



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

RAKENTEIDEN KOSTEUS JA TYÖMAA-AIKAINEN KOSTEUDENHALLINTA KERROSTALOTYÖMAALLA

TEKIJÄ: Nina Pietikäinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Nina Pietikäinen	
Työn nimi Rakenteiden kosteus ja työmaa-aikainen kosteudenhallinta kerrostalotyömaalla	
Päiväys	14.5.2014
Sivumäärä/Liitteet	57/6
Ohjaaja(t) Pt. tuntiopettaja Matti Ylikärppä ja pt. tuntiopettaja Kimmo Anttonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Tero Niemelä, Skanska Talonrakennus Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus etsiä tapoja ja menetelmiä rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan kerrostalotyömaalla. Työssä oli tarkoitus tutkia kosteuden kulkemista rakenteissa sekä löytää riskipaikkoja erilaisista rakenteista. Työssä oli myös tavoitteena löytää syitä kosteusvaurioiden syntyyn sekä keinoja niiden estämiseen.</p> <p>Työssä kerättiin tietoa useista eri kirjallisuuslähteistä, jotka käsittelivät kosteutta rakenteissa. Koska työssä keskityttiin kerrostalotyömaan kosteudenhallintaan, tarkastelut koskivat lähinnä betonirakenteita. Ensin tutkittiin betonirakenteiden kosteuskäyttäytymistä yleisellä tasolla ja sen jälkeen tarkastelut ulotettiin tarkemmin maanpinnan alapuolisiin rakenteisiin, vaaka- ja pystyrakenteisiin sekä yläpohjaan ja vesikattoon.</p> <p>Työn tuloksena saatiin opas, joka esittelee kosteuden rakennusfysikaalisena ilmiönä sekä kertoo, miten rakennusaikainen kosteudenhallinta olisi hyvä toteuttaa. Työ kertoo, miten kosteus liikkuu rakenteissa ja mitä se voi rakenteissa saada aikaan. Työssä kerrotaan betonin kosteuskäyttäytymisestä sekä esitellään erilaisia rakenneratkaisuja ja niiden riskikohtia. Työssä esitellään myös, miten rakenteiden tiiviys liittyy kosteudenhallintaan sekä käydään läpi kosteusvaurion synty ja sen ehkäisy. Työn lopussa kerrotaan vielä, miten kosteudenhallintaa voidaan helpottaa kosteudenhallintasuunnitelman avulla.</p>	
Avainsanat kosteudenhallinta, rakennusfysiikka, tiiviys, kosteusvaurio, kosteudenhallintasuunnitelma	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Nina Pietikäinen			
Title of Thesis Humidity in structures and humidity control of an apartment building site			
Date	14.5.2014	Pages/Appendices	57/6
Supervisor(s) Mr. Matti Ylikärppä, Lecturer and Mr. Kimmo Anttonen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Tero Niemelä, Skanska Talonrakennus Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to find ways and methods to perform humidity control of an apartment building site. The purpose was to study how humidity moves in structures and to find risky places in different kind of structures. The aim was to find reasons why moisture damages come into existence and how they can be prevented.</p> <p>The study was done by gathering information from different sources concerning humidity in structures. Because the study concentrated on the humidity control of an apartment building site, the examinations mostly concerned concrete structures. First the humidity behaviour of concrete structures was studied in general. After that the examinations were carried out more specifically to concern underground structures, horizontal and vertical structures as well as ceiling and roof. Then different structural solutions and their risks were presented. Furthermore, the way in which sealed structures are connected to humidity control and how moisture damages come into existence as well as how they are prevented were discussed. Finally, the method for improving on-site humidity control by using a humidity control plan was introduced.</p> <p>As a result, a guide book presenting humidity as a physical phenomenon in constructions and telling how humidity control should be executed on-site was written. It was also found out how humidity moves and what it can cause in structures.</p>			
<p>Keywords humidity control, construction physics, sealed structures, moisture damage, humidity control plan</p>			

ESIPUHE

Kiitän syvästi kaikkia ihania lapsenvahteja, joita ilman tämä työ ei olisi valmistunut koskaan. Kiitän perhettäni tuesta sekä Skanskaa ja Tero Niemelää mielenkiintoisesta aiheesta. Kiitos myös ohjaajilleni.

Siilinjärvellä 14.5.2014

Nina Pietikäinen

SISÄLTÖ

LÄHTEET	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta ja tavoitteet	7
1.2 Lyhenteet ja määritelmät.....	8
2 KOSTEUS YMPÄRISTÖSSÄMME	11
2.1 Lakeja ja viranomaismääräyksiä kosteudenhallinnasta	11
2.2 Kosteus ulkoilmassa	13
2.2.1 Sateen vaikutukset rakentamisessa	16
2.3 Kosteus sisäilmassa	17
2.4 Kosteus maaperässä	19
2.5 Rakennekosteus.....	20
2.6 Kosteuden siirtyminen rakenteissa	21
2.6.1 Kosteuden siirtymismekanismit	21
2.6.2 Kapillaarisuus.....	21
2.6.3 Diffuusio.....	22
2.6.4 Konvektio	22
2.7 Kosteuden tiivistyminen rakenteisiin	22
3 BETONIRAKENTEEN KOSTEUSKÄYTTÄYTYMINEN	24
3.1 Betonin kosteus	24
3.1.1 Betonin suhteellinen kosteus.....	24
3.1.2 Betonin rakennekosteus	25
3.1.3 Betonin kastuminen.....	26
3.2 Betonin kuivuminen	27
3.3 Betonin kuivumiskutistuma	28
4 RAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTA	30
4.1 Rakenteiden suojaus	30
4.2 Maanpinnan alapuoliset rakenteet	31
4.3 Betonirakenteet	34
4.3.1 Vaakarakenteet.....	34
4.3.2 Pystyrakenteet	38
4.4 Yläpohja ja vesikatto	42

4.5	Kuivumisaika-arviot betonirakenteelle.....	43
4.5.1	Maanvarainen teräsbetonilaatta	44
4.5.2	Massiivinen paikallavalettu teräsbetonilaatta	44
4.6	Rakenteiden tiiviys	45
4.7	Kosteusvaurion synty ja ehkäiseminen	46
5	RAKENTEIDEN KUIVATTAMINEN	50
5.1	Menetelmät	50
5.2	Laitteet	51
5.2.1	Tilakuivaus	51
5.2.2	Täsmäkuivaus.....	51
6	KOSTEUDENHALLINTASUUNNITELMA	52
6.1	Mikä on kosteudenhallintasuunnitelma?.....	52
6.2	Skanska Oy:n kosteudenhallinta.....	52
7	YHTEENVETO.....	54

LÄHTEET

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Kosteusvauriot ja hometalot ovat puhuttaneet paljon viime vuosina. Kosteusongelmat ovat yleisiä niin vanhoissa taloissa kuin uudisrakennuksissakin. Tulevina vuosina kosteusasioihin on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota, sillä Suomen ja koko maailman ilmasto muuttuu koko ajan. On olemassa erilaisia ennusteita siitä, miten paljon ilmasto Suomessa muuttuu, mutta todennäköistä on, että lämpötila nousee ja sateet yleistyvät. Tämä luo entistä haastavimmat olosuhteet rakentajille ja koko rakennustuoteteollisuudelle.

Uudisrakentamisessa kosteusvauriot syntyvät työmaa-aikana tai heti sen jälkeen työmaa-aikaisten virheiden seurauksena. Vaurioiden kehittyminen ja ilmeneminen voivat kuitenkin kestää jopa vuosia. Vaurio ei välttämättä aiheudu työmaa-aikaisista virheistä, vaan sen voi aiheuttaa myös suunnitteluvirhe tai väärät materiaalivalinnat. Homevaurion syntyminen vaatii riittävästi kosteutta, lämpöä, happea, ravinteita sekä otollisille olosuhteille riittävän kestoajan. Jos kosteusvaurioiden ehkäisy haluttaisiin tiivistää muutamaan sanaan, lista voisi olla seuraava: huolellinen suunnittelu, huolellinen suojaus, huolellinen rakentaminen ja kuivatus sekä huolellinen ylläpito. Näillä yksinkertaiselta kuulostavilla toimenpiteillä kosteusvaurioiden riskiä saataisiin huomattavasti pienennettyä.

Rakentamisessa puhutaan usein hyvästä rakentamistavasta. Se voidaan määritellä eri tavoin, mutta tavoitteena on turvallinen ja terveellinen rakennus, joka kestää käyttötarkoituksessaan sille määritellyn käyttöajan. Yllä mainittu kosteusvaurioiden ehkäisylista voisi olla eräs määritelmä hyvälle rakentamistavalle. Voidaan siis jopa sanoa, että mikäli kaikki noudattaisivat hyvää rakentamistapaa pilkulleen, saataisiin kosteusvaurioiden syntymistä ehkäistyä huomattavasti. Herääkin kysymys, miksi näin ei jo tehdä? Eräs rakennusurakoitsija sanoi työmaan laadun olevan mielestään yhtä hyvän kuin heikoimman työntekijän kädenjälki. Mikäli laajennamme tätä ajatusta hiukan pidemmälle, voimme sanoa työmaan laadun olevan yhtä hyvän kuin heikoimman suunnitelman, heikoimman suojauksen, heikoimman rakentajan ja heikoimman työmenetelmän. Työmaan aikajana suunnittelun aloituksesta aina viimeisen listan kiinnitykseen asti on pitkä, eikä kosteusvaurion syntyminen vaadi kuin yhden epäonnistumisen jossain kriittisessä vaiheessa. Nykypäivän kiireisessä tulosityhteiskunnassa, jossa aika on rahaa, vaatiikin laadultaan hyvää rakentamistapaa noudattavan työmaan hoitaminen rakentajalta ja kaikilta osapuolilta tietoisuutta kosteusvaurioiden syntymekanismeista ja halua tehdä kerralla terveellinen rakennus. Monet rakennusliikkeet ovatkin laatineet kosteudenhallintasuunnitelman käytettäväksi osana rakennusprojektia.

Tässä työssä tarkastellaan työmaan kosteudenhallintaa ja esitellään keinoja sen toteuttamiseen tuotantovaiheessa. Työssä esitellään kosteus rakennusfysiikan näkökulmasta ja tarkastellaan erilaisten betonirakenteiden kosteuskäyttäytymistä. Työssä esitellään myös, mitä rakenteiden tiiviys tarkoittaa ja tarkastellaan kosteusvaurioiden syitä ja niiden ehkäisyä. Työn on tilannut Skanska Talonrakennus Oy.

1.2 Lyhenteet ja määritelmät

Absoluuttinen kosteus ilmaisee kuinka monta grammaa kosteutta sisältää yksi kuutiometri ilmaa. Yksikkönä käytetään g/m^3 .

Absorptio on ilmiö, jossa materiaali sitoo kosteutta itseensä ympäröivästä ilmasta.

Desorptio on ilmiö, jossa materiaali luovuttaa kosteutta ympäröivään ilmaan.

Emissio on ilmiö, jossa materiaalista vapautuu erilaisia kemiallisia yhdisteitä (Leivo 1998, 5).

Hygroσκοoppinen materiaali on huokoinen aine, joka pystyy sitomaan ilmasta kosteutta itseensä sekä luovuttamaan kosteutta ilmaan. Materiaalin kosteuspitoisuus ei riipu vesihöyryn määrästä ilmassa vaan suhteellisesta kosteudesta.

Höyrynsulku on ainekerros, joka estää vesihöyryn diffuusion rakenteiden välillä. Höyrynsulku voi olla esimerkiksi kalvo-, levy-, kivi- tai massiivipuurakenne. Höyrynsulun tulee olla tiivis ja yhtenäinen ainekerros, ja sillä tulee olla riittävä vesihöyrynvastus. Höyrynsulku sijaitsee rakenteen lämpimällä puolella. (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 27.)

Ilmansulku on ainekerros, joka estää vaipan läpi tapahtuvat ilmavirtaukset. Ilmansulkukin voi olla esimerkiksi kalvo-, levy-, kivi- tai massiivipuurakenne. Mikäli rakenteessa on lämmöneristekerros, ilmansulku sijoitetaan yleensä lämpimälle puolelle sisäpinnan lähelle. Mikäli rakenteessa ei ole lämmöneristettä (massiivirakenne), koko rakenne toimii ilmansulkuna, mikäli saumat ja liitoskohdat on tiivistetty huolella. (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 27.)

Kapillaarisuus on paine-erojen aiheuttama huokoisessa materiaalissa tapahtuva veden nousu.

Kastepistelämpötila l. **kastepiste** on lämpötila, johon ilman lämpötilan tulisi laskea, jotta siinä oleva vesihöyry alkaisi tiivistyä.

Kosteudeneriste on ainekerros, joka estää kosteuden siirtymisen sekä diffuusiolla että kapillaarisesti rakenteiden välillä.

Kosteus tarkoittaa vettä, joka esiintyy joko kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä muodossa.

Kosteusvirta kuvaa kosteuden (vesihöyryn) siirtymistä rakenteen läpi aikayksikössä. Yksikkönä kosteusvirralle käytetään $\text{kg/m}^2\text{s}$.

Kyllästyskosteus ilmaisee kuinka paljon vesihöyryä mahtuu ilmaan tietyssä lämpötilassa. Mitä korkeampi on lämpötila, sitä suurempi on kyllästyskosteus. Mikäli vesihöyryn määrä ylittää kyllästyskosteuden, vettä tiivistyy.

