C}$ ) ja märkä ( $\text{RH} = 100 \%$ ). Ilma on kylmä ( $0^\circ\text{C}$ ) ja kyllästystilassa ( $\text{RH} = 100 \%$ ). Tällöin  $v_p = 9,5 \text{ g/m}^3$  ja  $v_i = 4,8 \text{ g/m}^3$ . Haihtumista tapahtuu seuraavasti:

$$g_3 = 0,003 \cdot (9,5 - 4,8) \approx 0,014 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \approx 50 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Vesihöyryä haihtuu ilmaan koko ajan lämpötilan vuoksi, vaikka ilma on kyllästystilassa.

Haihtuva vesihöyry tiivistyy ilmaan (sumuksi). Sumu poistuu imeytymällä ilmaan sen lämmetessä.

## Yhteenveto kosteuden ja veden eri siirtymismuodoista

Haihtuminen pinnasta:  $g = \beta \cdot \Delta v$ . Sen suuruus vaihtelee paljon. Se voi olla luokkaa 0...1000 g/m<sup>2</sup>/h. Haihtuminen voi olla erittäin hidasta tai erittäin nopeaa tilanteesta riippuen. Hyvät haihtumisolosuhteet aiheuttavat sen, että haihtuminen on veden ja kosteudensiirtymistavoista nopein. Sen vuoksi märän rakenteen pinta asetettu nopeasti ympäröivän ilman suhteelliseen kosteuteen, jota käytettiin hyväksi betonilaatan diffuusioesimerkissä edellä.

Veden kapillaarinen siirtyminen pintajännityksen johdosta:

$$\text{Nousukorkeus } t = m \cdot x^2$$

$$\text{Veden määrä } G = B \cdot \sqrt{t}$$

$$\text{Vauhti } g = \frac{B}{2 \cdot \sqrt{t}}$$

Kapillaarinen veden kulkeutuminen ohuessa betonilaatassa on vauhdiltaan luokkaa 100 g/m<sup>2</sup>/h. Vauhti on niin nopea, että sopivissa olosuhteissa voidaan poistaa kapillaarinen vesi muutamassa viikossa rakenteista (laatoista). Vanha nyrkkisääntö laatan kuivattamiseksi yhtä monta viikkoa kuin laatan paksuus on sentteinä liittyy pääasiassa juuri kapillaarialueen veden poistoon.

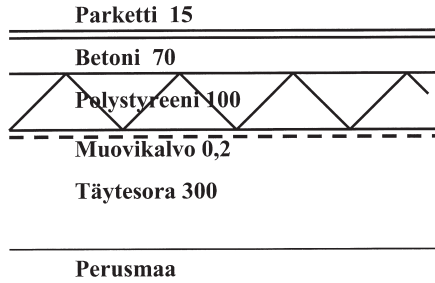
$$\text{Diffuusio: } g = \frac{\Delta v}{Z}$$

Betonilaatassa diffuusio tapahtuu noin 0,2 g/m<sup>2</sup>/h vauhdilla.

Vauhti on niin hidus suhteessa hygroskooppiin vesimäärään, joka tavanomaisesta betonista jää kuivattavaksi, että betoni itsessään on hyvin tärkeä kosteuslähde ensimmäisten käyttövuosien aikana. Siksi sekin tulee ottaa tarkasteluissa huomioon.

## Maanvaraisen laatan toiminta

Seuraavassa on käsitelty maanvaraisen laatan lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa esimerkin valossa. Muovikalvon käytöstä maanvaraisessa laatassa on vastakkaisia mielipiteitä. Seuraavassa esimerkissä on muovikalvo sijoitettu eristeen alle, joka on yksi verrattain usein vieläkin käytetty ratkaisu. Artikkelin kirjoittajan näkemys on, että muovikalvon käytöstä seuraa enemmän haittoja kuin hyötyjä. Sitä ei siksi tulisi käyttää maanvaraisessa alapohjassa. Jos muoviva kuitenkin käytetään, seuraukset eivät kuitenkaan ole

