



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **Kosteuden siirtyminen vaipparakenteessa**

Juhana Haapa-aho

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2024

# TIIVISTELMÄ

Kosteuden siirtyminen vaipparakenteessa

Juhana Haapa-aho

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2024, 34 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Hannu Lahtinen

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tarkastella kosteuden erilaisia siirtymistapoja sekä tiivistymismahdollisuuksia ja kuivumista vaipparakenteissa. Lisäksi tässä työssä käydään läpi eri kosteuslähteitä. Kosteuden erilaisia siirtymistapoja kuvataan laskukaavoilla, joiden avulla pystytään tarkastella kosteuskäyttäytymistä erilaisissa rakenteissa.

Kosteuslähteistä vaikeimmin hallittavia ovat sisä- ja ulkoilman vesihöyry. Etenkin sisäilman vesihöyry aiheuttaa usein ongelmia vaipparakenteeseen kun kosteus siirtyy useimmiten lämpimämmästä kylmempään eli sisältä ulos.

Vesihöyryn diffuusio ja konvektio aiheuttavat suuria haasteita rakennusfysikaalisessa suunnittelussa. Diffuusiota pyritään estämään höyrynsululla ja konvektiota ilmansululla. Pienetkin virheet höyryn- tai ilmansulussa saattavat aiheuttaa pitkällä aikavälillä mittavia kosteusvaurioita vesihöyryn kondensoituessa vaipparakenteeseen. Suurimmat kondensoitumisen riskikohdat ovat rakenteiden rajapinnoissa, joten yksiaineinen rakenne olisi kosteusteknisesti turvallinen.

Kosteusvaurioiden ja sisäilmaongelmien ehkäisemiseksi onkin hyvin tärkeää kiinnittää erityistä huomioita vaipparakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen.

*Asiasanat: kosteus, diffuusio, konvektio, kondensoituminen, höyrynsulku*

# ABSTRACT

Moisture transfer in building envelope

Juhana Haapa-aho

University of Oulu, Degree Programme of Civil and Construction Engineering

Bachelor's thesis 2024, 34 pp.

Supervisor at the university: Hannu Lahtinen

The aim of this bachelor's thesis is to examine the various ways in moisture moves, as well as the possibilities of condensation and drying in building envelope structures. Additionally, this work discusses different sources of moisture. Various moisture transfer mechanisms are described with equations, which allow the analysis of moisture behavior in different structures.

The most challenging moisture sources to control are indoor and outdoor water vapor, often causes problems in the building envelope because moisture moves mostly from warmer to colder areas, i.e. from inside to outside.

Water vapor diffusion and convection pose significant challenges in building physics design. Diffusion is sought to be prevented with vapor barriers, and convection with air barriers. Even small errors in vapor or air barriers may lead to extensive moisture damage over time as water vapor condenses in the building envelope. The major risk areas for condensation are at the interfaces of structures, hence a single-component structure would be moisture-safe.

To prevent moisture damage and indoor air problems, it is crucial to pay special attention to the moisture performance of building envelope structures.

*Keywords: moisture, diffusion, convection, condensation, vapor barrier*

## ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön päätarkoituksena on tarkastella vaipparakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä. Tämä aihe kiinnosti minua, koska nykyään on voimakkaasti yleistyneet erilaiset sisäilmaongelmat ja kosteusvauriot. Tavoitteenani onkin tulevaisuudessa suunnitella ennistäkin pitkäikäisempiä rakennuksia.

Haluan kiittää työni ohjaajaa Hannu Lahtista. Lisäksi haluan kiittää vaimoani Henrikaa suuresta tuesta Word-ohjelman käytössä ja kannustuksesta sekä uhrautumisesta perheemme hyväksi. Kiitokset myös Kerttu-tyttärelleni pienistä kannustushetkistä sylissäni työni ääressä.

Oulu, 12.3.2024

*Juhana Haapa-aho*

Juhana Haapa-aho

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	6
2 Veden olomuodot ja olomuotojen muutokset .....	7
3 Kosteuslähteet rakenteissa .....	9
3.1 Sateen aiheuttama kosteus.....	9
3.2 Ulkoilmasta tuleva vesihöyry.....	10
3.3 Sisäilmasta tuleva vesihöyry .....	11
3.4 Kosteus maaperästä.....	12
3.5 Rakennuskosteus .....	13
3.6 Laitteiden ja putkien vuodot.....	15
4 Kosteuden siirtymistavat rakenteissa .....	16
4.1 Vesihöyryn siirtyminen diffuusiolla .....	16
4.1.1 Diffuusiolaskelmat.....	17
4.1.2 Diffuusion kondenssi .....	20
4.2 Vesihöyryn siirtyminen konvektiolla.....	24
4.3 Veden siirtyminen kapillaarisesti .....	28
4.4 Veden siirtyminen painovoimaisesti .....	29
5 Yhteenveto .....	30
Lähdeluettelo.....	32

LIITTEET:

# 1 JOHDANTO

Rakenteiden sisäilmaongelmat ja kosteustekninen toimivuus on aiheuttanut runsaasti huolta nykypäivänä. Ongelmia aiheuttavat Suomen olosuhteissa haastava ilmasto sekä useat rakennusvirheet. Kosteusvaurioiden ja sisäilmaongelmien yleistyminen on lisännyt tarvetta tutkia rakenteiden kosteusteknistä käyttäytymistä. Viime vuosikymmenten aikana on alettu lisääntyvässä määrin tutkia aihetta ja erilaiset rakennusmääräykset ovat kiinnittäneet yhä enemmän huomiota kosteuden hallintaan.

Kosteus ja kylmä ilma lisää kosteusrasitusta ulkoilmaa vasten oleviin rakenteisiin. Kylminä talvikuukausina kosteutta saattaa tiivistyä vaipparakenteiden sisälle ja kesäkuukausina rakenne taas kuivuu. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tarkastella kosteuden tiivistymismahdollisuuksia ja kuivumista vaipparakenteissa.

Tässä kandidaatintyössä käsitellään erilaisia kosteuslähteitä vaipparakenteessa sekä veden siirtymistapoja erilaisissa olomuodoissa. Vaipparakenteiden kosteuskäyttäytymistä käsitellään yleisellä tasolla eikä niinkään keskitytä tiettyyn rakenteeseen. Työssä lähestytään aihetta ja erityisesti kosteuden siirtymistapoja teoriapainotteisesti. Erilaisilla kosteuden siirtymisen laskukaavoilla pyritään havainnollistamaan teoriaa sekä ne antavat mahdollisuuden soveltaa teoriaa erilaisiin rakenteisiin.

## 2 VEDEN OLOMUODOT JA OLOMUOTOJEN MUUTOKSET

Vesi esiintyy ympäristössämme kolmessa olomuodossa. Olomuodot ovat jää, vesi ja vesihöyry. Olomuodonmuutoksissa jään sulassa vedeksi ja veden höyrystyessä kaasuksi, sitoutuu energiaa. Energiaa tarvitaan myös veden sublimoituessa eli jään muuttuessa vesihöyryksi. Energiaa taas vapautuu toiseen suuntaan mentäessä eli vesihöyryn tiivistyessä vedeksi ja veden jäätyessä. Myös härmistymisessä eli vesihöyryn muuttuessa suoraan kiinteäksi jääksi vapautuu energiaa. (Pitkäranta ym. 2016, s. 101)