Kylmäsilta tarkoittaa ulkoilmaa vasten olevassa rakenteessa kohtaa, josta puuttuu lämmöneriste rakennuksen ulko- ja sisäpuolen välistä. Kylmäsilan kautta lämpöä pääsee johtumaan ulos, mutta rakenne pääsee myös vastaavasti jäähtymään aiheuttaen kondensioriskin.

Rakennekosteus tarkoittaa sitä kosteutta, mikä rakennukseen tai sen osiin pääsee rakentamisvaiheen aikana. Rakennekosteus tulee aina poistaa rakenteista.

RH (Relative Humidity) = suhteellinen kosteus.

Sorptiokäyrä l. **tasapainokosteuskäyrä** kuvaa tasapainotilannetta, joka asettuu kostean materiaalin ja sitä ympäröivän ilman välille. Kosteustasapainoon vaikuttaa ennen kaikkea ilman suhteellinen kosteus.

Suhteellinen kosteus on prosenttiluku, joka kertoo kuinka monta prosenttia kyllästyskosteudesta ilmassa on vesihöyryä tietyssä lämpötilassa. Mikäli suhteellinen kosteus ylittää 100 %, vettä alkaa tiivistyä.

Tuulensuoja on ainekerros, jonka tarkoitus on estää tuulen aiheuttamat ilmavirtaukset lämmöneristeessä. Tuulensuoja asennetaan lämmöneristeen ulkopintaan.

Tuuletusväli on ilmarako, jonka avulla rakennetta tuuletetaan. Tuuletusvälin tulee olla enintään 200 mm:n paksuinen ja sen tulee olla ilmavirtauksen suuntaa vastaan kohtisuorassa.

Vedeneriste on ainekerros, jonka tulee estää nestemäisen veden siirtyminen rakenteiden välillä.

Vesihöyryn diffuusio tarkoittaa vesihöyryn liikettä kaasuseoksessa vakiokokonaispaineessa. Diffuusion aiheuttavat erot kaasuseoksen höyrypitoisuudessa tai höyryn osapaine-erot, jotka pyrkivät tasoittumaan.

Vesihöyryn kondensio tarkoittaa veden tiivistymistä pinnoille.

Vesihöyryn konvektio tarkoittaa kosteuden siirtymistä lämpötilaeroista aiheutuvan ilmavirtauksen mukana. Ilman tiheys vaihtelee lämpötilan funktiona, ja kun tiheyserot pyrkivät tasoittumaan, syntyy ilmavirtaus tiheämmästä osasta harvempaan.

Vesihöyrynvastus riippuu ainekerroksen eri puolilla olevasta vesihöyryn osapaineiden erosta tai erosta vesihöyryn pitoisuuksissa sekä ainekerroksen läpi diffusoituneesta vesihöyryn määrästä.

Vesihöyrynvastus siis ilmaisee kuinka paljon rakenne vastustaa vesihöyryn diffuusiota. Mitä suurempi vesihöyrynvastus materiaalilla on, sitä paremmin se toimii höyrynsulkuna rakenteessa.

2 KOSTEUS YMPÄRISTÖSSÄMME

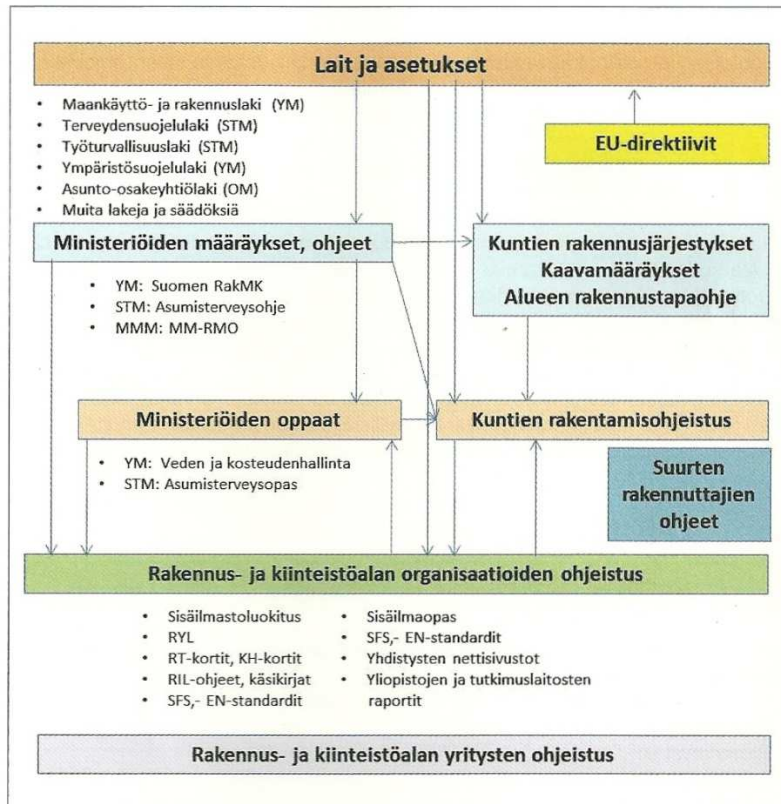
2.1 Lakeja ja viranomaismääräyksiä kosteudenhallinnasta

Kosteudenhallintaa käsittelee tai sivuaa monta viranomaislakia ja -määräystä. Lisäksi kunnilla voi olla vielä omat rakennusjärjestyksensä sekä rakennustapaohjeensa, jotka voivat ottaa kantaa muun muassa rakennusmateriaaleihin. Kuviossa 1 on esitetty kaavio, jossa näkyy kosteudenhallintaan liittyvät lait, määräykset ja ohjeet.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa sanotaan seuraavasti (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999, 117 §):

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava ja rakennuksen muutos- ja korjaustyöt tehtävä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutos toteutettava siten, että rakennus täyttää siihen yleisesti ennakoitavissa oleva kuormitus ja rakennuksen käyttötarkoitus huomioon ottaen 117 a–117 g §:ssä tarkoitettut olennaiset tekniset vaatimukset.

Kohdissa 117a-117g § esitellyt asiat ovat rakenteiden lujuus ja vakaus, paloturvallisuus, terveellisyys, käyttöturvallisuus, esteettömyys, meluntorjunta ja ääniolosuhteet sekä energiatehokkuus. Lueteltuja asioita on esitelty tarkemmin Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa (Maankäyttö- ja rakennusasetus 1999, 50 §).



Kuvio 1. Rakennuksen kosteudenhallintaan liittyvien lakien, määräysten sekä alan ohjeistuksen osoittava kaavio (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 227)

Lisäksi maankäyttö- ja rakennuslain pykälässä 116 sanotaan:

Rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se jatkuvasti täyttää terveellisuuden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset eikä aiheuta ympäristöhaittaa tai rumenna ympäristöä. Rakennus ja sen energiahuoltoon kuuluvat järjestelmät on pidettävä sellaisessa kunnossa, että ne rakennuksen rakennustapa huomioon ottaen täyttävät energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset.

Ennen korjauskehotuksen antamista rakennusvalvontaviranomainen voi määrätä rakennuksen omistajan esittämään rakennusta koskevan kuntotutkimuksen terveellisuuden tai turvallisuuden johdosta ilmeisen välttämättömien korjaustoimenpiteiden selvittämiseksi. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999, 116 §.)

Lisäksi Maankäyttö- ja rakennuslain kohta 152 § viittaa rakennustuotteelta vaadittaviin ominaisuuksiin seuraavasti:

Rakennustuotteen, joka on tarkoitettu käytettäväksi pysyvänä osana rakennuskohhteessa, tulee olla turvallinen ja terveellinen sekä ominaisuuksiltaan sellainen, että rakennuskohde asianmukaisesti suunniteltuna ja rakennettuna täyttää tässä laissa säädettyt olennaiset tekniset vaatimukset tavanomaisella kunnossapidolla taloudellisesti perustellun käyttöajan ajan. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999, 152 §.)

Terveysuojelulaki ottaa kantaa terveelliseen elinympäristöön seuraavasti pykälissä 1 ja 2:

Tässä laissa tarkoitetaan terveyshaitalla ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä.

Elinympäristöön vaikuttava toiminta on suunniteltava ja järjestettävä siten, että väestön ja yksilön terveyttä ylläpidetään ja edistetään.

Elinympäristöön vaikuttavaa toimintaa on harjoitettava siten, että terveyshaittojen syntyminen mahdollisuuksien mukaan estyy. (Terveysuojelulaki 1994, 1–2 §.)

Lisäksi pykälissä 26 ja 27 sanotaan seuraavasti:

Asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskelevalle terveyshaittaa. Asunnossa ja muussa oleskelutilassa ei saa olla eläimiä eikä mikrobeja siinä määrin, että niistä aiheutuu terveyshaittaa.

Milloin asunnossa tai muussa oleskelutilassa esiintyy melua, tärinää, hajua, valoa, mikrobeja, pölyä, savua, liiallista lämpöä tai kylmyyttä taikka kosteutta, säteilyä tai muuta niihin verrattavaa siten, että siitä voi aiheutua terveyshaittaa asunnossa tai muussa tilassa oleskelevalle, kunnan terveydensuojeluviranomainen voi velvoittaa sen, jonka menettely tai toimenpide on syynä tällaiseen epäkohtaan, ryhtymään toimenpiteisiin terveyshaitan poistamiseksi tai rajoittamiseksi.

Jos epäkohta aiheutuu asunnon tai muun tilan puutteellisuudesta eikä epäkohdan poistaminen ole mahdollista tai asunnon tai oleskelutilan omistaja tai haltija, milloin tämä omistaja tai haltija on vastuussa puutteellisuuden tai epäkohdan korjauksesta, ei ole ryhtynyt terveydensuojeluviranomaisen määräämään toimenpiteeseen, kunnan terveydensuojeluviranomainen voi kieltää tai rajoittaa käyttämästä asuntoa tai oleskelutilaa tarkoitukseensa. (Terveysuojelulaki 1994, 26–27 §.)

Lisäksi rakennusten terveellisyyttä ja kosteudenhallintaa käsitellään työterveyslaissa, ympäristön-suojelulaissa ja asunto-osakeyhtiölaissa. Lakien ohessa rakentajaa velvoittavat myös ministeriöiden määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK) tarkentaa Maankäyttö- ja rakennuslakia sekä -asetusta. Rakentamismääräyskokoelma käsittelee uudisrakentamista, mutta joskus määräyksiä on noudatettava myös korjaus- ja muutostöissä. Lisäksi ministeriöillä on erilaisia ohjeita ja oppaita, jotka käsittelevät terveellistä rakennustapaa ja sisäilmastoa. Muun muassa sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohje (2003) käsittelee tilojen fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia tekijöitä. Asumisterveysopas taas on asumisterveysohjeen soveltamisohje.

Kunnat laativat Maankäyttö- ja rakennuslakiin perustuvan ja sitä täydentävän rakennusjärjestyksen, joka ohjaa paikallista rakentamista. Rakennusjärjestykseen kuuluva rakennustapaohje on viranomaisten näkemys siitä, miten rakennukset tulee rakentaa jollain alueella. Rakennustapaohjeita laaditaan niin uusille kuin vanhoillekin asuinalueille. Lisäksi rakentamisen laatua määrittelevät alan organisaatioiden ohjeet ja julkaisut. Esimerkiksi Suomen rakennusinsinöörien liitto ry (RIL ry) julkaisee ohjeita ja käsikirjoja, jotka ohjaavat niin suunnittelijoita kuin rakentajiakin eri normien hallintaan. Huolimatta siitä, että kyse ei ole viranomaisten julkaisuista, ovat RIL:n käsikirjat ja ohjeet saavuttaneet aseman luotettavana lähteenä rakennuskirjallisuudessa. Muita alan organisaatioiden julkaisuja ovat muun muassa Rakennustieto Oy:n ylläpitämät tietopalvelut RT Net, SIT Net, LVI Net, Ratu Net, KH Net ja Infra Net.

2.2 Kosteus ulkoilmassa

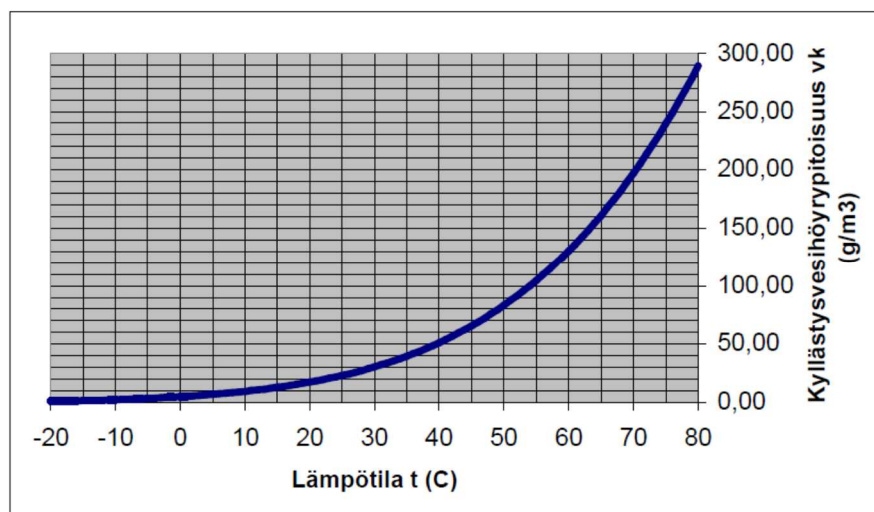
Kostea ilma on yhdistelmä kuivasta ilmasta ja vesihöyrystä. Kuiva ilma koostuu typestä (78 tilavuusprosenttia), hapestä (21 til-%), argonista (1 til-%) ja vähäisistä määristä muita kaasuja, esimerkiksi hiilidioksidia (Ilmatieteenlaitos.fi). Pitoisuudet pätevät lähellä maanpintaa. Kuivan ilman moolimassa on 28,96 g/mol ja vesihöyryn 18,02 g/mol. Näin ollen mitä kosteampaa ilma on, siis mitä enemmän se sisältää vesihöyryä, sitä kevyempää se on.