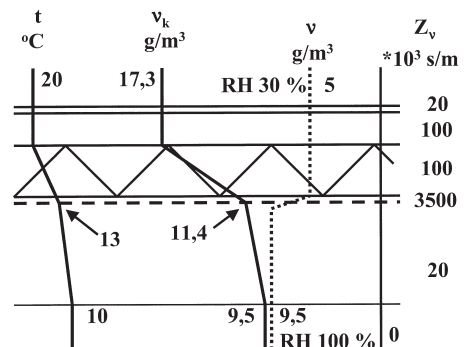


Kuva 6. Maanvastaisen alapohjan rakenne laatan keskialueella.

rakenteen toiminnan kannalta kovin vahingolliset, koska myös muovittomassa ratkaisussa on haittoja.

Kuvassa 6 on esitetty tutkittava rakenne. Muovikalvo on sijoitettu eristeen alle. Tarkastelu on tehty talviolosuhteissa, joka näkyy kuvan 7 sisäolosuhteista (RH = 30 %). Aluksi on tarkasteltu tilannetta pitkän ajan kuluttua, kun laatan rakennusaikainen kosteus on jo täysin poistunut. Perusmaan lämpötilaksi on valittu 10 °C. Se voisi olla korkeampikin, mutta lämpötilalla ei ole suurta merkitystä tuloksiin, koska se joka tapauksessa on alempi kuin sisätilan lämpötila. Perusmaan kosteudeksi on valittu 100 %, kuten on syytä otaksua.

Kuvassa 7 on esitetty lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan liittyvät käyrät. Taulukkoon 3 on tehty vastaavat laskelmat. Pintavastukset yms. pienet lämmönvastukset on jätetty tarkastelusta pois. Tähdelliset arvot (\*) lämmönvastuksissa ja vesihöyrynvastuksissa ovat riittävät näissä tarkasteluissa, ja niillä on piirretty kuvan 7 käyrät.



Kuva 7. Rakennusfysikaalinen toiminta lopputilanteessa (noin 10 v. alusta).



Taulukko 3. Kuvaan 7 liittyvät laskelmat.

	d	R	R'	%	t	$v_k$	$Z_v \cdot 10^3$	$Z_v^*$	%	v
	mm	$m^2C/W$			$^{\circ}C$	$g/m^3$	s/m			$g/m^3$
Sisäilma					20	17,3				5
Sisäpinta		0,3	0		20	17,3				5
Parketti	15	0,15	0		20	17,3	20	0	0	5
Betonilaatta	70	0,05	0		20	17,3	100	0	0	5
Polystyreeni	100	2,5	2,5	70	13	11,4	100	0	0	5
Muovikalvo	0,2	0	0		10	9,5	3500	3500	100	9,5
Täytesora	300	1,0	1	100	10	9,5	20	0	100	9,5
Perusmaa										
Yhteensä		4	3,5				3730	3500		

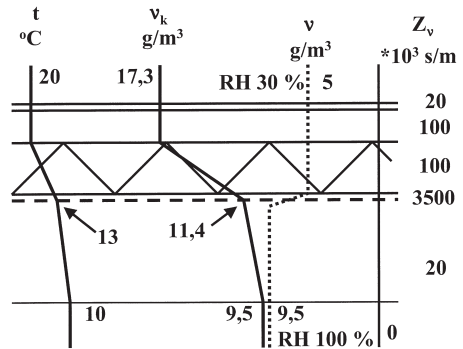
Kuvasta 7 nähdään, että lämpötila eristeen alla on hieman korkeampi kuin perusmaassa, koska maaperällä on myös lämmönvastus. Lämpötilakenttä alempana riippuu monista tekijöistä kuten vuodenaajoista yms. Sitä ei voida yksikäsitteisesti määrittää muutoin kuin mittauksin.