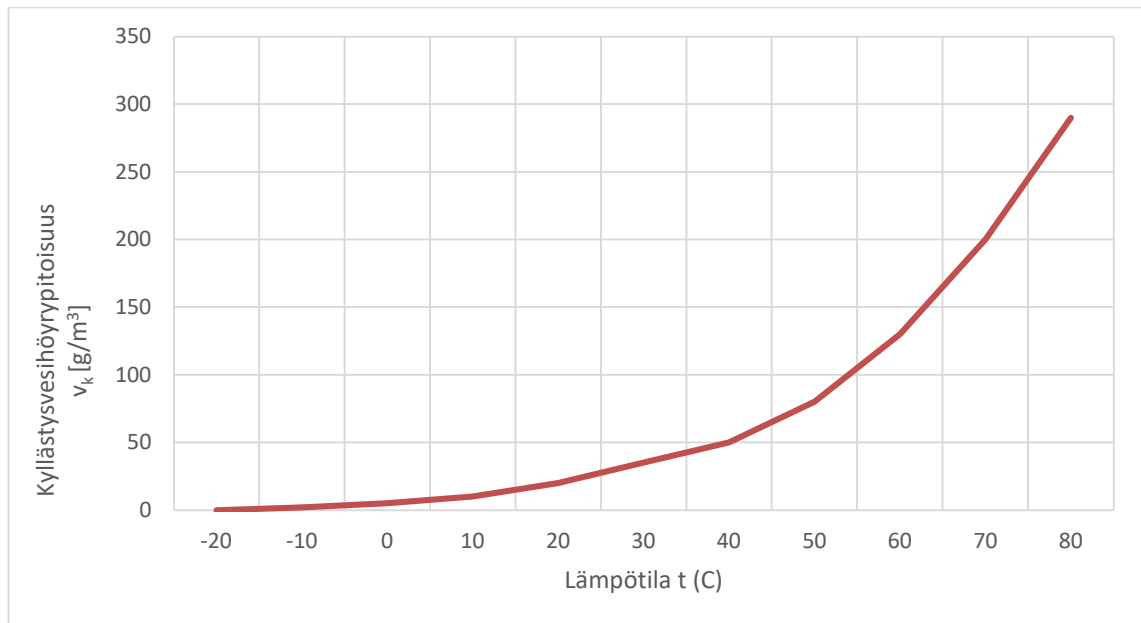
Veden olomuodonmuutosta vesihöyryn tiivistymistä nestemäiseksi vedeksi kutsutaan kondensoitumiseksi. Vesihöyryn kondensoituminen pinnalle on mahdollista silloin, kun ympäröivän ilman kastepistelämpötila on suurempi kuin pinnan lämpötila. Tiivistymistä voi aiheuttaa yön vastasäteily, rakennusmateriaalien mukana tullut kosteus, rakenteiden kuivaaminen lämmittämällä, rakenteiden lämpeneminen nopeasti, kosteuden siirtyminen kylmempään tilaan, huonetilan sisäpinnan alhainen lämpötila sekä sisäilman vesihöyryn siirtyminen ulko-osastaan sisäosaa vesihöyrytiivimpään rakenteeseen, jolloin kondensoitumista tapahtuu pitkällä aikavälillä. (Pitkäranta ym. 2016, s. 101)

Vesihöyryn pitoisuutta ilmassa voidaan kuvata joko todellisen vesihöyrypitoisuutena  $v$  ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) tai suhteellisena kosteutena  $RH$  (%) yhtälön yksi mukaisesti:

$$RH = \frac{v}{v_k} 100\%, \quad (1)$$

missä  $RH$  on ilman suhteellinen kosteus [%],  
 $v$  on todellinen vesihöyryn pitoisuus [ $\text{g}/\text{m}^3$ ] ja  
 $v_k$  on ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus [ $\text{g}/\text{m}^3$ ].

Kyllästysvesihöyrypitoisuus kasvaa lämpötilan kasvaessa. Eli mitä lämpimämpi ilma on, sitä enemmän siihen mahtuu vettä. (Lehtoviita ym. 2020, s. 13)



Kuva 1. Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus lämpötilan funktiona (mukaiillen Lehtoviita ym. 2020, s. 13).



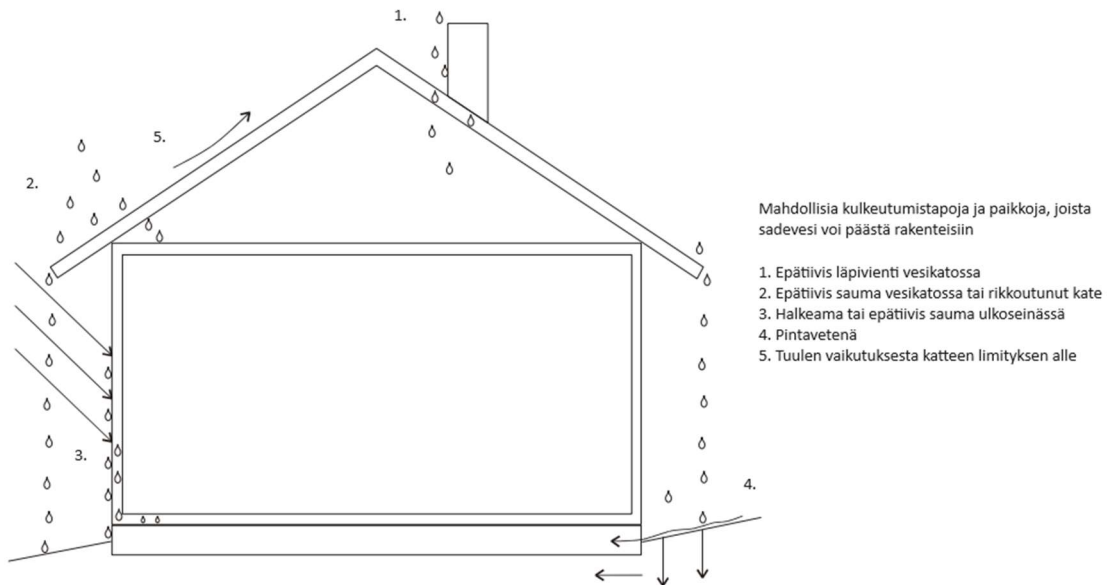
## **3 KOSTEUSLÄHTEET RAKENTEISSA**

### **3.1 Sateen aiheuttama kosteus**

Sade rasittaa rakenteita vetenä, lumena ja jäänä. Kosteusrasitus on pahimmillaan syksyllä, jolloin tulee suuri osa vuoden sademäärästä. Suurimmillaan päivässä sadetta voi tulla noin 80 mm. Syksyllä usein esiintyvät sadejaksot heikentävät lisäksi rakenteiden kuivumista. (Lehtoviita ym. 2020 s. 28; Sisäilmayhdistys 2008)

Tuuli vaikuttaa siihen miten voimakasta sateen aiheuttama rasitus on. Tuulettomalla kelillä sadepisarat tulevat painovoiman vuoksi suoraan alaspäin, mutta tuulinen keli aiheuttaa sateen suuntaan muutoksia. Vaakapinnoille aiheutuu rasitusta pystysuoralla sateella, mutta tuulen vaikuttaessa sade rasittaa myös pystypintoja, kuten ulkoseiniä. Sade voi siirtyä myös ylöspäin tuulenpaineen vaikutuksesta (Lehtoviita ym. 2020, s. 28; RIL 250-2020, s. 98)

Sadevesi saattaa aiheuttaa kosteusrasitusta myös roiskeveden vaikutuksesta. Lisäksi valumavesi voi aiheuttaa ongelmia pintoja pitkin valumalla alapuolisiin rakenteisiin. Perustuksiin sadevesi voi aiheuttaa kosteusrasitusta vajovetenä ja valumavetenä. (Lehtoviita ym. 2020, s. 28)



Kuva 2. Sadeveden mahdollisia kulkeutumistapoja ja paikkoja, joista sadevesi voi päästä rakenteisiin (mukaiillen Lehtoviita ym. 2020, s. 29).

Lumi voi siirtyä helposti keveytensä ansioista paikkoihin, joihin vesikään ei pääse kulkeutumaan. Tuulen vaikutuksesta lumi siirtyy helposti esimerkiksi räystään kautta yläpohjaan. Jäättyessään vesi saattaa aiheuttaa myös vaurioita rakenteisiin sekä padota nestemäistä vettä. Lisäksi jään ja lumen sulaminen voi lisätä kosteusrasitusta huomattavasti. (Lehtoviita ym. 2020, s. 29)

### 3.2 Ulkoilmasta tuleva vesihöyry

Suomen rakentamismääräyskokoelman C3 (2003, s. 3) mukaan rakennuksen vaippa rajaa lämpimän tai puolilämpimän tilan ulkoilmasta. Siihen siis kuuluvat esimerkiksi yläpohja, alapohja ja ulkoseinät. Rakennuksen vaippa on jatkuvasti alttiina ulkoilman vesihöyrylle. Rakenteiden kosteus vaihtelee ilman kosteuspitoisuuden mukaan, koska ympäröivän ilman kosteuspitoisuus määrää rakennusmateriaalien hygroskooppisen kosteustasapainon. (Sisäilmayhdistys 2008)