Vesihöyryn määrää ilmassa ilmaistaan kahdella tavalla: vesihöyryn pitoisuutena (yksikkö g/m³) tai vesihöyryn osapaineena (yksikkö pascal, Pa). Näiden välillä vallitsee yhteys (Björkholtz, 1997, 43):

$$p_v = 461,4 vT \text{ (J/kgK)}, \quad (1)$$

missä p_v on vesihöyryn osapaine, v on vesihöyryn pitoisuus ja T on lämpötila kelvineinä.

Ilman kosteuspitoisuus vaihtelee lämpötilan mukaan. Lämpimään ilmaan mahtuu enemmän kosteutta kuin kylmään ilmaan. Jokaisella lämpötilalla on oma kyllästyskosteutensa ja -paineensa, jonka ylittyessä ylimääräinen kosteus alkaa tiivistyä vedeksi (kuvio 2).



Kuvio 2: Lämpötilan ja kyllästyskosteuden välinen yhteys (Rafnet 2004, 8)

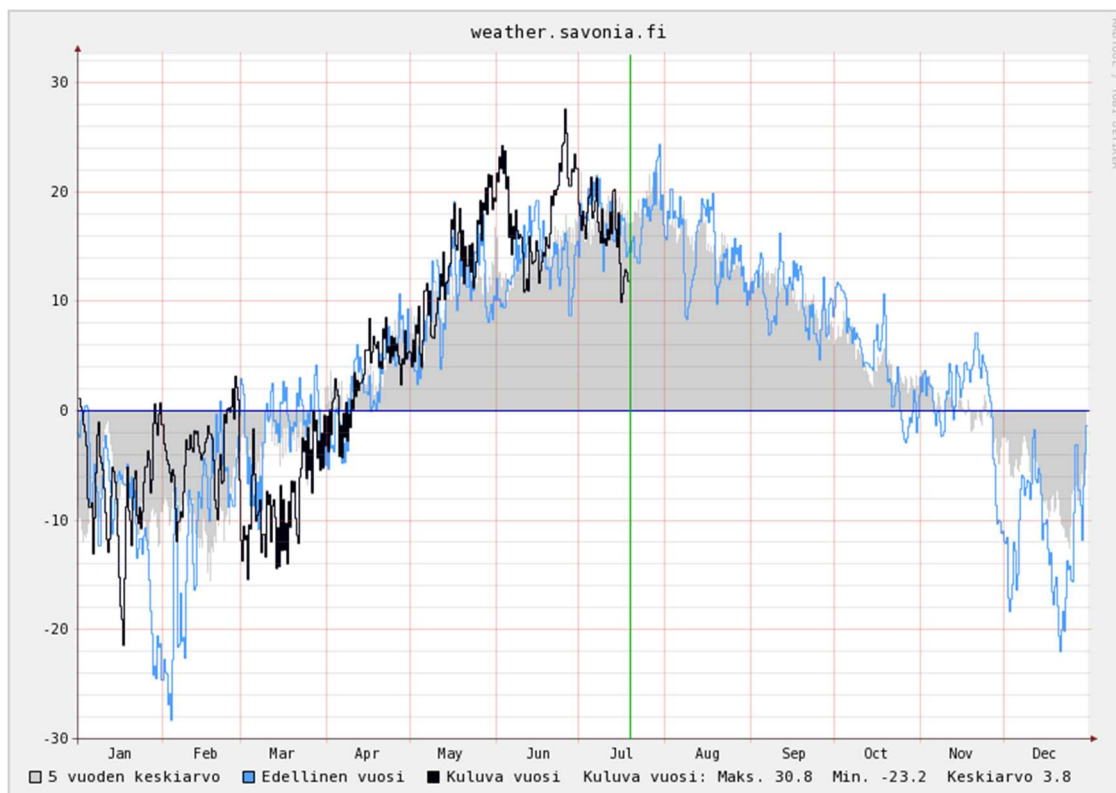
Suhteellinen kosteus ilmaisee kuinka monta prosenttia kyllästyskosteudesta ilma sisältää kosteutta. Se voidaan määrittellä joko vesihöyryn pitoisuuden tai osapaineen avulla (Björkholtz, 1997, 44–45):

$$RH = \frac{v}{v_k} \cdot 100 \quad (2)$$

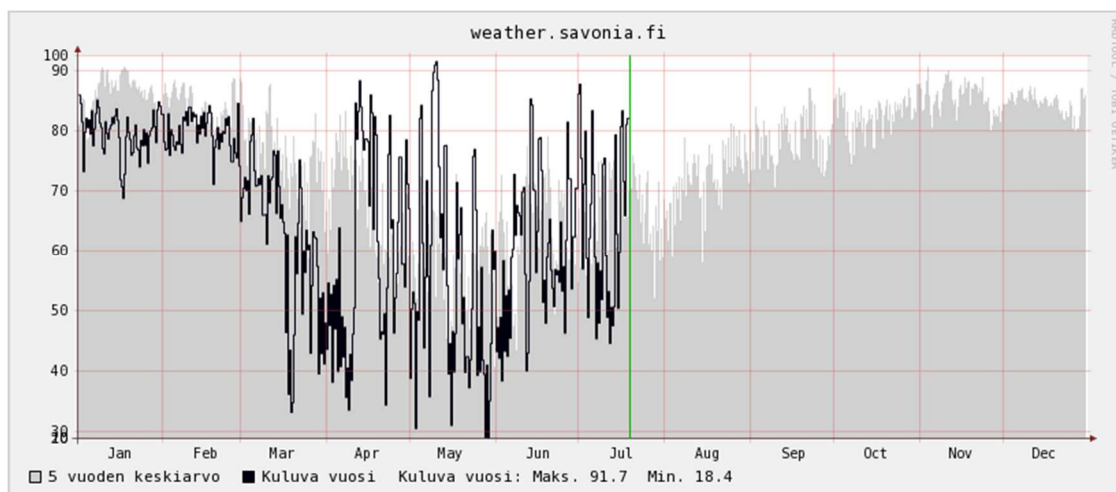
$$RH = \frac{p}{p_k} \cdot 100, \quad (3)$$

missä v_k on vesihöyryn kyllästyspitoisuus ja p_k on vesihöyryn kyllästyspaine.

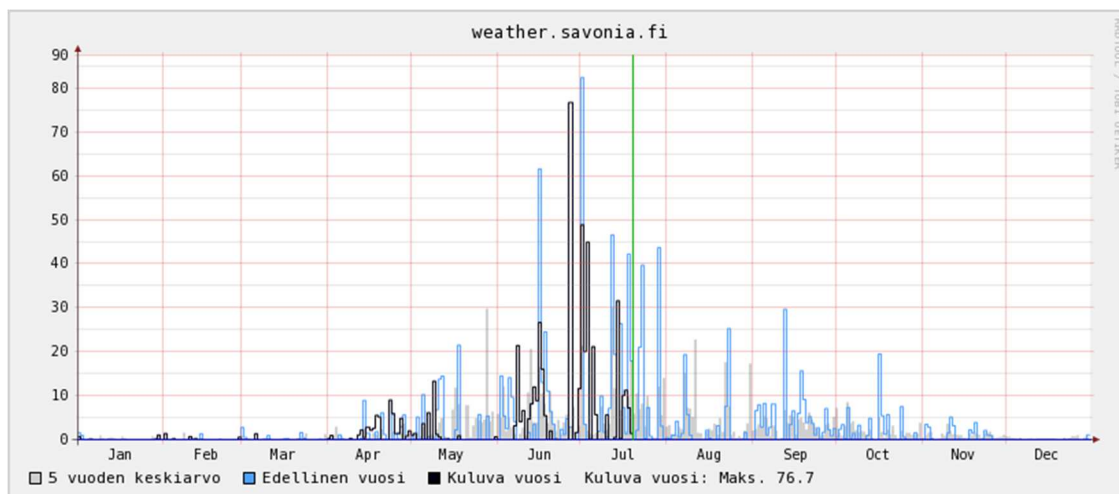
Kuvioissa 3 ja 4 on esitetty mittaustuloksia lämpötilalle ja suhteelliselle kosteudelle Savonia-ammattikorkeakoulun sääasemalta. Kuvioista voidaan havaita, että suhteellinen kosteus on korkeimmillaan talvella, kun lämpötila on matalimmillaan, ja matalimmillaan keväällä, kun lämpötila nousee pakkaselta plussan puolelle. Kuvioista 2 nähdään, että kyllästyskosteus talvella on pienempi kuin kesällä, eli talvella ilma ei pysty sitomaan yhtä paljon kosteutta kuin kesällä. Siis vaikka talvella suhteellinen kosteus on suuri, on ilman vesihöyrypitoisuus paljon pienempi kuin kesällä. Keväällä suhteellinen kosteus on matalimmillaan ja tällöin on myös hyvä aika kuivata esimerkiksi polttopuita, koska ilmaan mahtuu hyvin kosteutta. Täytyy muistaa, että sateella suhteellinen kosteus voi nousta hetkellisesti lähelle sataa.



Kuvio 3: Savonia-ammattikorkeakoulun sääaseman mittaustulokset lämpötilalle eri vuodenaikoina. Kuvaajassa on esitetty vuosien 2012 ja 2013 lämpötilat celsiusasteina sekä viiden vuoden keskiarvo (Savonia-ammattikorkeakoulun sääasema, 2013).



Kuvio 4: Savonia-ammattikorkeakoulun sääaseman mittaustulokset suhteelliselle kosteudelle eri vuodenaikoina. Kuvaajassa on esitetty vuoden 2013 suhteellinen kosteus prosentteina sekä viiden vuoden keskiarvo (Savonia-ammattikorkeakoulun sääasema, 2013).



Kuvio 5: Savonia-ammattikorkeakoulun sääasemat mittaustulokset vuosittaiselle sademäärälle. Kuvaajassa on esitetty vuosien 2012 ja 2013 sademäärät millimetreinä sekä viiden vuoden keskiarvo (Savonia-ammattikorkeakoulun sääasema, 2013).

2.2.1 Sateen vaikutukset rakentamisessa

Kuviossa 5 on esitetty mittaustuloksia sademäärille eri vuodenaikoina Savonia-ammattikorkeakoulun sääasemalta. Kuvioista voidaan havaita, että suurimpia sademääriä on mitattu kesä- ja heinäkuussa, mutta myös syksyllä sataa tasaisesti. Kuvioista 4 nähdään, että suhteellinen kosteus alkaakin nousta kesän ja syksyn aikana kohti talven maksimiarvoaan.

Rakentamisessa sade voidaan jakaa rakentamisen aikaiseen tai sen jälkeiseen sateeseen. Sade on siis huomioitava rakentamisaikana erilaisina tarvikkeiden ja työmaan suojauksia, mutta myös rakentamisen jälkeen, jotta rakennus kestää siihen kohdistuvan sadekuorman sekä sateen ja tuulen yhteisvaikutuksen. Rakentamisen aikainen sade voi joko aiheuttaa välitöntä vauriota rakennusaineisiin tai rakenteisiin tai vaurio voi ilmaantua vasta myöhemmin. Kastunut rakenne voi myös aiheuttaa vaurioita viereisissä rakenteissa. Sade voi myös jäädä rakenteisiin rakennekosteudeksi, jota käsitellään tarkemmin luvussa 2.5. Vaurioita voidaan ehkäistä suojaamalla tarvikkeet kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana. Työmaalla sadevesien ja lumien poistoon tulee kiinnittää huomiota. Rakennusmateriaaleista erityisen arkoja kosteudelle ovat sisäkäyttöön tarkoitetut tarvikkeet, kuten kalusteet ja laitteet sekä päällysteet. Myös puusta valmistetut materiaalit ovat kosteudelle arkoja. Lämmöneristeet tulee myös suojata hyvin, sillä esimerkiksi mineraalivillat kuivuvat hitaasti. Kivipohjaisista tuotteista tulee suojata ainakin lämmöneristyksen sisäpuolinen kerros. Rakenteista sateelle herkimpiä ovat tasakatot, jotka tulisikin rakentaa aina poutasäässä.