Lämpötiloista saadaan suoraan kyllästyspitoisuudet. Perusmaa on kyllästystilassa ja sisäkosteudeksi on valittu 30 %, joka vastaa tavanomaista arvoa talvella. Kuvaan 7 on oikealle merkitty kunkin ainekerroksen vesihöyrynvastusten suuruusluokat. Havaitaan, että muovikalvon vastus on niin suuri, että muiden ainekerrosten vastukset ovat merkitysettömät tämän rinnalla. Siksi pisteiviivalla piirretty vesihöyrynpitoisuuskäyrä on kuvan mukainen. Muovin päällä on sisätilaa vastaava kosteuspitoisuus ( $5 g/m^3$ ) ja alla maaperää vastaava ( $9,5 g/m^3$ ).

Todellisen vesihöyrynpitoisuuden ja kyllästyspitoisuuden suhde rakenteen eri kohdissa kertoo rakenteen suhteellisen kosteuden. Parkeetin alla kosteus on noin 30 % ( $5/17,3$ ) eli hyvin kuivaa. Sama kosteus on betonilaatan alla. Muovin päällä RH on noin 44 % ( $5/11,4$ ), joka myös on hyvin kuiva tilanne.

Muovin alla RH on noin 83 % ( $9,5/11,4$ ) ja perusmaassa vieläkin korkeampi (100 %). Ne ovat korkeita kosteuksia, mutta nämä rakenteen osa sijaitsee laatan ja muovin alla eikä kosteus tai siitä mahdollisesti seuraava mikrobikasvusto voi haitata sisätilaa kuin siinä tapauksessa, että laatan alta ilmaa pääsee vuotamaan sisään. Se on mahdollista laatan ja seinien liitoskohdissa. Ne ovatkin rakenteiden liitoksia, jotka on tärkeää tehdä siten, ettei vuotoa voi syntyä.

Kokonaisuutena rakenne siis toimii rakennusfysikaalisesti hyvin eikä siinä ole muovista huolimatta kosteusteknisiä ongelmia. Tarkasteleja on vielä tehtävä muina vuodenaikoina ja ennen kaikkea heti rakentamisen jälkeen, jotta voidaan lopullisesti arvioida rakenteen kelvollisuutta. Seuraavassa on tarkasteltu samaa rakennetta heti rakentamisen jälkeen, kun betonilaatan keskellä on vielä hygrooskoopista rakennus-



Kuva 8. Rakennusfysikaalinen toiminta ennen laatan kuivumista.

aikaista kosteutta, joka merkitsee, että laatan keskiosan huokosissa on kyllästyskosteus. Kuvassa 8 ovat käyrät ja taulukossa 4 niitä vastaavat laskelmat.

Betonilaatan keskellä on vielä ylimääräistä vettä ja sitä vastaavaksi kosteudeksi on arvioitu kyllästyspitoisuus. Laatan kuivauskriteeri pinnonitteen asentamiseksi merkitsee, että vain laatan pintaa lähellä olevassa osassa kosteuspitoisuus on riittävän alhainen. Sisäosat kuivuvat diffuusiolla alemman pitoisuuden suuntaan erittäin hitaasti kuten aiemmin on osoitettu.

Nyt kosteutta kulkee sekä sisätilaan että alaspäin. Sisätilaan vesihöyrynpitoisuuskäyrä muodostuu vesihöyrynvastusten suhteissa. Laatasta otetaan huomioon vain puolet, koska osa kosteudesta kulkee alaspäin. Tästä voidaan päätellä, että parketin alla on varsin kuivaa ( $8,5/17,3$ , RH 49 %). Diffuusiovauhdeksi sisäänpäin saadaan noin  $(17,3 - 5)/70/10^3 \cdot 3600 \approx 0,6 g/m^2/h$ . Kuivumisvauhti on tätäkin pienempi, koska kosteuspitoisuus pienenee rakenteen keskiosissa ja toisaalta kuivan laatan osan vesihöyrynpitoisuus on alhainen.