Ilman suhteellinen kosteus vaihtelee melko vähän vuoden eri kuukausina. Ulkoilman suhteellinen kosteus on kesällä noin 65 % ja talvella 90 %. Lämpötilan vaihdellessa suuresti eri kuukausina, vesihöyrypitoisuuksien arvot vaihtelevat huomattavasti. Vesihöyryn määrä vaihtelee kesän 10 g/m<sup>3</sup>:sta talvikuukausien noin 1 g/m<sup>3</sup>:aan. (Björkholtz 1997, s. 48; Pitkäranta ym. 2016, s. 109)

### 3.3 Sisäilmasta tuleva vesihöyry

Sisäilman vesihöyrypitoisuuteen vaikuttaa enimmäkseen ulkoilman vesihöyrypitoisuus, huonetilan kosteustuotto, sisätilan ilmanvaihdon suuruus sekä merkitykseltään pienemmät tekijät, kuten ilman vesihöyryn sitoutuminen rakennusaineisiin ja poistuvan vesihöyryn määrä rakenteiden läpi. (Lehtoviita ym. 2020, s. 21; Pitkäranta ym. 2016, s. 106)

Sisäilmaan vesihöyryä tuottaa suihkussa käynti ja saunominen, siivoaminen, ihmisten hengitys ja hikoilu, ruuanlaitto ja tiskaaminen, pyykinpesu ja pyykin kuivattaminen, kasvit sekä ilmankostutus (RIL 250-2020, s. 97; Sisäilmayhdistys 2008).

Sisäilman vesihöyrypitoisuutta voidaan kuvata sisäilman vesihöyryn taseyhtälöllä, jossa huomioidaan merkittävimmät tekijät:

$$v_s = v_u + \frac{G}{nV}, \quad (2)$$

missä  $v_s$  on sisäilman vesihöyrypitoisuus [g/m<sup>3</sup>],

$v_u$  on ulkoilman vesihöyrypitoisuus [g/m<sup>3</sup>],

$G$  on sisätilan kosteustuotto [g/h] ja

$n$  on sisätilan ilmanvaihtoluku [g/h]. (Lehtoviita ym. 2020, s. 21)

Asuinrakennuksen sisätilan kosteudentuottoarvoja on lueteltu RIL 107-2000 kirjassa. Siitä voidaan havaita, että suihkussa käynti tuottaa huomattavasti eniten kosteutta, noin

2600 g/h. Myös keittiötoiminta tuottaa runsaan määrän kosteutta 600–1500 g/h. Ihminen tuottaa myös melko runsaasti kosteutta 40:stä jopa 300 g/h. Merkittävistä kosteuslähteistä lisäksi kylpeminen tuottaa 700 g/h kosteutta.

Kosteustuotto voi olla moninkertainen teollisuus- ja tuotantorakennuksissa verrattuna asuinrakennuksen kosteuslähteisiin. Näitä ovat esimerkiksi kuivaamot, selluteollisuuden rakennukset ja pesulat. Suuria kosteustuottoja esiintyy myös muissa erikoistiloissa, joissa käsitellään paljon vettä. Tällaisia ovat esimerkiksi uimahallit ja vedenkäsittelylaitokset. Myös rakennuskosteus voi lisätä sisäilman kosteutta. (Lehtoviita ym. 2020, s. 23)

### **3.4 Kosteus maaperästä**

Maaperässä oleva kosteus voi esiintyä pintavetenä, vajovetenä, pohjavetenä, kapillaarivetenä sekä maan huokosissa olevana vesihöyryinä. Maaperän kosteusolosuhteet vaihtelevat paikallisten olosuhteiden mukaan. Olosuhteisiin vaikuttavat pinnanmuodot, vesistöt, pohjaveden korkeus, maalajikerrostumat ja niiden kosteustekniset ominaisuudet sekä kuivatusjärjestelyt maan pinnalla ja rakennuksen ympärillä. Maaperän huokosissa oleva ilma oletetaan ohutta kuivakuorikerrosta lukuun ottamatta olevan täydellisesti vesihöyryllä kyllästetyksi eli huokosten suhteellinen kosteus on tällöin 100 %. (RIL 250-2020, s. 99; Lehtoviita ym. 2020, s. 32)

Valittaessa rakennuksen korkeusasema ja suunniteltaessa rakenteita maaperän kosteusrasitusta sekä saderasitusta vastaan tulee rakennuspaikan kosteusolot ottaa huomioon. Kosteusteknisessä suunnittelussa täytyy ottaa huomioon myös kullekin maalajille ominaiset kapillaariset ominaisuudet. (RIL 250-2020, s. 99)

Hulevedet eli sade- ja sulamisvedet ohjataan rakennuksen viereltä pois muotoilemalla rakennuksen ympärillä oleva maa kolmen metrin etäisyydeltä perusmuurista 1:20 kaadolla pois päin viettäväksi sekä ojittamalla. Salaojituksella mahdollistetaan pohjaveden pitäminen riittävällä etäisyydellä rakennuksen alapohjasta ja estetään veden

kapillaarivirtaus alapohjaan. Salaojituksella mahdollistetaan myös maahan imeytyvän pintaveden johtaminen pois. (RIL 107-2022, s. 58)

### 3.5 Rakennuskosteus

Suomen rakentamismääräyskokoelman C2 (1999, s. 8) mukaan rakennuskosteus tarkoittaa ”rakennusvaiheen aikana tai sitä ennen rakenteisiin tai rakennusaineisiin joutunutta rakennuksen käytönaikaisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta, jonka tulee poistua”. Rakennuskosteus on siis ylimääräistä kosteutta, joka on joutunut rakennusaineisiin ja -tarvikkeisiin valmistuksen, varastoinnin tai rakentamisen aikana ja joka pyrkii poistumaan.

Rakennuskosteus voidaan kuvata kaavalla:

$$W_{\text{rakennuskosteus}} = w_0 - W_{\text{tasapainokosteus}}, \quad (3)$$

missä  $W_{\text{rakennuskosteus}}$  on rakennuskosteus [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  
 $w_0$  on rakennusvaiheessa oleva vesimäärä [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ja  
 $W_{\text{tasapainokosteus}}$  on rakenteen tasapainokosteus ympäristön kanssa [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  
 joka on riippuvainen ympäristön suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta.  
 (Björkholz 1997, s. 51)

Elementin valun jälkeen betonista poistuva veden määrä kuutiometriä kohden on noin 80 kg. Kuivumisaika pitenee huomattavasti, jos rakenteeseen pääsee kosteutta rakentamisen aikana. Rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttaa useat tekijät ja ne voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin. Sisäisiä tekijöitä ovat seinän muotoilu, rakenteen lämpötila, rakenteen kosteustila tarkasteluajankohtana, pinnan karheus sekä rakennekerrosten materiaaliominaisuudet ja tuuletustapa. Ulkoisia tekijöitä rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen ovat sisä- ja ulkoilman lämpötila sekä kosteus, kyllästymisvajaus, ilman nopeus ja lämpötilaero rakenteen pintaan ja auringon säteily.

Seinärakenne tulee olla ennen pinnoitusta ja saumausta riittävän kuiva, joten rakenteelle tulee varata riittävä kuivumisaika. Rakennuskosteuden kuivumista voidaan edistää kuivattamalla ja lämmittämällä rakennusta sekä lisäämällä tuuletusta. (Elementtisuunnittelu 8.1.2024)

Rakenteiden rakennuskosteuden määrä voi vaihdella runsaasti riippuen useista tekijöistä. Näitä ovat esimerkiksi rakennusaineen ominaisuudet, varastointi, kuljetus sekä rakenteen suojaus. Rakenteet on kuivattava hyvin ennen rakennuksen käyttöä ja rakenteet on suunniteltava kosteusteknisesti oikein kosteusvaurioiden välttämiseksi. Rakenteet täytyy suojata hyvin sateelta ja maan kosteudelta. On myös tärkeää toimittaa tarvikkeet oikealla ajalla työmaalle. (Lehtoviita ym. 2020, s. 56)

Taulukko 1. Eräiden rakenteiden ja rakennusmateriaalien normaaleja rakennuskosteuksia (mukaillen Lehtoviita ym. 2020, s. 56).