Rakentamisen jälkeinen sade tulee huomioida jo rakennuksen suunnittelussa. Pystysateeksi kutsutaan sadetta, joka osuu rakennuksen vaakasuorille pinnoille, kuten katoille, parvekkeille ja terasseille. Pystysade saadaan johdettua pois kallistusten ja erilaisten vedenpoistojärjestelmien avulla. Viistosade on puolestaan rakennuksen pystysuoriin osiin, kuten seiniin, osuva sade. Viistosateen vaikutus on suurin korkeiden rakenteiden yläosissa ja nurkissa. Viistosateen kulkeutumi-

nen seinään riippuu seinämateriaalin vedenimukyvyistä. Osuessaan seinämateriaaliin, jonka vedenimukyky on heikko, viistosade muodostaa seinän pintaan vesikalvon. Tällaisen tiiviin materiaalin pinnalla vesikalvo voi liikkua joko alaspäin tai ylöspäin ilmapirtausten vaikutuksesta. Ylöspäin liikkuva vesi tulee huomioida räystäiden suunnittelussa muun muassa myrskypelttien avulla. Tiiviitä materiaaleja ovat muun muassa lasi, pelti, muovi, kivi ja keraaminen laatta. (Björkholtz 1997, 40–41.)

Mikäli seinämateriaaliin sitoutuu vettä, ei vesikalvoa synny ennen kuin materiaalikerroksen huokokset ovat täyttyneet vedellä eli seinä on kyllästynyt. Seinä voi tihkua vettä, mikäli tuuli painaa vettä kyllästyneen seinän läpi. Tällainen seinämateriaali on esimerkiksi tiiliverhous, jota käytettäessä jätetäänkin aina tuuletusväli itse seinän ja verhouksen väliin. Tällöin vesi ei pääse vahingoittamaan seinärakenteita ja itse verhous pääsee kuivamaan sateen loputtua.

Noin puolet viistosateesta sataa syksyisin ja viistosateen määrä kokonaissateesta on noin 20–30 % (Dunkel 2011, 4). Etelän ja lounaan puoleiset julkisivut kärsivät eniten viistosateesta, koska näistä ilmansuunnista tuulee useiten. Varsinkin pientaloissa räystäiden merkitystä viistosateen torjumisessa ei voi korostaa liikaa.

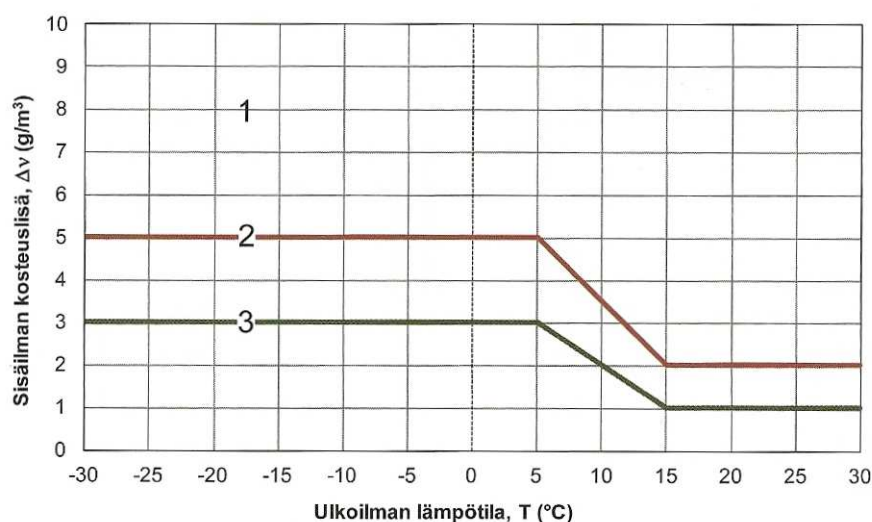
2.3 Kosteus sisäilmassa

Asuminen ja oleminen rakennuksissa tuottavat aina huoneilmaan lisäkosteutta ja tämä kosteus synnyttää eron ulko- ja sisäilman vesihöyrypitoisuuksien välille. Sisäilman kosteuslisä voidaan esittää joko vesihöyrypitoisuutena (yksikkö g/m^3) tai vesihöyryn osapaine-erona (pascal, Pa). Sisäilman kosteuslisä siis kertoo, kuinka paljon suurempi on sisäilman vesihöyrypitoisuus tai vastaavasti vesihöyryn osapaine ulkoilmaan verrattuna.

Kesällä sisäilman kosteuslisä on pieni, koska sisätiloissa oleskellaan silloin vähemmän. Ulkolämpötila on myös korkea ja ulkoilmassakin on tällöin enemmän kosteutta. Talvella sisätiloissa oleskellaan enemmän, joten talvisin sisäilman kosteuslisä on suurimmillaan. Talvisin ulkoilman kosteus- pitoisuus taas on pieni. Ero sisä- ja ulkoilman vesihöyrypitoisuuksissa on siis suurimmillaan talvi- kuukausina. Koska vesihöyrypitoisuusero, tai vesihöyryn osapaine-ero, pyrkii aina tasoittumaan, pyrkii sisäilmassa oleva ylimääräinen vesihöyry siirtymään diffuusiolla ulkovaipan läpi ulkoilmaan. Mikäli rakenteen höyrynsulku on puutteellinen tai sitä ei ole lainkaan, pääsee vesihöyry vapaasti seinärakenteen ulko-osiin. Mikäli lämpötila on alle vesihöyryn kastepisteen, voi vesihöyry kondensoitua rakenteisiin. Kriittisin piste vaipparakenteessa on lämmöneristeen ulkopuolella oleva tuulensuojan tai ulkoverhouksen/vesikatteen sisäpinta. Mikäli kondensoitumista tapahtuu ja lämpötila on suotuisa, voi rakenteissa esiintyä homeille ja mikrobeille otollisia kasvuolosuhteita. Muita haittavaikutuksia liian suurella suhteellisella kosteudella rakenteiden ulko-osissa ovat muun muassa raudotteiden ja teräsosien ruostuminen, lämmöneristeiden eristyskyvyn heikkeneminen, muodomuutokset materiaaleissa sekä puuosien lahovauriot. (Rakennusten veden- ja kosteuden eristysohjeet: RIL 107-2012, 23.)

Mikäli rakennuksen ulkokuoreen voi imeytyä paljon kosteutta, voi kosteusvirta olla myös ulkoa sisälle päin. Ulkoverhoukseen osuva auringon lämpösäteily lämmittää ulkopintaa, mikä edesauttaa vesihöyryn diffuusiota sisäosia kohti. Mikäli sisäilmaa jäähdytetään vielä koneellisesti, lisää se kondensioriskiä höyrynsulun ulkopinnassa. Tällöin myös homehtumisriski kasvaa. Ilmastonmuutoksen myötä Suomen sääolot muuttuvat entistä sateisimmiksi ja ulkolämpötila on korkeampi, joten yllä selitetty ilmiö, kesäkondenssi, voi tulevaisuudessa yleistyä. (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 25.)

Sisäilman kosteuslisälle on olemassa erilaisia arvioita, mutta tutkimusten mukaan Suomessa on suositeltavaa käyttää mitoitusarvoina kuvion 6 ja taulukon 1 arvoja. Mikäli ei ole varmaa mihin kosteusluokkaan rakennus kuuluu, on suositeltavaa käyttää suuremman sisäilman kosteuslisän mitoitusarvon mukaista kosteusluokkaa.



Kuvio 6. Sisäilman kosteuslisän mitoitusarvot eri kosteusluokissa ulkolämpötilan funktiona (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 24)

Rakentamisaikana sisäilman kosteuspitoisuus voi nousta korkeaksi eri rakennusvaiheiden tuoman lisäkosteuden takia. Esimerkiksi betonivalut ja muuraustyöt lisäävät sisäilman kosteuspitoisuutta. Rakentamisaikana sisäilman kosteuslisä voikin nousta pitkäaikaisesti yli kuviossa 6 ja taulukossa 1 esitettyjen arvojen. Mikäli näin käy, on tarkistettava käytettävien rakennusmateriaalien kyky sietää sisäilman kohonnutta kosteuspitoisuutta. Tarkasteluissa voi joskus olla tarpeen käyttää korkeampia kosteuslisän arvoja, kuin mitä kuviossa 6 ja taulukossa 1 on esitetty. Huomion arvoista onkin, että taulukko 1 on annettu valmiin rakennuksen suunnitteluarvoille. Joskus myös höyrynsulun mitoituksessa on vielä erikseen tarkasteltava rakennusaikaisen kosteuslisän vaikutusta. On myös huomioitava, että tarkasteluissa normaalina sisäilman lämpötilana käytetään 21 °C. (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 25.)

Taulukko 1. Eri kosteusluokkiin kuuluvat rakennustyytit ja kosteusluokat määrittävä sisäilman kosteuslisä taulukoituna (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 24)

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitussarvo talvella ($T \leq 5 \text{ °C}$)	Rakennustyyppi ^{3), 4)}
1	$>5 \text{ g/m}^3$ ¹⁾	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuontantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	5 g/m^3	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 ^{5), 6)} , kylmä- ja pakkashuoneet ^{5), 6)} , talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	3 g/m^3 ²⁾	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

¹⁾ Kosteusluokan 1 rakennuskohteissa sisäilman kosteuslisä ja lämpötila on aina arvioitava kohdekohtaisesti erikseen mitoituksen yhteydessä. Kosteuslisä voi vaihdella rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen välillä 6–20 g/m³.

²⁾ Kosteusluokan 3 rakennuskohteissa kosteustekninen mitoitus tehdään käyttäen talvella kosteuslisän arvoa 3 g/m³, ellei voida luotettavasti osoittaa, että pienempikin kosteuslisä riittää tarkasteltavassa kohteessa.

³⁾ Eri rakennustyyppisiin kuuluvia rakennuksia on lueteltu tarkemmin RakMK D3:ssa.

⁴⁾ Rakennusta suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon, että rakennuksen käyttötarkoitusta saatetaan joskus myöhemmin uuttaa, jolloin myös sen kosteusluokka voi muuttua.

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

⁶⁾ 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.

2.4 Kosteus maaperässä

Maaperässä oleva kosteus voi olla nestemäisessä muodossa pintavetenä, pohjavetenä tai näiden välissä vajovetenä. Vesi voi myös nousta maakerroksissa kapillaarisesti. Yleensä kosteuskäytöissä tarkastellaan kuitenkin maaperän ilmahuokosissa olevaa vesihöyryä. Sen määrä huokosissa vaihtelee, mutta yleensä laskelmissa oletetaan, että RH=100 %. Tämä ei välttämättä pidä paikkaansa, joten laskelmat kannattaa tehdä myös pienemmillä suhteellisen kosteuden arvoilla.

2.5 Rakennekosteus

Rakennusmateriaaleissa ja rakenteissa oleva rakennekosteus voi olla peräisin joko materiaalien valmistusprosesseista tai rakennusmateriaalien kuljetuksen, varastoinnin tai rakennusvaiheen aikaisesta kastumisesta. Rakenteet tulee suojata niin sateelta kuin maaperän kosteudeltakin. Kosteutta voi myös siirtyä rakenteesta toiseen. Mikäli kosteusmäärä on kahdessa eri materiaalissa sama, siirtyy kosteutta karkeajakoisemmasta materiaalista hienojakoisempaan.

Rakennekosteus määritellään yhtälöllä (Björkholtz 1997, 51)

$$\omega_{rak.kost} = \omega_0 - \omega_{\infty} \quad (4)$$

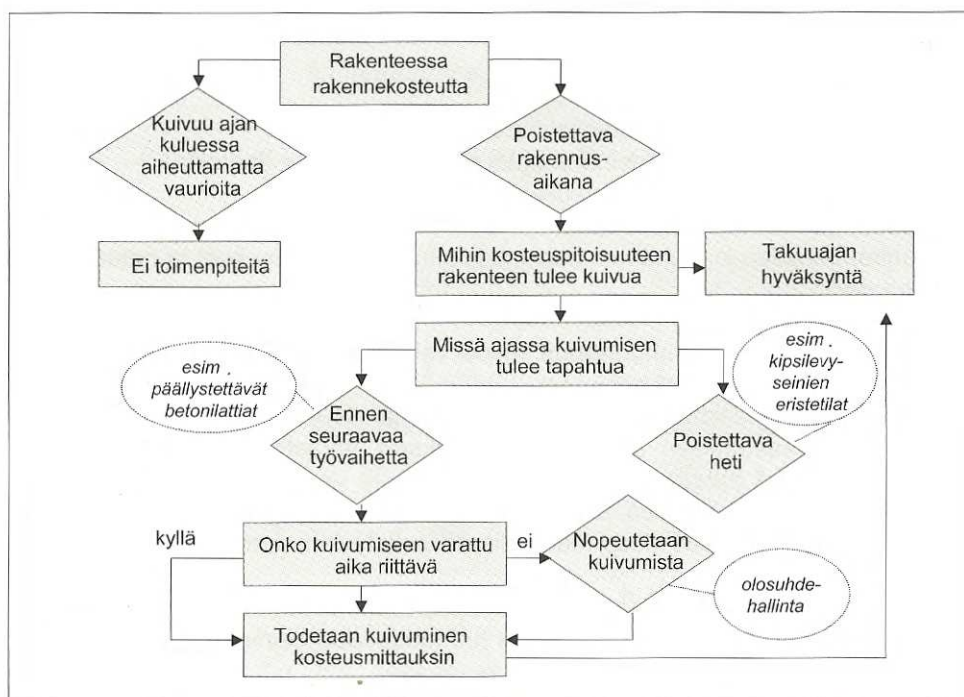
missä $\omega_{rak.kost}$ on rakennekosteus, ω_{∞} rakentamisvaiheessa rakenteessa oleva vesimäärä ja ω_0 on tasapainokosteus, mihin kosteus asettuu ajan kuluessa. Rakennekosteus on siis se vesimäärä, mikä rakenteesta poistuu ennen kuin se saavuttaa tasapainokosteuden ympäristönsä kanssa.