Taulukko 4. Kuvan 8 tapauksen laskelmat.

	d	R	R'	%	t	$v_k$	$Z_v \cdot 10^3$	$Z_v^*$	%	v
	mm	$m^2C/W$			$^{\circ}C$	$g/m^3$	s/m			$g/m^3$
Sisäilma					20	17,3				5
Sisäpinta		0,3	0		20	17,3				5
Parketti	15	0,15	0		20	17,3	20	20	100	8,5
Betonilaatta	35	0,03	0		20	17,3	50	50	70	17,3
Betonilaatta	35	0,03	0		20	17,3	50	0		17,3
Polystyreeni	100	2,5	2,5	70	13	11,4	100	0	0	11,4
Muovikalvo	0,2	0	0		10	9,5	3500	3500	100	9,5
Täytesora	300	1,0	1	100	10	9,5	20	0	100	9,5
Perusmaa										
Yhteensä		4	3,5				3730	3500		

vastus kasvaa. Kesällä kuivumista sisään tapahtuu vähemmän, koska sisäilman kosteussisältö on suurempi.

Kosteutta kulkee diffuusiolla myös alaspäin, koska maaperän kosteuspitoisuus ( $9,5 \text{ g/m}^3$ ) on pienempi kuin betonilaatan alaosan ( $17,3 \text{ g/m}^3$ ). Pitoisuuskäyrä muodostuu jälleen vesihöyrynvastusten suhteissa. Tämä merkitsisi, että muovin suuren vesihöyrynvastuksen vuoksi muovin päällä olisi pitoisuus  $17,3 \text{ g/m}^3$  ja alla pitoisuus  $9,5 \text{ g/m}^3$ . Eristeen päälle muodostuu siten kastepiste ja muovin päällä on kondenssialue. Koska yli  $RH = 100\%$  kosteudet eivät ole mahdollisia, seuraa todellinen pitoisuuskäyrä kyllästyskosteutta ja diffuusion kannalta välttämätön vesihöyrynpitoisuusero muodostuu.

Kosteus on laatan sisäosista muovin päälle  $100\%$  ja diffuusiovauhti eristeen läpi noin ( $17,3 - 11,4$ )/ $150/10^3 \cdot 3600 \approx 0,15 \text{ g/m}^2/\text{h}$ . Tämä on erittäin hidas vauhti. Laatan kuivuminen sisäänpäin voi kuitenkin olla vain pieni osa sitä, mitä edellä laskettiin. Siksi vesihöyryä kulkeutuu aikojen kuluessa merkittäviä määriä myös alaspäin. Lähes kaikki vesi kondensoituu muovin päälle, koska sen läpi diffundoituu vain hyvin pieniä määriä kosteutta ( $11,4 - 9,5$ )/ $3500/10^3 \cdot 3600 \approx 0,02 \text{ g/m}^2/\text{h}$ .

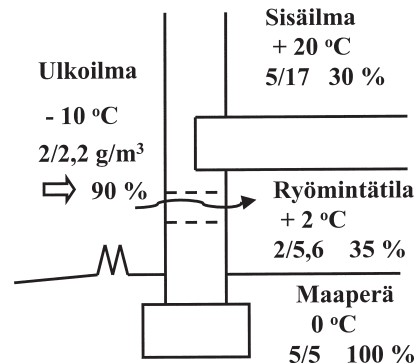
Kokonaisuutena merkittävä osa rakennusaikeisesta laatan vedestä kulkeutuu muovin päälle kondensoituen sinne. Kun laatan sisäosat ovat kuivuneet, muovin päällä on vielä vettä ja korkea kosteus. Tämän jälkeen tapahtuu diffuusiota myös sisätilaan ilman, että rakenteessa on kastepistettä. Lopulta rakenne kuivuu ja saavutetaan kuvan 7 tilanne.