<b>Materiaali</b>	<b>Rakennus- vaiheen kosteus, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Kemiallisesti sidottu kosteus, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Tasapaino- kosteus, kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Rakennus- kosteus, kg/m<sup>3</sup></b>
Betoni K 15	180	40	25	115
Betoni K 25	180	60	30	90
Betoni K 40	180	70	40	70
Kevytbetoni	100 - 200		20	80 - 180
Kalkkisementtilaasti	300	20	30	250
Tiili	10		10	0
Tiilimuuri	80		10	70
Puu	60		40	20

Rakennuskosteuden kuivuminen voidaan jakaa kahteen osaan kuivumisnopeuden mukaan. Ensimmäisessä vaiheessa kuivumisnopeus pysyy vakiona, kun pinta on kostea.

Toisessa vaiheessa kuivumisnopeus ei pysy vakiona, vaan pienenee jatkuvasti kostean rintaman siirtyessä yhä syvemmälle rakenteeseen. (Björkholz 1997, s.80)

### **3.6 Laitteiden ja putkien vuodot**

Yleisimpiä syitä rakennusten kosteusvaurioille on vesi, viemäri- ja lämmitysputkien vuodot. Myös erilaisten vettä käsittelevien laitteiden vuodot ovat suuri riskitekijä kosteusvaurioille. Putkistot kulkevat usein vaikeasti havaittavissa paikoissa ja vuoto voi olla hyvin pieni, joten vuotoa ei aina heti huomaa. Usein vuoto on kuitenkin niin suuri ja näkyvä, että vuoto havaitaan melko nopeasti. Kun vuoto havaitaan, vettä on usein vuotanut jo niin suuri määrä, että joudutaan tehdä suuriakin kuivatus- ja korjaustöitä. (Sisäilmayhdistys 2008; Lehtoviita ym. 2020, s. 32)

Suomen rakentamismääräyskokoelman C2 (1999, s. 48) mukaan kiinteistöjen viemäri- ja vesilaitteistojen sekä ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytyslaitteistojen suunnittelulla, rakentamisella ja varustelulla on huolehdittava, että mahdollinen vuoto havaitaan mahdollisimman pian laajojen kosteusvahinkojen välttämiseksi.

## 4 KOSTEUDEN SIIRTYMISTAVAT RAKENTEISSA

### 4.1 Vesihöyryn siirtyminen diffuusiolla

Diffuusiossa kaasumolekyylit pyrkivät siirtymään suuremmasta pitoisuudesta pienempään lämpöliikkeen vaikutuksesta. Vesihöyryn osapaineen ollessa erilainen suljetun tilan eri osilla paikallaan seisovassa ilmassa diffundoituu vesihöyry niin, että osapaineet tasoittuvat. Vesihöyry siirtyy siis suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään, myös huokoisen rakenteen läpi. (Pitkänen 2022, dia 43; Lehtoviita ym. 2020, s. 40)

Tavallisesti Suomen ilmastossa diffuusio tapahtuu sisätiloista ulkovaipan rakenteiden läpi ulkoilmaan päin. Kesällä diffuusiosiiirtymisen suunta voi vaihdella ulkoilman suuren vesihöyrypitoisuuden takia. Yleensä diffuusion suunta on lämpimästä tilasta kylmempään päin, mutta aina suunta ei kuitenkaan määräydy lämpötilan mukaan vaan esimerkiksi alapohjarakenteissa kosteutta voi tulla kylmemmästä lämpöisempään diffuusiolla. Vaipparakenne pyrkii estämään diffuusiovirtaa. Diffuusiolla siirtyvän vesihöyryn määrä aineen tai rakenteen läpi riippuu materiaalin huokoisuudesta, huokosten rakenteesta, aineen vesipitoisuudesta ja lämpötilasta sekä pitoisuuserosta. (Pitkänen 2022, dia 44; Sisäilmayhdistys 2008)

Kosteuden siirtymistä rakenteeseen on tarkoitus estää höyrynsulun avulla. Seinän sisäpinnassa höyrynsululla on oltava riittävä vesihöyrynvastus ja tavoitteena on tehdä seinämärakenne niin, että sen vesihöyrynvastus pienenee kylmään tilaa päin mennessä. Yleisenä sääntönä pidetään 5:1, eli seinän sisäpinnassa on oltava ainakin viisi kertaa suurempi vesihöyrynvastus kuin ulkopinnalla (tuulensuoja). Höyrynsulku asennetaan lähelle rakenteen sisäpintaa. (RIL 250-2020, s.108; Siikainen 2016, s. 163)

Diffuusion kannalta kaikki seinät toimivat turvallisesti, jos sisäilman kosteuslisä on pieni ja rakenteeseen ei pääse vettä kosteusvuotojen takia. Höyrynsulullinen rakenne on



kondensoitumisen kannalta selvästi vähemmän riskialtis kuin kosteutta läpäisevä rakenne. (Vinha&Käkelä 1999, s.77)

#### 4.1.1 Diffuusiolaskelmat

Rakenteiden kosteusteknisiä ominaisuuksia voidaan kuvata diffuusiolaskelmin. Monimutkaisempia, useita eri tekijöitä huomioon ottavia laskelmia voidaan tehdä tietokonelaskelmin. Laskelmilla pystytään arvioimaan kosteuden tiivistymisen mahdollisuus ja tiivistyvän veden määrä. Laskelmilla pystytään arvioimaan myös poistuvan kosteuden määrä kuivumiskautena. Diffuusiotarkastelussa ilman vesihöyrypitoisuutena voidaan käyttää joko vesihöyrypitoisuutta tai vesihöyryn osapainetta. (Pitkänen 2022, dia 45)

Laskelmissa tarvittava aineen vesihöyrynläpäisevyys eli diffuusiokerroin  $\delta_p$  ilmoittaa sen vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyryn osapaine-ero ainekerroksien eri puolilla on paineyksikön suuruisen (Pa) tai vesihöyrypitoisuuksien ero on yksikön ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) suuruisen. (Pitkänen 2022, dia 47)

Aineen vesihöyrynläpäisykerroin eli vesihöyrynläpäisy  $W_p$  kertoo vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen tarvikkeen, kun tarvikkeen eri puolilla vesihöyrypitoisuuksien ero tai vesihöyryn osapaineiden ero on yksikön suuruisen. (Pitkänen 2022, dia 48)

Aineen vesihöyrynvastus eli diffuusiovastus  $Z_p$  ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai tällaisista muodostuvan tasapaksun kerroksellisen rakenteen pinnoilla eri puolella vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden eron ja ainekerroksen tai rakenteen läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti diffundoituvan vesihöyryvirran suhteen. (Pitkänen 2022, dia 48)

Vesihöyryn diffuusiovirtaus kerroksen läpi, kun ilman vesihöyrypitoisuutta tarkastellaan vesihöyrypitoisuutena:

$$g = \delta_v \frac{v_1 - v_2}{d}, \quad (4)$$

missä  $g$  on vesihöyryn diffuusiovirtaus [ $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ],  
 $\delta_v$  on materiaalin vesihöyrynläpäisevyys [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],  
 $v_1$  ja  $v_2$  ovat vesihöyrypitoisuudet eri puolilla kerrosta [ $\text{g}/\text{m}^3$ ] ja  
 $d$  on kerroksen paksuus [ $\text{m}$ ].

Diffuusiovirtaus kun vesihöyrypitoisuutta kuvataan vesihöyryn osapaineena:

$$g = \delta_p \frac{p_1 - p_2}{d}, \quad (5)$$

missä  $\delta_p$  on materiaalin vesihöyrynläpäisevyys [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ ],  
 $p_1$  ja  $p_2$  vesihöyryn osapaineet eri puolilla kerrosta [ $\text{Pa}$ ] ja  
 $d$  on kerroksen paksuus [ $\text{m}$ ]. (Björkholz 1997, s. 55)

Vesihöyrynläpäisevyyksien  $\delta_v$  ja  $\delta_p$  välillä on yhteys:

$$\delta_v = \frac{R \cdot T}{M} * \delta_p, \quad (6)$$

missä  $R$  = kaasuvakio =  $8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  
 $M$  = veden molekyyliaino =  $0,018 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  ja  
 $T$  on lämpötila [ $\text{K}$ ].

Vesihöyrynvastus rakennekerroksessa vesihöyrypitoisuuksilla laskettaessa:

$$Z_v = \frac{d}{\delta_v}, \quad (7)$$

missä  $Z_v$  on vesihöyrynvastus rakennekerroksessa [s/m] ja  
 $d$  on rakennekerroksen paksuus [m].