Rakennekosteus voi olla hyvinkin suuri. Esimerkiksi betoni sisältää valmistusprosessinsa seurauksena runsaasti vettä ja 100 mm paksu maanvarainen lattialaatta voikin sisältää toistakymmentä kiloa haihtumiskykyistä vettä rakennekosteutena. Ennen kuin rakenne voidaan pinnoittaa, on rakennekosteuden poistuttava riittävässä määrin. Päällystemateriaali sanelee yleensä suurimman sallitun kosteuspitoisuuden ja raja-arvot tulee tarkistaa aina materiaalitoimittajalta. Taulukossa 2 on esitetty rakennekosteuksia eri materiaaleille.

Taulukko 2. Rakennekosteuksia eri materiaaleille (Björkholtz 1997, 51)

Aine	Rak.vaiheen kosteus ω_0 kg/m ³	Kemiallisesti sidottu kosteus kg/m ³	Hygroskooppinen kosteus ω_{∞} kun RH = 50 % kg/m ³	Poistuva- eli rakennē- kosteus kg/m ³
Paikalla valettu betoni				
K 15	180	40	25	115
K 25	180	57	33	90
K 40	180	70	40	70
Kevytbetoni	100...200	—	20	80...180
Kalkkisem.laasti	300	20	30	250
Poltettu tiili	10	—	10	0
Tiilimuuri	80	—	10	70
Puu	60...80	—	40	20...40

Kosteuden poistumiseen vaikuttaa useita asioita: rakenteen paksuus, onko kyseessä yhteen vai kahteen suuntaan kuivuva rakenne ja ulkoiset olosuhteet. Lisäksi rakennusaikainen kastuminen pidentää kuivumisaikaa. Kuviossa 7 on esitetty kaavio rakenteiden kuivatustarpeen ja kuivumisaikojen arviointiin. Betonirakenteen kuivamista ja rakennekosteuden poistamista eri rakenteista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 3.



Kuvio 7. Rakenteiden kuivatustarpeen ja kuivumisajan arviointi (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 100)

2.6 Kosteuden siirtyminen rakenteissa

2.6.1 Kosteuden siirtymismekanismit

Kosteus voi siirtyä rakenteissa monin eri tavoin. Siirtymismekanismiin vaikuttaa muun muassa kosteuden muoto, rakennusmateriaali ja olosuhteet. Nestemäisessä muodossa oleva kosteus voi siirtyä kapillaarisesti tai painovoiman tai tuulen pakottamana. Nestemäisen veden vaikutuksia rajoitetaan rakennesuunnitelmissa vesieristyksin, salaojin ja kapillaarikatkoin. Vesihöyry voi puolestaan siirtyä joko diffuusion tai konvektion avulla. Pääpaino rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa on vesihöyryn siirtymisessä.

2.6.2 Kapillaarisuus

Kapillaarinen vedennousu tapahtuu huokoisissa materiaaleissa. Veden pintajännitysvoimat saavat aikaan huokosalipaineen, jonka seurauksena vettä siiryy, kun kappale on kosketuksissa vapaaseen veteen. Kapillaarinen nousukorkeus riippuu materiaalista ja vallitsevista olosuhteista. Kapillaarinen nousukorkeus on suurempi hienojakoisissa maalajeissa. Veden nousu pysähtyy, kun huokosalipaineen aiheuttama kapillaarinen imu ja painovoima ovat yhtä suuria. Tällöin puhutaan kapillaarisesta kosteustasapainosta.

Rakentamisessa kapillaarinen veden nousu estetään kapillaarikatkoin. Kapillaarikatko on karkearakeisesta maalajista rakennettu kerros, jonka paksuus maanvaraisissa latioissa on vähintään 300 mm riippumatta siitä salaojitetaanko rakennusalue vai ei (Rakennuspohjan ja tonttialueen

kuivatus. RT 11000, 4). Kapillaarikatkokerroksen paksuus on kuitenkin aina vähintään 20 % suurempi kuin kapillaarikatkokerrokseen käytetyn maalajin vedennousukorkeus (MaaRYL 2010. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennustyön maatyöt. RT 11005, 79).

2.6.3 Diffuusio

Diffuusio on vesihöyryn siirtymistä ainekerroksen läpi ainekerroksen eri puolilla vallitsevan vesihöyryn osapaine-eron tai pitoisuuseron vuoksi. Siirtyvän höyryn määrään vaikuttaa materiaalin vesihöyrynvastus: Mitä suurempi vesihöyrynvastus, sitä paremmin materiaali estää vesihöyryn siirtymistä diffuusiolla. Myös rakenteen eri puolilla vallitsevat pitoisuuserot vaikuttavat siirtyvän vesihöyryn määrään.

Diffuusiovirtaa pystytään estämään erilaisin diffuusiokatkoin eli höyrynsulkujen avulla. Höyrynsulkuna voi toimia mikä tahansa rakenne, joka on riittävän tiivis ja yhtenäinen ja jonka vesihöyrynvastus on tarpeeksi suuri. Höyrynsulku voi olla kalvo, levy, kivi- tai massiivipuurakenne.

2.6.4 Konvektio

Konvektiossa vesihöyry siirtyy ilmavirtausten mukana. Ilmavirtauksia voi aiheuttaa muun muassa tuuli, ilmanvaihto tai jokin muu ulkoinen voima. Erityisen riskialtista on kostean sisäilman pääsy rakenteisiin talvella, kun lämpötila ulkona on matala. Vesihöyryn tiivistyminen rakenteisiin on tällöin mahdollista. Ongelmia rakenteisiin aiheutuu silloin, kun kosteusvirta rakenteisiin on suurempi kuin kosteusvirta pois rakenteista. Tällöin rakenteiden sisään jää kosteutta, ja mikäli tämä kosteus ei poistu riittävän nopeasti, on kosteusvaurio mahdollinen.

2.7 Kosteuden tiivistyminen rakenteisiin

Ilmassa oleva kosteus ei tiivisty, jos ilman suhteellinen kosteus on alle 100 %. Mikäli ilma jäähtyy ja kosteuspitoisuus säilyy ennallaan, nousee suhteellinen kosteus. Jos ilma jäähtyy alle kastepistelämpötilan, vettä alkaa tiivistyä pinnoille ja ilmaan. Rakenteissa tiivistymistä voi tapahtua ilma- vuotojen seurauksena. Jos rakennuksen ulkovaippa ei ole tiivis, pääsee kostea sisäilma vaipparakenteisiin ja mikäli ulkolämpötila on tarpeeksi matala, voi kosteus tiivistyä rakenteisiin, yleensä lähelle lämmöneristeen ulkoreunaa. Myös rakenteiden kylmäsillat aiheuttavat kosteuden tiivistymisriskin. Jos eristepaksuudet eivät ole riittäviä tai eristeissä on aukkoja, jäähdyttää ulkoilma rakenteita muodostaen samalla viileitä pintoja, joihin kosteus voi tiivistyä. Kylmäsilloja muodostuu helposti rankarakenteisten talojen ulkonurkkiin, mutta myös betonielementtitalojen rakenteiden liitoskohtiin.

Rakennusten ilmanvaihto voi joskus myös aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Esimerkiksi ullakkotilojen tuuletuksen toimivuuteen on kiinnitettävä suunnitteluvaiheessa huomiota. Vaarana on, että mikäli ullakkotilojen tuuletus on liian voimakas, voi ulkoilman kosteus tiivistyä,

tai jopa jäätyä katteen alapintaan, jos katteen lämpötila on ilman lämpötilaa matalampi. Kun kosteus lisääntyy tai lämpötila nousee, voi katto niin sanotusti sataa sisäänpäin kastellen yläpohjarakenteita.

Tuulettuvissa alapohjissa tiivistymisriski on suurin kesällä, kun ulkoilma sisältää paljon kosteutta. Tuuletustilassa lämpötila on kuitenkin matalampi kuin ulkoilmassa, vaikka kosteuspitoisuus on sama, joten vettä voi tiivistyä viileille pinnoille. Myös tuulettuvissa alapohjarakenteissa tuuletus on huomioitava suunnitteluvaiheessa.

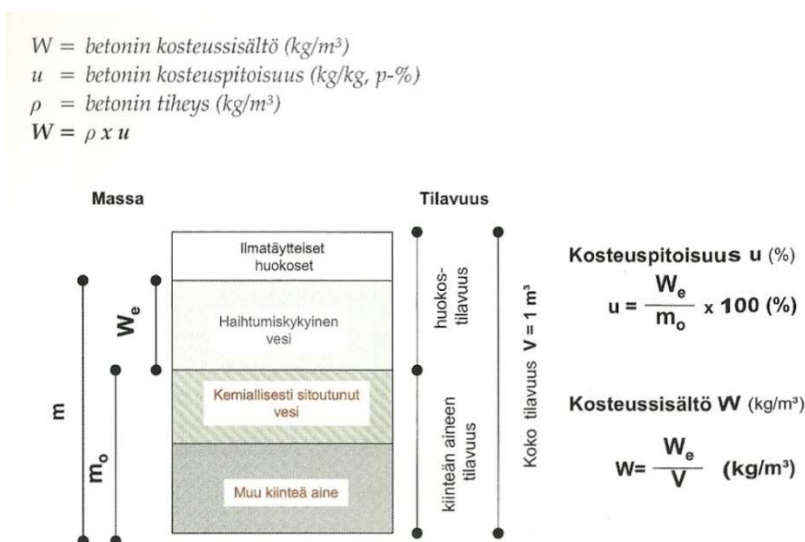
3 BETONIRAKENTEEN KOSTEUSKÄYTTÄYTYMINEN

3.1 Betonin kosteus

Betoni on rakennusmateriaali, joka sietää hyvin kosteutta ja saattaa jopa saavuttaa korkeamman lujuuden, kun sitä säilytetään kosteassa pitkään. Betoni sisältää kosteutta, varsinkin heti valmistusprosessinsa jälkeen, ja tämän kosteuden hallinta on tärkeää ennen kuin betonia voi ruveta pinnoittamaan tai päällystämään. Kosteusteknisesti betoni yhdessä päällysteen kanssa voi olla haastava yhdistelmä, sillä harva päällystemateriaali sietää kosteutta yhtä hyvin kuin betoni.

3.1.1 Betonin suhteellinen kosteus

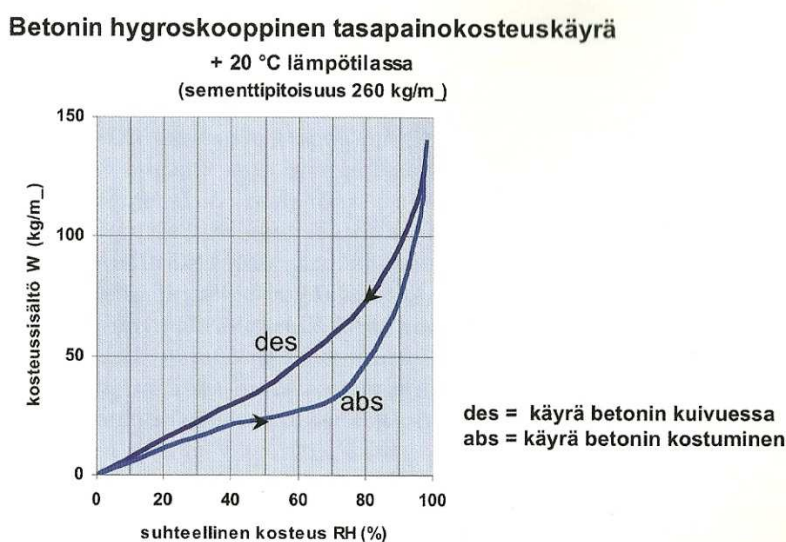
Joskus virheellisesti ajatellaan, että betonin suhteellisen kosteuden avulla voidaan laskea paljonko betonissa on kosteutta kuutiometriä kohti, mutta näin ei oikeasti ole. Betonin suhteellinen kosteus ilmaisee vain betonin huokosissa olevan vesihöyrymuodossa olevan kosteuden. Lisäksi huokosissa on myös nestemäistä vettä sitoutuneena huokosten seinämiin, niin kutsuttua fysikaalisesti sitoutunutta kosteutta. Huokosissa sijaitseva vesihöyry ja fysikaalisesti sitoutunut eli adsorboitunut kosteus muodostavat yhdessä betonin kosteussisällön W (kg/m^3). Mikäli betonin kosteuspitoisuus u halutaan ilmoittaa painoprosentteina (p-%), täytyy määrittää kuinka monta prosenttia betonin kuivapainosta on vettä. (Merikallio 2007, 15.) Kuvassa 8 on esitetty, miten kosteus, kiinteä aine ja huokokset jakautuvat betonissa.



Kuva 8. Betonin sisältämän kosteuden, kiinteän aineen ja huokostilan jakautuminen massoittain ja tilavuuksittain (Merikallio 2007, 15)

Betonin huokosrakenne on hyvin erilainen erilaisilla betoneilla, joten vaikka kahden eri betonin suhteellinen kosteus olisi sama, niiden kosteussisällöt tai kosteuspitoisuudet voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Suhteellisella kosteudella ja kosteussisällöllä tai kosteuspitoisuudella on kuitenkin olemassa yhteys ja tämä yhteys esitetään yleensä niin sanotun hygroskooppisen tasapainokosteuskäyrän avulla. Käyrä ilmoittaa kosteuden määrän suhteellisen kosteuden funktiona.