Muovin päältä on tällä tavoin toteutetuissa alapohjissa todellisissa kohteissa löytynyt vielä vuosien kuluessa rakentamisesta kondenssivettä pieniä määriä. Tätä on kuivattu ja usein kondenssilanne uusiutuu. Kyseessä ei aina ole vesivahingon seuraus tai kosteusongelma, vaan täysin normaali alapohjan rakennusfysikaalisen toiminnan seuraus.

Jos muovi puuttuu, kosteus voi poistua maaperän suuntaan aiheuttamatta varsinaista kondenssia. Kuitenkin maaperän suhteellinen kosteus on erittäin korkea ja mm. mikrobikasvuston kannalta olosuhteet ovat suotuisat. Siksi myös muovittomaan ratkaisuun liittyy mahdollisuus ja jopa melko suuri todennäköisyys mikrobikasvuun laatan alapuolisessa maaperässä. Tätä ovat nykyisin monet asiantuntijat pitäneet rakennusvirheenä, koska Rakentamismääräyskokoelman osa C2 lähtee siitä, että rakenteessa ei saa haitallisessa määrin olla mikrobikasvustoa. Lopulta on varsin vaikea määrittellä, mikä osa maanvaraisesta laatasta kuuluu rakenteeseen ja mikä ei.

## Ryömintätilaisen alapohjan rakennusfysikaalinen toiminta

Seuraavaksi käsitellään periaatteellisella tasolla ryömintätilaisen alapohjan rakennusfysikaalista toimintaa eri olosuhteissa. Kuvassa 9 on esitetty esimerkki ryömintätalaisesta ratkaisusta talviolosuhteissa.



Kuvassa 9. Ryömintätilainen alapohja talvella

Kuvaan 9 on merkitty tyypilliset ulkoilman olosuhteet talvella, jotka ovat lähtökohta. Sisäilman olosuhteet on saatu käyttämällä kosteussisältöä  $3 \text{ g/m}^3$ . Maaperän lämpötilaksi on otaksuttu  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Maaperän lämpötiloja ei ole paljon mitattu, mutta ryömintätilan ilman lämpötiloja on mitattu ja tulos on, että ilma on yleensä hieman yläpuolella. Siksi on perusteltua asettaa maan lämpötilaksi lähellä nollaa oleva arvo. Maan kosteudeksi on otaksuttu 100 %, kuten aiemmin on esitetty.

Ryömintätilan ilman lämpötilaksi on otaksuttu edellä olevan perusteella  $+2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sisäilmasta voi kulkeutua vain hyvin vähän kosteutta ryömintätilaan, koska alapohjan vesihöyryn vastus on suuri yleisesti käytetyn muovikalvon vuoksi. Samoin maaperästä voi haihtua vain vähän kosteutta ryömintätilan ilmaan, koska maaperä on yleensä jäässä ja toisaalta vesihöyrynpitoisuusero on pieni.

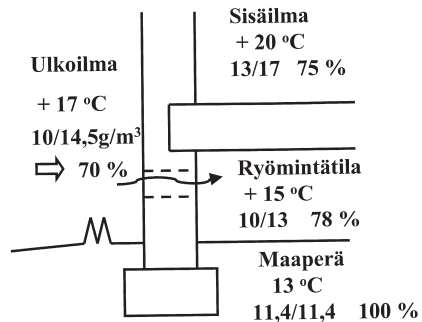
Lopputuloksena on, että talvella ryömintätalassa ovat hyvät olosuhteet ja kosteus ei muodostu ongelmaksi. Jos ryömintätalasta on johdettu hormi rakennuksen läpi ulkoilmaan, lämpötilaero aiheuttaa ryömintätilaan suuren ilmanvaihdon. Ennen vanhaan ryömintätilan ilmavaihtoa pienennettiin luukuilla talvikautena, joka edellisen esimerkin perusteella on ollut mahdollista ja myös järkevää.