Vesihöyrynvastus laskettaessa vesihöyryn osapaineiden avulla:

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p}, \quad (8)$$

missä  $Z_p$  on vesihöyrynvastus rakennekerroksessa [ $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg}$ ].

Vesihöyrynvastuksen  $Z_p$  arvoja on taulukoitu esimerkiksi lähteessä RIL107-2020.

Kokonaisvesihöyrynvastus eli kokonaisdiffuusiovastus saadaan laskemalla kerrosten vesihöyrynvastukset yhteen  $\Sigma Z$ . (Lehtoviita ym. 2020, s. 40–41)

Homogeenisista ainekerroksista koostuvan kerroksellisen rakenteen läpi kulkeva diffuusiovirtaus:

$$g = \frac{v_s - v_u}{\Sigma Z_v}, \quad (9)$$

missä  $v_s$  on sisäilman vesihöyrypitoisuus [ $\text{g}/\text{m}^3$ ] ja  
 $v_u$  on ulkoilman vesihöyrypitoisuus [ $\text{g}/\text{m}^3$ ].

Diffuusiovirtaus osapaineiden avulla:

$$g = \frac{p_s - p_u}{\Sigma Z_p}, \quad (10)$$

missä  $p_s$  on vesihöyryn osapaine sisäilmassa [Pa] ja  
 $p_u$  on vesihöyryn osapaine ulkoilmassa [Pa]. (Björkholz 1997, s. 56)

#### 4.1.2 Diffuusion kondenssi

Kondensoituminen eli vesihöyryn tiivistyminen vedeksi tapahtuu ilman suhteellisen kosteuden ollessa 100 %. Tiivistymistä voi tapahtua rakenteen pinnassa tai sen sisällä. Vesihöyryn kyllästymiskosteuden eli kastepisteen ylittyessä vesihöyry tiivistyy rakenteissa ympäröivää ilmaa kylmemmälle, kovalle pinnalle. (Siikainen 2014, s. 72)

Kondensoitumisriski on olemassa esimerkiksi silloin, kun liian kylmä rakenteen sisäpinta rajautuu lämpimään huonetilaan (esim. kylmä ikkunalasi) tai kylmäsilan vaikutuksesta. Höyrinsulullisessa seinässä kondenssiriski on olemassa silloin, kun sisäseinässä on reikiä höyrinsulussa ja rakennuslevyissä tai höyrinsulku puuttuu kokonaan. Yleisimmin kosteusvaurioita syntyy silloin, jos rakenteen sisäpuolelta pääsee vesihöyryä diffuusiolla enemmän rakenteeseen kuin rakenteesta voi poistua ja näin rakenteen kosteuspitoisuus kasvaa ajan mukana. Rakenteessa olevat puupohjaiset materiaalit auttavat höyrinsulussa olevien reikien kohdalla tasaamaan kosteutta puun hygroskooppisen ominaisuuden vuoksi. Hygroskooppinen aine pystyy sitomaan ilmasta kosteutta ja luovuttamaan sitä. Materiaaleissa oleva ylimääräinen kosteus lisää kuitenkin kondensoitumisen riskiä. (RIL 250-2020, s.107; Siikainen 2014, s. 72; Vinha&Käkelä 1999, s.77)

Diffuusiolaskelmien avulla pystytään tarkastelemaan myös kosteuden tiivistymismahdollisuutta rakenteeseen sekä rakenteen eri kohdissa olevaa suhteellista kosteutta ja arvioida näin vesihöyryn diffuusiovirtauksesta johtuvaa rakenteen homehtumisriskiä (Lehtoviita ym. 2020, s. 43).

Vesihöyryä tiivistyy rakenteeseen, jos vesihöyryn osapaine ylittää kyllästysosapaineen. Tiivistymiseen vaikuttaa myös lämpötilaolosuhteet. Homogeenisessa ainekerroksessa osapaineen muutos voidaan ajatella olevan suoraviivaista. Vesihöyrystä tiivistyy kyllästysvesihöyrymäärän ylittävä osa ja kosteus kyseisessä rakenteen osassa alkaa kasvaa. Osa tästä kosteudesta kuitenkin höyrystyy uudelleen jatkaen kulkeutumista rakenteessa. (Pitkänen, 2022 dia 56–57; Lehtoviita ym. 2020, s. 43)

Rakenteessa voi tapahtua myös kuivumista ulos- ja sisäänpäin. Vuosi voidaan ajatella jakautuvan tiivistymis- ja kuivumisjaksoon. Tiivistymisjaksona aikana rakenteeseen tiivistyy kosteutta ja sen kosteuspitoisuus kasvaa. Tiivistynyt kosteus on poistuttava kuivumiskauden aikana, jotta vältetään kosteusvaurio. Tiivistyneen veden määrä ja kohta rakenteessa voidaan selvittää tiivistymislaskelmilla. Laskelmilla voidaan esittää diffuusiolla siirtyvän vesihöyryn aiheuttama rakenteen vesihöyrypitoisuusjakauma ja vesihöyryn osapainejakauma. Vesihöyryn osapaine rakenteen mielivaltaisessa kohdassa x:

$$p_x = p_s - \frac{\sum Z_x}{\sum Z_p} * (p_s - p_u), \quad (11)$$

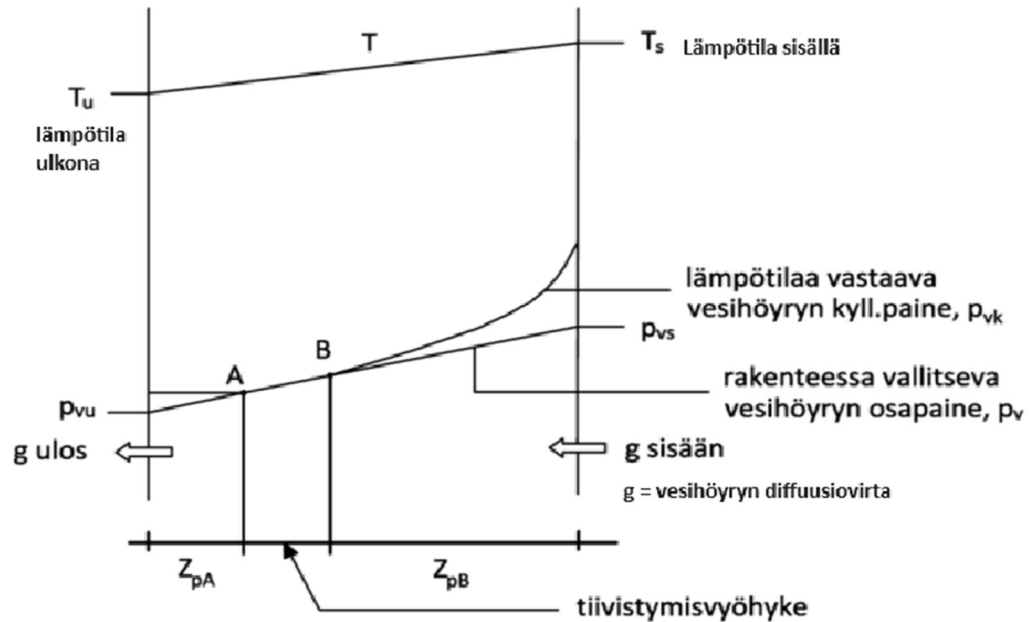
missä  $p_x$  on vesihöyryn osapaine rakenteen sisällä kohdassa x [Pa],  
 $p_s$  on vesihöyryn osapaine sisällä [Pa],  
 $p_u$  on vesihöyryn osapaine ulkona [Pa],  
 $\sum Z_x$  on sisäpinnasta kohtaan x olevien kerrosten vesihöyryvastusten summa [ $m^2 \cdot s \cdot Pa/kg$ ] ja  
 $\sum Z_p$  on rakenteen kokonaisvesihöyryvastus [ $m^2 \cdot s \cdot Pa/kg$ ]. (Björkholz 1997, s. 66)

Lämpötila rakenteen mielivaltaisessa kohdassa x:

$$t_x = t_s - \frac{\sum m_x}{\sum m} * (t_s - t_u), \quad (12)$$

missä  $t_x$  on lämpötila kohdassa x [ $^{\circ}C$ ],  
 $\sum m_x$  on lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan x [ $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$ ],  
 $\sum m_t$  on koko rakenteen lämmönvastus [ $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$ ] ja  
 $t_s$  on sisäilman lämpötila [ $^{\circ}C$ ]. (Björkholz 1997, s. 66)

Vesihöyrypitoisuus  $v$  rakenteen sisällä voidaan laskea vastaavasti käyttämällä osapaineiden sijasta vesihöyrypitoisuuksia. (Pitkänen 2022, dia 55)



Kuva 3. Vesihöyryn tiivistyminen rakenteessa (mukaillen Lehtoviita ym. 2020, s. 44).