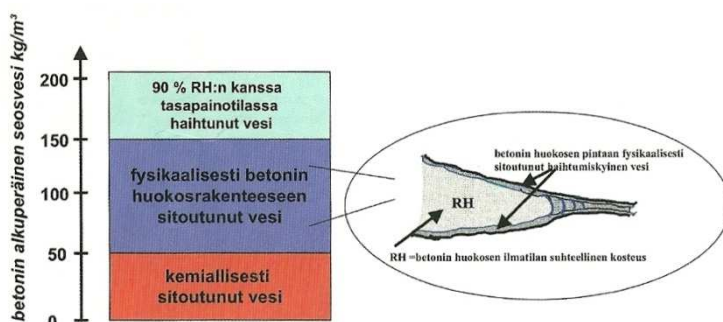
Käyrässä näkyy myös betonin kuivumisen ja kostumisen välinen hystereesi-ilmiö. Tämä tarkoittaa sitä, että betonissa tietyn suhteellisen kosteuden arvolla kosteuspitoisuus vaihtelee riippuen siitä, onko betoni kuivumassa vai kostumassa. Täytyy muistaa, että tasapainokosteuskäyrä on vain suunta-antava, sillä jokaisella betonilaadulla on oma käyrästönsä. Käyrästön avulla ei saa muuttaa kosteussisältöä suhteelliseksi kosteudeksi tai päinvastoin. (Merikallio 2007, 16.) Kuvassa 9 on esitetty betonin hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä lämpötilassa $T=20^{\circ}\text{C}$.



Kuva 9. Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä betonille, jonka sementtimäärä on 260 kg/m³ lämpötilassa $T = 20^{\circ}\text{C}$ (Merikallio 2007, 16).

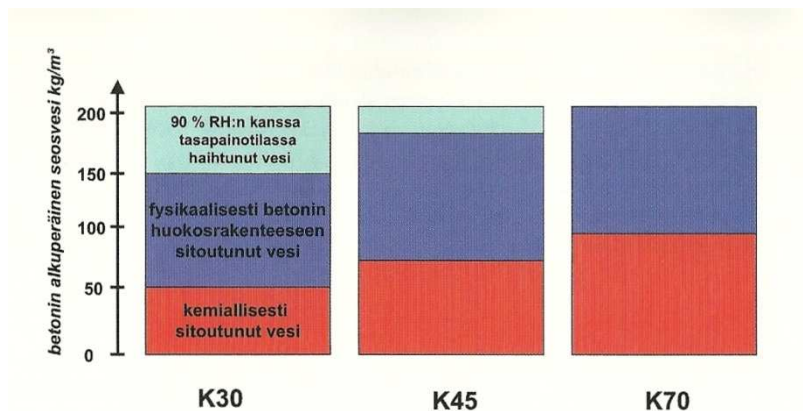
3.1.2 Betonin rakennekosteus

Betoni sisältää vettä valmistusprosessinsa seurauksena. Veden tarkoitus betonissa on muodostaa sementin kanssa seos, joka liimaa betonissa olevan kiviaineksen yhtenäiseksi massaksi. Vesi voi sitoutua joko kemiallisesti tai fysikaalisesti. Kemiallisesti sitoutunut vesi reagoi sementin kanssa, eikä se pääse poistumaan betonista. Fysikaalisesti sitoutunut vesi taas on haihtumiskykyistä vettä, joka on sitoutunut betonin huokosiin. Kun betoni pyrkii tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa, juuri fysikaalisesti sitoutunut vesi haihtuu ympäristöön. Lisäksi huokosissa on vesihöyryä, kuten kuva 10 esittää. (Merikallio 2007, 13.)



Kuva 10. Betonin valmistusprosessissa käytetyn veden jakautuminen, kun $\text{RH}=90\%$. Vettä on käytetty tässä tapauksessa 200 kg/m³ (Merikallio 2007, 13).

Täytyy vielä huomioida se, että eri betonilaaduilla veden sitoutuminen on erilaista. Veden sitoutumiseen vaikuttaa betonin vesi-sementtisuhde sekä huokosten koko ja määrä. Mitä enemmän betonissa on sementtiä, sitä enemmän siinä on kemiallisesti sitoutunutta vettä. Jos siis kahdessa betonilaadussa lisätyn veden määrä on sama, on suuremman sementtimäärän betonissa vähemmän haihdutettavaa rakennekosteutta (kuva 11).



Kuva 11. Betonin valmistusprosessissa käytetyn veden jakautuminen kolmessa eri betonilaadussa, kun RH=90 %. Vettä on käytetty tässä tapauksessa 200 kg/m³ (Merikallio 2007, 14).

Lisäksi betonirakenteen kosteustasapainotarkasteluissa täytyy muistaa, että vaikka betoni olisikin saavuttanut loppulujuutensa kemiallisen sitoutumisen seurauksena, sen sisältämä vesimäärä voi olla vielä huomattavan suuri. Siis vaikka valtaosa kemiallisesti sitoutuneesta vedestä sitoutuu jo muutamassa päivässä, betoni kuivaa vasta kun fysikaalisesti sitoutunut vesi alkaa poistua rakenteesta. Betoni kuivaa niin pitkään, että huokosten suhteellinen kosteus on yhtä suuri kuin betonin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Mikäli ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on suurempi, kuin betonin huokosissa oleva suhteellinen kosteus, siirtyy betoniin kosteutta ympäröivästä ilmasta niin pitkään, että tasapainokosteus on saavutettu. Tällöin puhutaan betonin kostumisesta. (Merikallio 2007, 17.)

3.1.3 Betonin kastuminen

Betonin kastumisesta puhutaan silloin, kun betonin sisään kulkeutuu nestemäistä kosteutta. Näin tapahtuu silloin, kun betoni on kosketuksissa vapaaseen veteen tai märkään materiaaliin. Kastuminen on siis kapillaarista kosteuden siirtymistä eli nestemäisen kosteuden etenemistä betonin huokosissa. Huokosten määrä on riippuvainen betonin vesi-sementtisuhdesta (v/s) ja betonin iästä. Jotta vesi pystyisi etenemään betonissa, on kapillaarihuokosverkoston oltava jatkuva. Näin tapahtuu ainakin silloin, kun v/s -suhde on yli 0,7. Kun v/s -suhde on alle 0,6, ei kapillaariverkosto ole enää jatkuva, ja kun suhde on alle 0,40, ei kapillaarihuokosia ole juuri ollenkaan täysin hydratoituneessa eli kovettuneessa betonissa. (Merikallio 2007, 18.)

Kastumisesta ei sinänsä ole haittaa betonille, mutta se voi pidentää rakenteiden kuivumisaikaa huomattavasti. Tuoreeseen betoniin ei siirry niin paljon ulkopuolista vettä kuin vanhaan betoniin, sillä sen huokosrakenne on vielä niin täynnä vettä. Vanhassa betonissa huokosrakenne on avoi-

mempi ja näin ollen kapillaarinen veden siirtyminen vanhassa betonissa on suurempaa kuin tuoreessa. Ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat muun muassa maaperän kosteus, sadevesi sekä vesivaingon seurauksena rakenteisiin päässyt vesi.

3.2 Betonin kuivuminen

Betonirakenteessa kuivumista on kahdenlaista: sitoutumiskuivumista ja haihtumiskuivumista. Sitoutumiskuivumisessa vesi sitoutuu kemiallisesti betonirakenteeseen. Suurempi sementtimäärä tarkoittaa suurempaa sitoutumiskuivumista. Erikoisbetonien nopea kuivuminen on saatu aikaan nimenomaan sitoutumiskuivumista hyödyksi käyttäen. Haihtumiskuivumisessa kosteus liikkuu betonirakenteen sisältä rakenteen pintaan, mistä se poistuu haihtumalla. Aluksi kuivuminen on nopeaa, sillä kosteudella on lyhyempi matka pintakerrokseen ja kosteus siirtyy pääosin kapillaarisesti. Ajan kuluessa pinta kuivuu, jolloin kapillaarinen kosteudensiirto loppuu ja kosteus siirtyy enää vain diffuusiolla. Kosteus siirtyy yhä syvemmältä pintaa kohti, joten myös kuivumisaika pitenee. Kosteus siirtyy myös paljon hitaammin diffuusiolla kapillaariseen kosteudensiirtoon verrattuna. (Merikallio 2007, 20–21.)

Betonirakenteen kuivumiseen vaikuttaa rakenteen paksuus sekä se, pääseekö rakenne kuivumaan kahteen vai vain yhteen suuntaan. Mitä paksumpi rakenne on, sitä pitempi matka kosteudella on rakenteen pintaan. Betonin kuivumiseen vaikuttaa myös v/s -suhde sekä betonin lämpötila. Mitä pienempi v/s -suhde on, eli mitä tiiviimpää betoni on, sitä heikommin se läpäisee vesihöyryä. Kapillaarinen kosteudensiirto on myös vähäisempää tiiviissä betonissa. Betonin vesihöyrynläpäisevyys myös kasvaa, kun betonissa on enemmän vettä. Betoni siis läpäisee vesihöyryä sitä enemmän, mitä kosteampaa se on. Betonin lämpötilan nosto puolestaan nostaa huokosissa olevaa vesihöyrynpainetta, jolloin kosteutta siirtyy nopeammin. Mikäli betonia halutaan kuivattaa tehokkaasti, on nostettava siis betonin lämpötilaa. (Merikallio 2007, 21.) On myös varmistettava ympäröivän ilman kyky vastaanottaa kosteutta, eli että sen absoluuttinen kosteus on pienempi kuin betonin huokosissa olevan ilman absoluuttinen kosteus. Mikäli ympäröivä ilman ja betonin huokosilman lämpötila ovat samat, tällöin ilman suhteellinen kosteus pitää olla matalampi kuin betonin huokostilan ilman. Ympäröivän ilman lämpötila pitää siis olla tarpeeksi korkealla ja kosteussisältö matalalla, jotta rakenne saadaan kuivumaan.

Betoniyhdistyksen julkaisu by 45 listaa betonin kuivumiseen vaikuttavia asioita (by 45 Betonilattiat 2002, 130):

Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa:

- huokoistamalla betonimassa 8–10 %:iin
- pienentämällä vesisementtisuhdetta
- käyttämällä mahdollisimman suurta maksimiraekokoa kiviaineksessa.

Työmenetelmien avulla kuivumista voidaan nopeuttaa:

- imubetonointimenetelmää käyttämällä
- pitämällä rakenteet kuivana runkovaiheessa eli estämällä betonin kastuminen.

Rakenteen kuivamista voidaan puolestaan tehostaa:

- huonetilan suhteellisen kosteuden saamisella alle 50 %:n tuuletuksen tai koneellisen ilmankuivaimen avulla
- hiomalla lattia niin nopeasti valun jälkeen kuin vain mahdollista
- nostamalla betonin lämpötilaa.

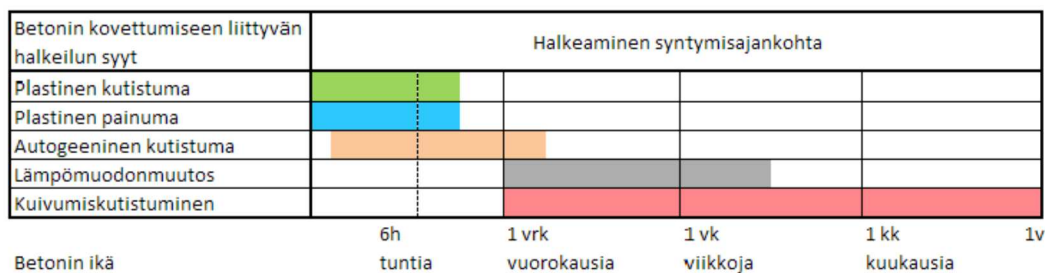
Mikäli halutaan käyttää lattialämmitystä betonin kuivattamiseen, tulee huomioida seuraavat asiat:

- Betonin lujuuden täytyy antaa kehittyä riittäväksi ennen kuin lattialämmitystä voidaan käyttää betonin kuivattamiseen. Rakenteen tulee kestää lämpötilan muutoksesta aiheutuvat rasitukset, eikä kosteuden poistuminen saa häiritä betonin hydrataatiota, joten betonin lujuus tulisi olla vähintään 60 % 28 vuorokauden lujuudesta.
- Laatan kuivatuslämpötila on maksimissaan 30–35 °C ja lämpötilaa olisi hyvä nostaa vaiheittain korkeintaan 5 °C vuorokaudessa. Kuivatuksen jälkeen lämpötila lasketaan huonelämpötilaan ennen kuin lattia päällystetään. Lämpötila lasketaan samalla periaatteella kuin lämpötilan korotus tehdään.
- Lattialämmityksen avulla tehtävää kuivatusta voidaan käyttää kelluviin ja maanvaraisiin lattioihin. Lämmitykseen voidaan käyttää niin vesikiertoista kuin sähkövastuslämmitystäkin, mikäli huolehditaan siitä, että lämpötila saadaan pidettyä luotettavasti halutulla alueella koko kuivatusjakson ajan. Lattian lämmitys saa aikaan laatan lämpöliikkeen, mikä tulee huomioida lattian suunnittelussa. Laatan alla ei saisi olla muovikalvoa tai vastaavaa, jotta se pääsisi kuivumaan mahdollisimman hyvin.