Kuvassa 10 on esitetty ryömintätalain alapohja kesällä normaaleissa ulkoilman olosuhteissa. Ulkoilman lämpötila ja kosteussisältö on valittu tyypillisten keskimääräisten olosuhteiden perusteella. Maaperän lämpötila on jälleen otaksuttu, koska mittauksia ei ole. Kuitenkin tiedetään, että ulkoilma jäähtyy kesällä ryömintätalassa, joka puoltaa edellistä arviota.

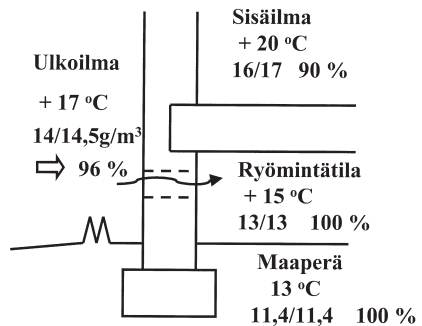
Ryömintätilaan kulkeutuva ilma jäähtyy, koska maaperän lämpötila ei voi nousta talon alla nopeasti samaksi kuin luonnossa. Maaperän kosteussisältö on lähellä ulkoilman sisältöä, vaikka maaperä on kylmää. Siksi maaperästä ei haihdu ilmaan suuria kosteusmääriä ja ryömintätilan ilman kosteussisältö ei juuri muutu.

Kokonaisuutena ryömintätilan ilma on kosteampaa kuin ulkoilma, ja olosuhteet ovat ankarimmat kuin ulkona. Ne ovat kuitenkin kosteuden kannalta vielä siedettävät eikä kosteusongelmia tai mikrobikasvustoa välttämättä kehity.

Kuvassa 11 on esitetty kesätilanne sateisena jaksona, jolloin ulkoilman suhteellinen kosteus on korkea. Yleensä sateen jälkeen tuleva auringonpaiste pitää keskimääräiset kosteusolosuhteet siedettävänä ja ulkoilma muodostaa vain lyhytaikaisia kosteuspiikkejä ryömintätilan ilmaan. Kuitenkin vuosissa on suuria eroja. Muutama vuosi sitten oli lähes koko heinäkuun ajan sateista, mutta kuivaava auringonpaiste puuttui. Seurauksena oli, että lähes koko heinäkuun ulkoilman RH ylitti arvon 90 %.



Kuva 10. Ryömintätalain alapohja kesällä, normaalit olosuhteet.



Kuva 11. Ryömintätalain alapohja kesällä sadekautena.

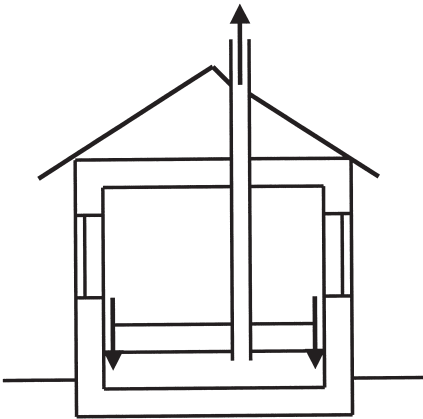
Tällaisena jaksona ryömintätalassa ovat erittäin ankarat olosuhteet tuuletuksen määrästä riippumatta. Maan alempi lämpötila säteilee myös oman lämpötilansa mukaista lämpösäteilyä, joka imeytyy valtaosaltaan alapohjan alapintaan jäädyttäen sitä lisää. Seurauksena on kondensoituvaa vettä pintoihin ja erityisesti alapohjan alapintaan. Pitkän ajan kuluessa kehittyy myös enemmän tai vähemmän mikrobikasvustoa. Tälle ei voida juuri mitään. Siksi vanhoista ryömintätaloista löytyvä kasvusto on enemmänkin sääntö kuin poikkeus ja ennen kaikkea olosuhteiden seurauksena syntynyt. Sitä ei tule tulkita kosteusongelmaksi. Alapohjan tulee rakenteiltaan olla niin tiivis, että mikrobien haitalliset vaikutukset eivät pääse kulkeutumaan sisäilmaan.