Rakenteeseen aikayksikössä tiivistyvä vesimäärä voidaan laskea seuraavasti:

$$g_{tiiv} = \frac{p_s - p_B}{z_{pB}} - \frac{p_A - p_u}{z_{pA}}, \quad (13)$$

missä  $g_{tiiv}$  on tiivistyneen veden määrä aikayksikössä [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ],

$p_s$  on vesihöyryn osapaine sisäilmassa [Pa],

$p_u$  on vesihöyryn osapaine ulkoilmassa [Pa],

$p_A$  on vesihöyryn osapaine kohdassa A eli, jossa tiivistymisvyöhyke alkaa ulkoilman puolelta [Pa],

$p_B$  on vesihöyryn osapaine kohdassa B eli, jossa tiivistymisvyöhyke alkaa sisäilman puolelta [Pa],

$z_{pB}$  on vesihöyrynvastusten summa sisäpinnasta kohtaan B [ $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$ ]

ja

$z_{pA}$  on vesihöyrynvastusten summa ulkopinnasta kohtaan A [ $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$ ].

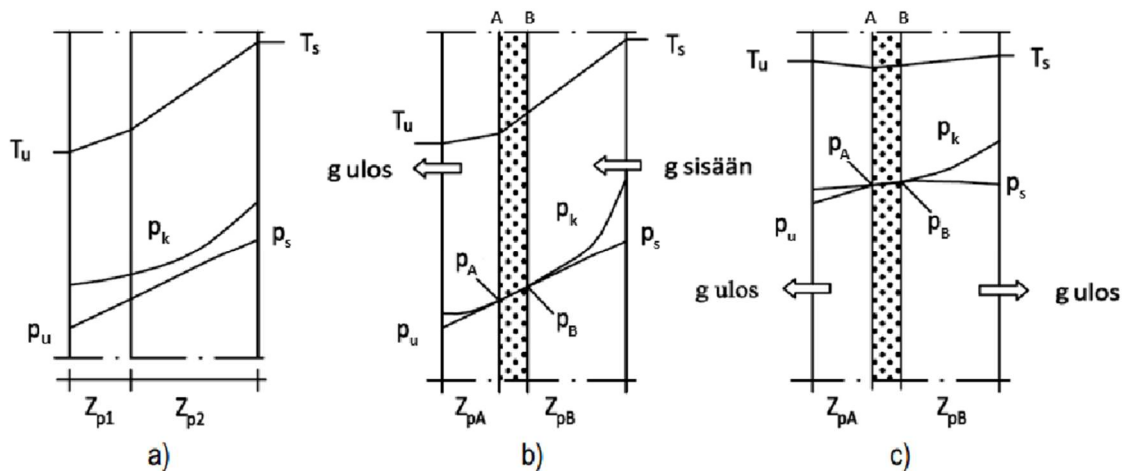
Kaavassa termien erotus kuvaa seinään jäävää kosteusvirtaa. Ensimmäinen termi kaavassa kuvaa sisältä rakenteeseen tulevaa ja tiivistyvää kosteutta, ja jälkimmäinen termi samanaikaisesti tiivistymiskohdasta ulos diffundoituvaa kosteus määrää.

Vastaavasti lasketaan aikayksikössä poistuva kosteus:

$$g_{kuiv} = \frac{p_A - p_u}{Z_{pA}} - \frac{p_B - p_s}{Z_{pB}}, \quad (14)$$

missä  $g_{kuiv}$  on poistuvan kosteuden määrä aikayksikössä [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ].

Kaavassa ensimmäinen termi kuvaa kuivumista tiivistymiskohdasta ulospäin ja toinen termi kuivumista tiivistymiskohdasta sisäänpäin. (Björkholz 1997, s. 67)



Kuva 4. Vesihöyryn osapainejakauma erilaisissa tilanteissa (mukailten Lehtoviita ym. 2020, s. 45).

a) -kohdassa vesihöyryn osapainekäyrä kulkee seinän joka kohdassa alempana kuin kylläisen vesihöyryn osapainekäyrä, joten tiivistymistä ei tapahdu.

b) -kohdassa tiivistymistä tapahtuu alueella A-B, koska vesihöyryn osapainekäyrä leikkaa kylläisen vesihöyryn osapainekäyrän.

c) -kohdassa kuivumista tapahtuu ulos- ja sisäänpäin alueella A-B, koska vesihöyryn osapainekäyrä kulkee alempana kylläisen vesihöyryn osapainekäyrä.

Tiivistyvän tai kuivuvan veden määrä voidaan laskea seuraavasti:

$$G = g * t, \quad (15)$$

missä  $G$  on tiivistyvän veden määrä [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ],  
 $g$  on vesihöyryn diffuusiovirtaus [ $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ] ja  
 $t$  on kuivumis- tai tiivistymisaika [ $\text{s}$ ]. (Lehtoviita ym. 2020, s. 43)

## 4.2 Vesihöyryn siirtyminen konvektiolla

Kosteuskonvektiolla tarkoitetaan vesihöyryn siirtymistä ilmavirran mukana. Ilmavirtaukset johtuvat rakenteen eri puolilla olevista erilaisista ilman kokonaispaineista. Paine-eroja voi aiheuttaa esimerkiksi tuuli, lämpötilaerot ja ilmanvaihto. Konvektio voi joko kuivattaa tai aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteen sisälle. Kuivattava vaikutus aiheutuu ilman kosteudensitomiskyvyn kasvusta, kun ilma lämpenee virratessaan sisälle. Tiivistymistä puolestaan tapahtuu, kun ilma jäätyy sisältä ulos virratessaan ja näin ollen veden kosteudensitomiskyky pienenee. (Björkholz 1997, s. 57)

Konvektiota tapahtuu huokoisissa materiaaleissa sekä rakenteessa olevien reikien ja rakojen läpi. Reikien ja rakojen läpi tapahtuva konvektio on kuitenkin merkittävästi suurempi kuin huokoisissa materiaaleissa tapahtuva konvektio. Ilman konvektion mukana siirtyvä kosteusmäärä voidaan laskea seuraavasti:

$$g = v * Q, \quad (16)$$

missä  $g$  on kosteusmäärä [ $\text{kg}/\text{s}$ ],  
 $v$  siirtyvän ilman vesihöyrynpitoisuus [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ja



Q läpi virtaava ilmamäärä [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]. (Björkholz 1997, s. 57)

Rakenteeseen tiivistyy kosteutta, kun ilma jäähtyy alle kastepistelämpötilan virratessaan rakenteen läpi. Tiivistyvän veden enimmäismäärä laskettuna vesihöyrynpitoisuuksilla:

$$g = Q * (v_s - v_u), \quad (17)$$

missä  $v_s$  on siirtyvän ilman vesihöyrynpitoisuus [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ja  
 $v_u$  on virtausreitin alinta lämpötilaa vastaava kriittinen vesihöyrynpitoisuus [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]. (Pitkäranta ym. 2016, s. 115)

Ohuessa ja paksussa rakenteessa olevien reikien tai rakojen kautta siirtyvät ilmamäärät arvioidaan eri tavalla. Virtauksen ollessa laminaarinen paksussa rakenteessa, saadaan virtaava ilmamäärä raolle:

$$Q = A * \frac{b^2}{12 * \eta} * \frac{\Delta p}{l} \text{ ja } A = b * x, \quad (18)$$

missä Q on virtaava ilmamäärä [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
A on raon pinta ala [ $\text{m}^2$ ],  
b on raon leveys [m],  
x on raon pituus [m],  
l on raon syvyys [m],  
 $\eta$  on ilman viskositeetti [ $\text{N} * \text{s}/\text{m}^2$ ] ja  
 $\Delta p$  on sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero [Pa].