3.3 Betonin kuivumiskutistuma

Betonin kutistumistyyppejä on useita: plastinen kutistuma, plastinen painuma, autogeeninen kutistuma, lämpömuodonmuutos ja kuivumiskutistuma (Rudus Oy, 2010, 1). Näistä kuivumiskutistuman merkitys on merkittävä rakenteen päällystämiseen, joten käsittelemme sitä tarkemmin tässä kappaleessa.

Betonin kuivuessa vettä poistuu betonissa olevista huokosista. Ensin vesi poistuu suuremmista kapillaarihuokosista ja tämän jälkeen sementtigelin huokosista. Tämän seurauksena sementtigelin kutistuu ja tästä seuraa myös betonin kutistuminen. Tällöin puhutaan betonin kuivumiskutistumasta. Kuivumiskutistuma liittyy rakenteen kuivamiseen, joten aikaväli, jolla kuivumiskutistumista tapahtuu, on pitkä (kuva 12).



Kuva 12. Kutistumatyyppien syntymisen ajoittuminen betonin valmistuksen jälkeen (Rudus Oy, 2010, 1)

Mikäli betonin päällystykseen käytetään keraamisia laattoja, tulee kuivumiskutistuma ottaa huomioon. Mikäli betoni ei ole päässyt kutistumaan tarpeeksi ennen laatoitusta, voivat kutistumisesta aiheutuneet voimat irroittaa laatat betonista (kuva 13). Päällysteen muodonmuutoskapasiteetin tuleekin olla suurempi kuin betonipinnan kutistumiskyky päällystykseen jälkeen.

Betonin suhteutuksella voidaan rajoittaa kuivumiskutistuman syntyä. Tällöin rajoitetaan betonin kutistuvaa aineosaa. Mikäli kuivumiskutistumaa halutaan hillitä, kannattaa käyttää karkeaa kiveä, sillä tällöin tilavuusyksikköön jää vähemmän kutistuvaa aineosaa. Käytännössä tämä tarkoittaa #12, #16 ja #32 mm kiveä. Karkeaa kiveä tulisi olla yli 35 %, jotta suhteutus toimisi hyvin. Täytyy kuitenkin muistaa, että työstettävyys ja pumpattavuus kärsivät, mikäli hienoainesta on liian vähän. Halkeiluherkkiä rakenteita ei tulisikaan valaa massoilla, joissa karkeaa kiveä on vain vähän (<15 %). Mikäli karkeaa kiveä käytetään vähän ja hiekkaa paljon, lisääntyy veden määrä ja tätä kautta myös sementin määrä, mikäli pyritään tavoitelujuuteen. Sementtipasta on se aineosa, mikä kutistuman aiheuttaa, joten sementin määrän lisääminen lisää myös kutistumaa. Tästä syystä sementtimäärä tulisi pitää kohtuullisena, eikä pyrkiä nopeaan sitoutumiseen vain korkealla sementtimäärällä ja nopealla sementillä. (Rudus Oy, 2010, 4.)



Kuva 13. Betonin kuivumiskutistuman aiheuttama laattojen irtoaminen alustastaan.
Kuva Tero Niemelä, Skanska Talonrakennus Oy.

4 RAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTA

4.1 Rakenteiden suojaus

Rakenteiden kosteudenhallinnassa tärkeää on, että kosteuden poisto rakenteista on huomioitu jo suunnitteluvaiheessa, sillä suunnitteluvaiheen valinnoilla on suurin vaikutus rakenteiden kosteudenhallintaan. Eräs tärkeimmistä keinoista vähentää rakentamisen aikaista kosteutta on suojata sekä rakennustarvikkeet että olemassa olevat rakenteet sateelta ja lumelta. Kosteuden pääsy rakennustarvikkeisiin voi joko pilata itse tuotteen tai pidentää kuivumisaikaa. Esimerkiksi pehmeät eristemateriaalit voivat vaurioitua liiallisen kosteuden seurauksena. Betonielementit taas eivät vaurioidu vesisateesta, mutta mikäli ne pääsevät kastumaan kunnolla, voi niiden kuivumisaika pidentyä huomattavasti, mikä taas vaikeuttaa niiden pinnoitettavuutta. Tämä voi aiheuttaa viivästyksiä työmaan aikatauluun.

Rakennustarvikkeet tulee siis suojata jo tehtaalta lähtien sadetta ja kosteutta vastaan. Mikäli tuotteita varastoidaan tehtaalla tai ostopaikassa, tulee ne varastoida siten, että ne eivät pääse vaurioitumaan. Tuotteet täytyy siis suojata esimerkiksi muovilla siten, että kosteus ei pääse vaurioittamaan niitä. Tuotteet tulee myös säilyttää lavojen päällä, jotta kapillaarinen vedennousu estetään. Tällöin tulee huolehtia siitä, että ilma vaihtuu myös lavojen alla, ettei maasta tai ilmasta tuleva kosteus pääse tiivistymään suojamuovien tai pressujen alapintaan ja näin pääse vaurioittamaan tuotteita. Tuotteiden siirto tehtaalta työmaalle pitää hoitaa siten, että tuotteet on hyvin suojattu koko matkan ajan. Pakkausmateriaalit tulisi tarkistaa ennen tuotteiden lastausta sekä työmaalla heti kuorman purkamisen yhteydessä. Näin voidaan varmistaa se, että työmaalle toimitettu tavara vastaa laatuvaatimuksiltaan vaadittua. Voidaankin puhua niin sanotusta materiaalien kuivaketjusta, jolla tarkoitetaan sitä, että materiaalit pidetään kuivina aina materiaalintoimituspaikalta asennuspaikalle.

Kosteudenhallinnan näkökulmasta parasta olisi, jos tuotteita ei tarvitsisi varastoida työmaalla, vaan ne saataisiin heti käyttöön ja suojaan rakenteiden sisään. Tällöin puhutaan JOT-periaatteesta, eli tuotteet toimitetaan Juuri Oikeaan Tarpeeseen. Aina tämä ei ole mahdollista, joten tuotteita joudutaan varastoimaan työmaalla ennen käyttöä. Tällöin korostuu työmaan suunnittelun merkitys eli se, miten hyvin tuotteiden varastointiin on varauduttu ja miten hyvin säänsuojasuunnitelmaa toteutetaan. Tässä, niin kuin monessa muussakin asiassa, pätee sanonta, että hyvin suunniteltu on enemmän kuin puoliksi tehty. Rakennustuotteet tulee säilyttää sellaisissa olosuhteissa, että ne eivät pääse vaurioitumaan. Ne siis tulee säilyttää mielellään niissä olosuhteissa, missä ne tulevat olemaan asennettuina. Työmaan aluesuunnitelmassa tuleekin huomioida tuotteiden varastointi ja työmaan sisäinen logistiikka.

Aikataulun suunnittelu korostuu myös rakenteiden asennuksessa, sillä aika ennen kuin vesikatko on suojaamassa rakenteita, on kriittinen kosteudenhallinnan näkökulmasta. Rungon pystytysvaiheessa kosteudelle herkäät materiaalit, kuten villat ja puupohjaiset tuotteet, tulee suojata sadetta ja kosteutta vastaan. Suojauksen kannalta olennaista on se, että aluskate saadaan paikoilleen

mahdollisimman pian, jotta tulevilla rakenteilla päästään suojaamaan rakennusta väliaikaisten suojausten sijaan.

Nykyään on mahdollista rakentaa rakennus täysin säältä suojassa huputettuna. Tällöin rakennuksen ympärille rakennetaan telineiden ja erikoispressujen avulla telttä, jonka sisässä voidaan töitä tehdä täysin säältä suojassa. Huputus minimoi sään aiheuttamat rakentamisen vauriot ja aikataulun viivästykset, mutta lisää samalla rakennuskustannuksia. On arvioitu, että huputus lisää kustannuksia jopa 60 € neliötä kohti. Koska esimerkiksi rakennuskohteen muoto vaikuttaa sääsuojauksen kustannuksiin, arvio 1,5–5 % lisäkustannuksista verrattuna kokonaiskustannuksiin voi olla lähellä totuutta. (Mölsä 2014, 7). Poikkeaviakin arvioita huputuksen kustannuksista on esitetty (Mölsä ja Lätilä 2014, 6). Kyseessä on siis merkittävä kustannuslisä, mutta vastaavasti kosteusvaurioiden riskiä saadaan pienennettyä. Lisäksi säältä suojassa rakentaminen vähentää lumitöitä, roudan sulatusta, häiriöitä rakennusaikataulussa sekä lisää työturvallisuutta (Mölsä 2014, 7). Joissakin kohteissa hyödyt saattavat hyvinkin nousta kustannuksia suuremmiksi, jolloin säältä suojassa rakentaminen kannattaa. Joissakin tapauksissa sääsuoja voi myös parantaa tuottavuutta. Suojaustarve tulee harkita aina tarpeen mukaan. Kaikki runko- ja eristeratkaisut eivät vaadi sääsuojaa. Sateelta suojassa rakentaminen saattaa lisääntyä Suomen ilmaston muuttuessa entistä sateisemmäksi ja lämpimämmäksi, mikäli menetelmää saadaan kehitettyä kustannustehokkaammaksi.

4.2 Maanpinnan alapuoliset rakenteet

Maanpinnan alapuoliset rakenteet altistuvat kosteudelle, joka voi olla peräisin useasta eri kosteuslähteestä. Sadevesi voi kulkeutua maanpinnan alapuolisiin osiin maan- tai rakennuksen pinta pitkin. Kosteus voi myös olla peräisin maaperästä, esimerkiksi vajo- tai pohjavetenä. Kosteus voi nousta maaperässä kapillaari-ilmion seurauksena. Kapillaarinen nousukorkeus on eri erilaisille maalajeille. Hienorakeisissa maalajeissa nousukorkeus on suurempi kuin karkearakeisissa maalajeissa. Kapillaarikatkon paksuus täytyy olla suurempi kuin kapillaarikatkona käytettävän materiaalin kapillaarinen nousukorkeus. Kapillaarikatkoksi suositellaan yleensä vähintään 300 mm kerrosta pestyä sepeliä, mutta kuten jo aikaisemmin todettiin, kapillaarikerroksen paksuus on kuitenkin aina vähintään 20 % suurempi kuin kapillaarikatkokorokseen käytetyn maalajin vedennousukorkeus. Jotta lattioiden kosteustekninen toiminta saadaan kuntoon, on välttämätöntä estää veden kapillaarinen nousu rakenteisiin.

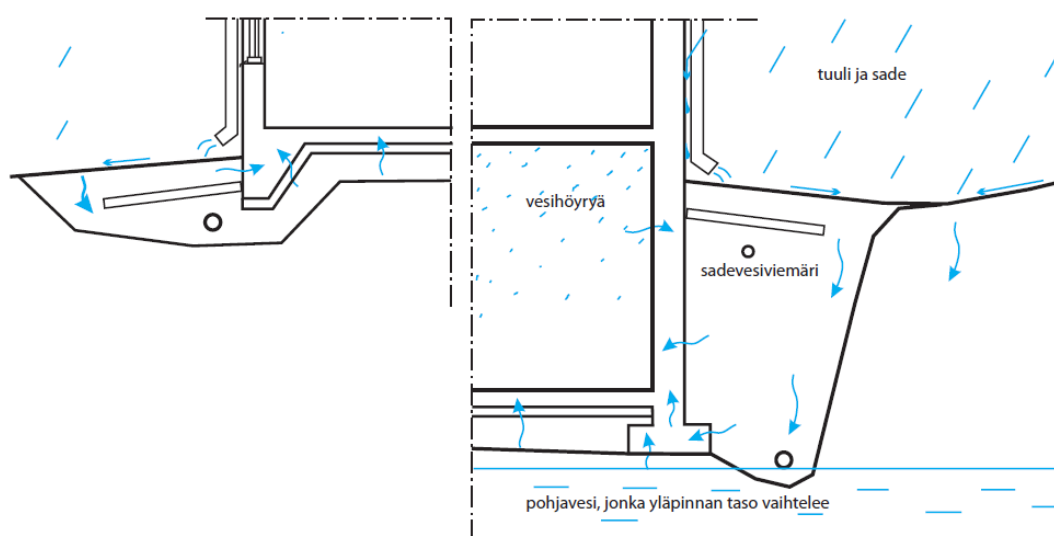
Sade- ja sulamisvedet on saatava pois rakennuksen perustuksista riittävällä kallistuksilla sekä sadevesi- ja salaojajärjestelmillä. Voidaankin sanoa, että sadevesijärjestelmän avulla huolehditaan ylhäältä päin tulevasta kosteudesta, kun taas salaojien pääasiallinen tarkoitus on pitää pohjavesipinta perustusten alapuolella. Salaoja- ja sadevesijärjestelmät tulisi rakentaa valmiiksi mahdollisimman aikaisin työmaan aikana, jotta niitä voitaisiin hyödyntää myös työmaa-aikaisessa kosteudenhallinnassa. Rakentamisen aikana on tärkeää, että maanrakennus hoidetaan huolellisesti. Sadevesi- ja salaojajärjestelmien suunnittelua ei tässä työssä käsitellä. Suunnitteluohjeita löytyy

muun muassa julkaisusta Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012 sekä RT-kortista Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus (RT 11000).