## Multapenkin toimintaperiaate

Multapenkki on hyvin vanha alapohjan toteutustapa. Kuvassa 12 on esitetty sen toimintaperiaate. Nykyaikainen nimitys multapenkille on lämmin ryömintätila. Myös tämän ratkaisun toimivuudesta suomalaisissa olosuhteissa on esitetty paljon vastakkaisia mielipiteitä.

Peruslähdekohta on, että vain ulkovaippa, myös maata vasten oleva, on lämmöneristetty hyvin. Sisäilmaa johdetaan ryömintätilaan, josta on johdettu hormi rakennuksen läpi ulos. Hormin ilma on talvella paljon lämpimämpää kuin ulkoilma, joten ilma vaihtuu tehokkaasti ja ryömintätila on jatkuvasti vähän alipaineinen huonetilaan nähden. Tällöin mahdolliset haittavai-  
kutukset esimerkiksi mikrobikasvustosta eivät pääse sisäilmaan.

Kesällä lämpötilaeroon perustuva ilmanvaihto toimii merkittävästi heikommin ja saattaa hyvin tulla tilanteita, että viileä maa kykenee jäähdyttämään alapohjan alla olevan ryömintätilan ilmaa niin, että se ei juuri vaihdu. Ryömintätilan ilma voi silloin esimerkiksi ulkoilman korkean



Kuva 12. Multapenkin tai lämpimän ryömintätilan toiminnan idea.

kosteuden (vrt. ryömintätila kesällä sadekaute-  
na edellä) vuoksi olla pitkiä jaksvoja niin kostea,  
että mikrobikasvustoa saattaa kehittyä itse ryö-  
mintätilaan.

Maanvaraisessa laatassa mikrobikasvusto on mahdollinen ja myös todennäköinen maaker-  
roksissa juuri eristeen alla. Mikrobikasvustoa  
tapahtuu itse ryömintätilaan rajoittuvien materi-  
aalien pinnoissa. Kasvu on mahdollista siksi,  
että kesäisin ulkoilma on ajoittain pitkiä aikoja  
sekä lämmintä että kosteaa. Samasta syystä on  
lämpimässä ryömintätilassa aika ajoin mikrobi-  
kasvustolle otolliset olosuhteet ja sen pinnoissa  
saattaa kasvustoa todella esiintyä. Kesällä saat-  
tavat painesuhteet olla sellaiset, että ryömintä-  
tila voi olla ylipaineinen suhteessa ryömintä-  
tilaan, jolloin terveyshaittaa aiheuttavat päästöt  
huonetilaan ovat mahdolliset.

Artikkelin kirjoittajan näkemys onkin, että  
näistä kolmesta alapohjatyypistä multapenkki  
(lämmin ryömintätila) on riskialtein. Sen toi-  
mintaa voi parantaa merkittävästi poistohormiin  
sijoitetulla poistopuhaltimella, jolla imetään  
koko kesäaika ilmaa ulos. Poistopuhallin auttaa  
merkittävästi myös tavanomaisen ryömintätilan  
alapohjan toimintaa, mutta ei silti poista täy-  
sien mikrobikasvun mahdollisuutta.

## Lopuksi

Rakennusfysikaalinen toiminta on suomalaisis-  
sa olosuhteissa usein sellainen, että kaikilta kos-  
teuteen liittyviltä ongelmilta ei voida välttyä.  
Kuitenkin rakenneosien ja ennen kaikkea raken-  
neosien välisten liitosten ratkaisuilla voidaan teh-  
okkaasti vaikuttaa siihen, että kosteudesta ja  
sen seurauksista ei aiheudu rakennuksen käyttä-  
jille haittaa. Rakenneosien ja niiden välisten lii-  
tosten toteutustapoihin palataan tulevissa kirjoi-  
tuksissa.

## LÄHTEET

- [1] Björkholtz, D., Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy. Helsinki 1997.