Virtaava ilmamäärä reiälle paksussa rakenteessa:

$$Q = A * \frac{d^2}{32 * \eta} * \frac{\Delta p}{l} \text{ ja } A = \frac{\eta * d^2}{4}, \quad (19)$$

missä d on reiän halkaisija [m] ja

$l$  on reiän syvyys [m].

Paine-ero muissa kuin laminaarisen virtauksen tapauksissa saadaan seuraavilla kaavoilla:

$$\text{raoissa} \quad \Delta p = \frac{12 * \eta * l}{b} * \left(\frac{Q}{A}\right) + 1.13 * \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \text{ ja} \quad (20)$$

$$\text{rei'issä} \quad \Delta p = \frac{32 * \eta * l}{d^2} * \left(\frac{Q}{A}\right) + 1.13 * \left(\frac{Q}{A}\right)^2. \quad (21)$$

Ohuissa rakenteissa virtaava ilmamäärä saadaan seuraavasti:

$$Q = 0.8 * A * \sqrt{\Delta p}, \quad (22)$$

missä  $A$  on reiän pinta-ala [m<sup>2</sup>]. (Björkholz 1997, s. 58)

Huokoisen materiaalin läpi virtaava ilmamäärä voidaan laskea seuraavasti:

$$Q = \frac{B_0 * \Delta p}{\eta * d} * A, \quad (23)$$

missä  $Q$  on virtaava ilmamäärä materiaalikerroksen läpi [m<sup>3</sup>/s]

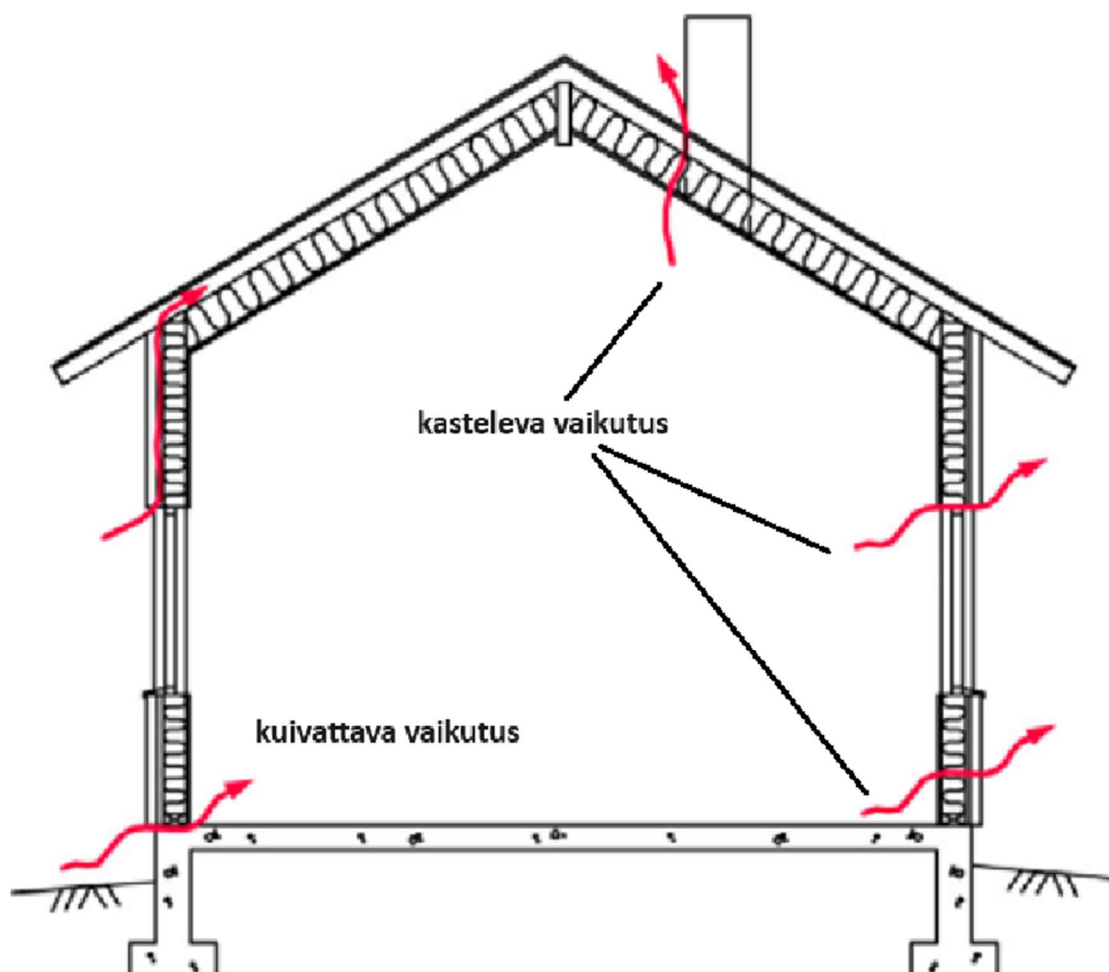
$B_0$  on ilman läpäisevyys [m<sup>2</sup>],

$\eta$  on ilman dynaaminen viskositeetti =  $(17,1 + 0,0049 * t) 10^{-6}$  [N\*s/m<sup>2</sup>],

$\Delta p$  on ilmanpaine-ero materiaalikerroksen yli [Pa],

$d$  on kerroksen paksuus [m] ja

$A$  on virtauspinta-ala [m<sup>2</sup>]. (Lehtoviita ym. 2020, s. 48)



Kuva 5. Ilmavirtausten vaikutukset rakenteiden kuivumiseen ja kastumiseen (mukaiillen Pitkäranta ym. 2016, s. 116).

Kokeiden perusteella konvektion kannalta kaikki seinärakenteet toimivat turvallisesti, jos sisäilma on alipaineinen tai rakenteessa on ehjä ilmansulkukerros. (Vinha & Käkelä 1999, s.78)

Rakenteessa olevan ilmansulun tehtävänä on tehdä rakenteesta ilmatiivis ja siten rajoittaa vesihöyryn siirtyminen rakenteeseen konvektiolla. Ilmansulku muun muassa estää haitallisten partikkeleiden ja kaasujen siirtyminen rakenteista ja ulkopuolelta sisäilmaan. Ilmansulku myös vähentää ilmavirtauksen aiheuttamaa jäähdyttävää vaikutusta

rakenteessa sekä vedontunnetta. Näin se vähentää myös rakennuksen energiankulutusta. (RIL 107-2022, s. 30)

### 4.3 Veden siirtyminen kapillaarisesti

Veden kapillaarisessa siirtymisessä vesi pyrkii liikkumaan huokoisessa materiaalisissa huokosten muodostamassa putkistoverkostossa. Siirtyminen johtuu kapillaarivoimien aiheuttamasta huokosalipaineesta. Alipaine syntyy huokosten seinämien ja veden molekyylien välisistä vetovoimista ja huokoseen nousevaan vesipatsaan yläpinnan kaareutumisesta. Huokosalipaine on sitä suurempi mitä pienempiä huokoiset ovat eli sitä korkeammalle vesi nousee. Alipaine aiheuttaa imuvoiman jonka avulla vesi nousee. Veden nousu jatkuu tasolle, jossa kohonneeseen vesimassaan kohdistuvat kapillaarivoimat ovat tasapainossa. Näitä kapillaarivoimia ovat kapillaarisen imun aiheuttama noste sekä vesipatsaaseen kohdistuva painovoima. Painovoima, viskositeetti ja vesipatsaan ja putken seinämien väliset kitkavoimat toimivat kapillaarista siirtymistä vastustavina voimina. (Leivo & Rantala 2006, s. 21)

Veden imeytyminen materiaaliin on mahdollista vain, jos materiaali on kosketuksessa vapaaseen veteen tai materiaaliin, jonka huokosissa on vettä. Kapillaarinen nousukorkeus on tasapainotila, jossa huokosalipaine ja vesipatsaaseen kohdistuva maan vetovoima ovat tasapainossa. Vesi pystyy siirtymään suurempihuokoisesta materiaalista pienempihuokoiseen materiaaliin kapillaarisesti sekä myös suuremmasta huokosesta pienempään huokoseen materiaalin sisällä. Tämä on seurausta huokosalipaineen riippuvuudesta huokoskoosta. (Pitkäranta 2016, ym. s. 111)

Kapillaarinen nousukorkeus voidaan laskea seuraavasti:

$$h = \frac{2 \cdot \sigma}{\rho \cdot g \cdot R}, \quad (24)$$

missä  $h$  on kapillaarinen nousukorkeus [m],

$\sigma$  on veden pintajännitys =  $73 \cdot 10^{-3}$  [N/m] (20 °C),

$\rho$  on veden tiheys [kg/m<sup>3</sup>],

$g$  on Maan putoamiskiihtyvyys [m/s<sup>2</sup>] ja

$R$  on huokosen säde [m]. (Lehtoviita ym. 2020, s. 34)

Kapillaariseen siirtymisnopeuteen vaikuttaa huokosalipaine ja veden virtausta vastustavista kitkavoimista. Kitkavoiman suuruus kasvaa huokoskoon pientyessä ja virtausmatkan kasvaessa. Tunkeutumissyvyydellä tarkoitetaan sitä syvyyttä  $X$  veden kanssa kosketuksissa olevan materiaalin pinnasta, johon asti huokokset ovat täyttyneet vedellä ajassa  $t$ . Veden tunkeutumissyvyys voidaan laskea seuraavasti:

$$X = \sqrt{\frac{1}{m}} * \sqrt{t} \quad (25)$$

missä  $X$  on tunkeutumissyvyys [m],

$t$  on aika [s],

$m$  on kapillaarivastus [s/m<sup>2</sup>]. (Lehtoviita ym. 2020, s. 36)

#### 4.4 Veden siirtyminen painovoimaisesti

Rakenteiden suunnittelulla huolehditaan siitä, että vettä ei pääse rakenteisiin aiheuttaen kosteusongelmia. Veden päästessä painovoimaisesti rakenteisiin vesimäärät ovat usein huomattavan suuria. Kapillaarisissa rakennusmateriaaleissa kosteuden painovoimaisen siirtymisen merkitys on vähäistä kosteuden kokonaissiirtymisessä. Ei-kapillaarisissa materiaaleissa sen merkitys on kuitenkin suuri. Veden johtaminen pois rakennuksen viereltä sekä ulko- ja sisäpinnoilta perustuu painovoimaiseen siirtymiseen. Painovoimainen siirtymä mahdollistaa myös rakennuksen kuivattamisen salaojituksella.

## 5 YHTEENVETO

Vaipparakenteen kosteustekniseen toimivuuteen on yhä enemmän alettu kiinnittää huomiota. Jo suunnitteluvaiheessa on tärkeää tarkastella huolellisesti rakennusfysikaalisia ilmiöitä. Rakennuksen erilaisia siirtymistapoja voidaankin kuvata useilla laskukaavoilla.

Veden olomuodon muutoksista erityisesti kondensoituminen eli vesihöyryn tiivistyminen vedeksi tuottaa suuria haasteita rakenteiden suunnittelussa. Kondensoitumista voi tapahtua silloin kun ympäröivän ilman kastepistelämpötila on suurempi kuin pinnan lämpötila.

Rakenteisiin voi kohdistua useita erilaisia kosteusrasituksia. Kosteuslähteitä voivat olla sade, ulko- ja sisäilman vesihöyry, maaperän kosteus, rakennuskosteus ja laitteiden ja putkien vuodot. Sateen aiheuttama kosteusrasitus saadaan estettyä tiiviillä katteella ja ulkoverhouksella ja maaperän kosteus kapillaarikatkolla. Rakennuskosteus saadaan poistettua huolellisella kuivatuksella ja putkivuotojen riskiä saadaan pienennettyä hyvällä suunnittelulla. Sisäilman vesihöyryn kulkeutuminen rakenteisiin onkin ongelmallisempi asia. Suomen olosuhteissa vesihöyryn kulkeutumissuunta on sisältä ulos eli lämpimämmästä kylmempään.

Vesihöyryn kulkeutuminen suuremmasta pitoisuudesta pienempään eli diffuusio on usein haastavaa estää. Se tehdäänkin nykyään usein erilaisten höyrünsulkukalvojen avulla. Diffuusiota tapahtuu ilmatiiviinkin huokosen materiaalin läpi. Rakennekerrosten rajapinnat ovat kriittisimpiä paikkoja diffuusion kondenssille. Näin ollen yksiaineinen rakenne kuten kevytbetoni- tai massiivipuuseinä on luotettavin vaipparakenne kondenssiriskin kannalta. Erilaisilla diffuusiolaskelmilla pystytään arvioimaan kondensoitunut ja poistuva veden määrä.

Kosteuskonvektio eli vesihöyryn siirtyminen ilmavirran mukana saattaa aiheuttaa suuriakin kosteusongelmia jo pienenkin reiän kautta. Jos sisällä on ylipaine, pienikin reikä tai huonosti asennettu höyrynsulku lisää kosteusriskiä huomattavasti vaipparakenteessa. Reiästä pääsevä vesihöyry siirtyy ilmavirran mukana ulkoilmaan päin ja jäähtyessään kondensoituu rakenteeseen.

Huokosalipaineesta aiheutuva kapillaarinen veden siirtyminen aiheuttaa eniten ongelmia alapohjissa ja sokkelin ja rungon saumakohdassa. Mitä pienemmät huokokset materiaalissa on, sitä suurempi on kapillaarinen nousukorkeus. Kapillaarinen kosteuden siirtyminen voidaan estää alapohjassa esimerkiksi sepelikerroksella sekä sokkelin ja rungon väliin asetettavalla huopakaistalla.

Veden painovoimaisella siirtymisellä ei ole suurta merkitystä kapillaarisissa rakennusmateriaaleissa, kun taas ei-kapillaarisissa materiaaleissa sillä on suurikin merkitys.

## LÄHDELUETTELO

Sisäilmayhdistys ry, 2008. Kosteustekninen toiminta [verkkodokumentti]. Espoo: Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta> [viitattu 24.10.2023].

Lehtoviita, T., Laine, E. & Alitalo, S., 2020. Kosteus, Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://tilatjaterveys.fi/documents/39510712/102937006/Rakennusfysiikan+oppimateriaali+insinöörinkoulutukseen\\_Kosteus.pdf](https://tilatjaterveys.fi/documents/39510712/102937006/Rakennusfysiikan+oppimateriaali+insinöörinkoulutukseen_Kosteus.pdf) [viitattu 10.10.2023].

Pitkäranta, M., 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, ympäristöopas 2016 [verkkodokumentti]. Helsinki: Ympäristöministeriö. ISBN 978-952-11-4626-8 (PDF) Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO\\_2016\\_Kuntotutkimusopas.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf) [viitattu 12.10.2023]. 234 s.

Kokko, E. & Kouhia, I., 1999. Kosteus rakentamisessa RakMK C2 opas, Ympäristöopas 51. 2. painos. Helsinki: Ympäristöministeriö, 56 s. ISBN 951-682-530-3.

Betoniteollisuus ry 2023. Lämpö ja kosteustekniikka [verkkodokumentti]. Betoniteollisuus ry. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka> [viitattu 24.10.2023].

Vinha J. & Käkelä P., 1999. Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta [verkkodokumentti]. 3. painos. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. ISBN 952-15-0340-8. Saatavissa:



[https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116739/vinha\\_kakela\\_vesihoyryn\\_siirtyminen\\_seinarakenteissa.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116739/vinha_kakela_vesihoyryn_siirtyminen_seinarakenteissa.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [viitattu 12.10.2023].

Pitkänen, J., 2022. Teollinen puurakentaminen, Oppimateriaalia teollisen puurakentamisen koulutukseen 2022 [verkkodokumentti]. Puuinfo. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2022/06/tPUUr\\_6.2-Kosteustekniikka.pptx](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2022/06/tPUUr_6.2-Kosteustekniikka.pptx) [viitattu 7.12.2023].

Björkholz, D., 1997. Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka. 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy, 150 s. ISBN: 951-682-432-3

Siikainen, U., 2016. Puurakentaminen. 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy, 367 s. ISBN: 978-952-267-149-3

Siikainen, U., 2014. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy, 256 s. ISBN: 978-952-267-001-4

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 2020. RIL 250-2020, Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 332 s. ISBN: 978-951-758-639-9

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 2022. RIL 107-2022, Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 233 s. ISBN: 978-951-758-683-2

Leivo, V. & Rantala, J., 2006. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Rakennusteollisuus RT ry, Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy, 59 s. ISBN: 952-5472-55-8