Seuraavaksi käsitellään muutamia asioita, jotka ovat tärkeitä kuivatusjärjestelmien toimivuuden kannalta. Ensinnäkin kuivatusjärjestelmät tulee rakentaa pohjarakennesuunnitelman mukaisesti toimiviksi, toisin sanoen pohjarakennesuunnitelmaa tulee noudattaa huolellisesti. Esimerkiksi salaojakerroksia rakentaessa tulee huolehtia siitä, ettei ympäröivä maa pääse sekaantumaan salaojakerrokseen. Tämä voidaan estää asentamalla suodatinkangas salaojakerroksen ja ympäröivän maan välille, mutta toimiakseen suodatinkangas tulee asentaa huolellisesti.

Salaojien toimivuuden kannalta on myös välttämätöntä, ettei niitä kuormiteta sadevesillä, vaan sadevesille rakennetaan oma järjestelmänsä. Salaojajärjestelmän asennuksessa tulee huolehtia myös siitä, etteivät putket ja kaivot pääse jäätymään. Tämä estetään asentamalla putket routarajan alapuolelle tai yläpuolisen eristyksen avulla. Mikäli salaojaputken poistot johdetaan maaperään, on poistojen toimivuus huolehdittava myös talvella ja keväällä. Salaojien asennuksessa tulee myös huolehtia riittävästä kallistuksesta. Salaojien tulee johdattaa niihin kertyvä vesi salaojakaivoihin. Myös rakennusta ympäröivän maanpinnan kallistuksesta on huolehdittava sadevesijärjestelmästä huolimatta. Nekin sadevedet, jotka eivät kulkeudu sadevesijärjestelmään, tulee jotta pois rakennuksen perustuksista.

Rakennustyömaan aikana on pidettävä huolta siitä, että rakennetut kuivatusjärjestelmät pysyvät ehjänä. Asennettujen putkien läheisyydessä tulisi välttää raskasta tärytystä sekä raskailla koneilla ajoa. Salaojajärjestelmät on hyvä testata ennen luovutusta. Tarvittaessa ne voidaan esimerkiksi kuvata.



Kuva 14. Kosteuden siirtyminen maassa, perustuksissa ja perusmuurissa (Perustusten ja perusmuurien kosteuden- ja vedeneristysohjeet. RT 10955, 3)

Lisäksi on huolehdittava perusmuurien ja perustusten vedeneristyksestä. Epäjatkuva vedeneristys riittää silloin kun pohjaveden pinta pysyy perustamistason alapuolella, eikä maaperässä ole haitallisia kaasuja (Perustusten ja perusmuurien kosteuden- ja vedeneristysohjeet. RT 10955, 8). Epäjatkuva vedeneristys tehdään perusmuuri- eli patolevyllä. Patolevy estää maaperän kosteuden vaikutukset perusmuuriin sekä ohjaa sisäpuolelta tulevan kosteuden levyn sisäpintaa pitkin levyn alaosaan. Perusmuurin alaosa sekä anturan ja perusmuurin liitoskohta viisteineen tulee päällystää bitumikermillä, jota pitkin sisäpuolinen kosteus johdetaan edelleen maaperään. Patolevyn yläosaan tulee asentaa peitelista, jotteivat roskat ja maa-aines pääse tukkimaan levyn ja perusmuurin välistä ilmarakoa.

Mikäli kyseessä on vedenpaineisinä, on seinä suojattava jatkuvalla vedeneristyksellä. Tämä tehdään yleensä käyttämällä hitsattavia kumibitumisia aluskermejä, joita voidaan käyttää myös vesikatolla. Bitumikermien asennuksessa on huolehdittava riittävästä limityksistä. Vedenpaineen alaisen rakenteen tulee kestää muitakin siihen kohdistuvia kuormia, kuten maanpaineen, hyötykuormien, lämpö- ja muodomuutosrasitusten, betonin kutistuman, muiden rakenteiden aiheuttamien sekä työnaikaisten rasitusten vaikutukset (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 61). Läpiviennit pyritään aina tekemään vedenpaine-eristyksen yläpuolelle. Mikäli tämä ei ole mahdollista, on läpiviennit suunniteltava tapauskohtaisesti ja huolellisesti. Läpivientien riittävästä tiivyydestä on huolehdittava käyttämällä tähän tarkoitukseen sopivia erikoisosia.

4.3 Betonirakenteet

4.3.1 Vaakarakenteet

Alapohjarakenteet

Maanvaraisen alapohjan rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa tutkitaan kosteuden siirtymistä maaperän ja sisäilman välillä sekä rakenteen kuivumista. Kuten jo aikaisemmin on mainittu, yleensä maaperän suhteellinen kosteus oletetaan olevan 100 %, mutta tarkastelut tulisi tehdä myös alhaisemmilla suhteellisen kosteuden arvoilla. Mikäli kyseessä on tuulettuva alapohja, vaikeuttaa ryömintätilan korkea suhteellinen kosteus lattialaatan kuivamista, sillä tällöin rakenne ei pääse kuivamaan kahteen suuntaan. Tässä työssä emme tarkastele tämän tarkemmin tuulettuvia alapohjarakenteita.

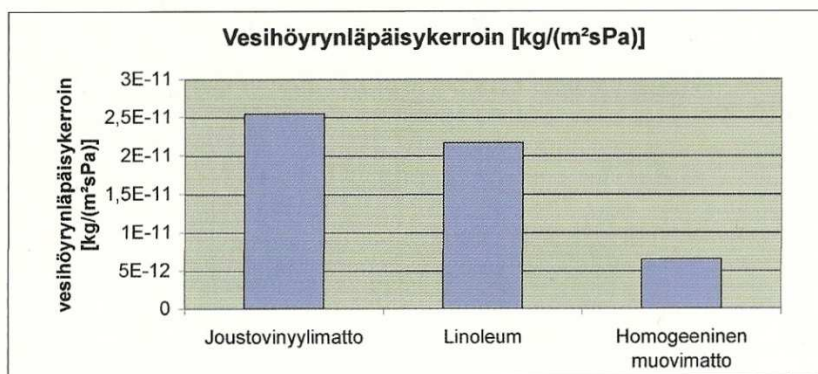
Jotta vesi ei pääsisi maaperästä alapohjarakenteeseen, on huolehdittava riittävästä kapillaarikatkosta sekä salaojien toimivuudesta, kts. kohta 4.2. Maaperässä kosteus on kaasumaisessa muodossa eli vesihöyryinä maaperän huokosissa ja se pääsee diffuusion avulla huoneilmaan. Betonissa kapillaarisesti siirtyvä kosteusmäärä on kuitenkin yleensä huomattavasti suurempi kuin diffuusiolla siirtyvä kosteusmäärä. Kuitenkin, vaikka kapillaarikatkosta on huolehdittu, lattian alapuolisen täytön suhteellinen kosteus voi olla lähelle 100 %. Kapillaarikatkon paksuus tulee olla suurempi kuin materiaalin kapillaarinen nousukorkeus, jotta kapillaarikatkosta olisi hyötyä.

Maanvaraisen lattiarakenteen alla tulisi olla kauttaaltaan lämmöneriste. Eristeen avulla saadaan muun muassa estettyä kylmäsiltojen muodostuminen. Kosteusteknisen toimivuuden parantamiseksi eristeen eri puolilla tulisi olla vähintään 2–3 °C lämpötilaero, joten eristekerroksen paksuuden tulee olla riittävä. Eristeen vesihöyrynvastus tulisi olla suuri, jotta diffuusiovirtaa eristeen läpi saataisiin pienennettyä. Kuitenkin, koska maanvaraisessa lattiassa kosteusvirran suunta vaihtelee rakenteen eliniän aikana, rakenteeseen ei tulisi asentaa höyrynsulkua mihinkään kohtaan. Myös esimerkiksi parketti- ja laminaattipäällysteiden alle laitettava muovikalvo on periaatteessa riski, sillä höyrynsulun alapintaan voi ajan mittaan kerääntyä kosteutta maaperästä. (Merikallio 2007, 31.)

Betonilaadulla voidaan vaikuttaa paljon maanvaraisen lattian kosteustekniseen toimintaan. Betonin vesihöyrynläpäisevyyteen vaikuttaa betonin tiiviys ja kosteus. Korkeamman lujuuden betoni on tiiviimpää kuin alemman lujuusluokan betoni. Kun betonin lujuus kasvaa, pienenee sen vesisideainesuhde. Tiiviissä betonissa kosteus liikkuu hitaammin kuin heikompileatuudessa betonissa. Mitä kosteampaa betoni taas on, sitä helpommin kosteus siinä liikkuu. Betonilattia olisi siis hyvä tehdä mahdollisimman korkealaatuisesta betonista, jolla on alhainen vesisideainesuhde, jotta kosteusvirtaa rakenteen läpi saataisiin hillittyä.

Päällystemateriaalin valinnalla on suuri merkitys lattian kosteusteknistä toimintaa tarkastellessa. Mikäli päällystemateriaali on tiivis, kasvaa riski, että päällysteen alla kosteus kasvaa kriittisen suu- reksi. Tästä syystä alapohjaa ei kannata päällystää esimerkiksi tiiviillä muovimatolla, vaan vesi- höyryä läpäisevällä pinnoitteella. Rakenne on toimiva, jos pinnoite läpäisee vesihöyryä nopeam- min kuin alapuolinen laatta kuivuu, koska tällöin kosteus ei jää pinnoitteen ja laatan väliin. Eri päällysteiden kriittisiä kosteuksia on esitetty taulukossa 3.

Esimerkkinä pinnoitteiden erilaisista vesihöyrynläpäisevyyksistä voidaan käydä linoleum ja ho- mogeeninen muovimatto. Kuviossa 15 näkyy, että linoleum läpäisee vesihöyryä moninkertaisesti muovimattoon verrattuna. Joustovinyylimatto läpäisee vesihöyryä vielä linoleumiakin paremmin. Täytyy muistaa, että pinnoitteen kiinnitykseen käytettävän liiman kriittisen suhteellisen kosteuden arvo voi olla eri kuin pinnoitteen. Useimmille liimoille kriittisenä arvona pidetään 85 % kosteutta, eli suhteellinen kosteus päällysteen alla ei saa nousta tämän arvon yli. (Merikallio, Niemi ja Ko- monen 2007, 31-33.)



Kuvio 15. Eri lattiapäällysteiden vesihöyrynläpäisykerroimia (Merikallio ym. 2007, 34)

Väli pohjarakenteet

Betoniväli pohjarakenne voi olla paikalla valettu massiivilaatta, ontelolaatta, TT-laatasto, kuori- laatta tai liittolaattarakenne. Lisäksi rakenteen päälle voidaan tehdä erillinen pintavalu tasoit- teesta tai betonista. Mikäli ääneneristävyyttä halutaan parantaa, on pintalaatan ja runkolaatan välissä joskus eristekerros.

Väli pohjarakenteen kuivumiseen vaikuttaa rakenteen paksuus, kuivumissuunnat sekä kerrokselli- suus, eli jos uusi valukerros kastelee aiemmin valettua ja jo kuivanutta rakennetta. Rakenteen kuivamista tarkkaillaan rakennusaikana kosteusmittauksilla, jotka tehdään rakenteesta eri syvyyk- sistä. Mittaussyvyys on eri erilaisilla rakenteilla. Päällystemateriaalin kriittinen kosteusarvo määrit- tää sen, milloin rakenne on riittävän kuiva päällystämiseen. Rakenteen lämpötilan tulisi lisäksi olla lähellä lopullista lämpötilaa, sillä jos lämpötila nousee päällystämisen jälkeen, voi tästä seurata pahimmassa tapauksessa päällystevaurio. Lämpötilan noustessa betonin huokosrakenteeseen sitoutunut kosteus voi nimittäin lähteä liikkeelle ja aiheuttaa vaurioita. Mikäli väli pohjarakenteen yläpinnan lämpötila on huomattavasti matalampi kuin alapinnan, voi kosteus siirtyessään tiivistyä

viileämmän tiiviin pinnoitteen alle. Pinnoitteita valitessa tulee aina muistaa, että kosteuden tiivistymisriski on aina sitä suurempi mitä tiiviimpi pinnoite on kyseessä.

Massiivilaattojen kuivumisaika voi olla pitkäkin, joten kuivumiselle tulee varata riittävästi aikaa ja kuivumisolosuhteet pitää olla kunnossa. Kuivumisaikaan pitää kiinnittää huomiota jo suunnitteluvaiheessa laatimalla kuivumisaika-arvio (kts. kappale 4.5). Kuivumisaikaan voidaan vaikuttaa betonivalinnalla ja lämmityksen aloittamisajankohdalla. Massiivilaatat tulisi valaa lopulliseen pintaan kerralla, sillä aina kun päälle valetaan uusi kerros, kastellaan samalla jo aikaisemmin valettu rakenne.

Kun tarkastellaan rakennusaikaista kosteudenhallintaa asuinkerrostalossa, on massiivilaattojen käytössä se etu, että niiden avulla saadaan mahdollisesti suojattua alapuolisia rakenteita. Massiivilaatta muodostaa yhtenäisen ja tiiviin pinnan, mikä estää kosteuden pääsyn suoraan alapuolisiin rakenteisiin. Esimerkiksi ontelolaattakenttä sisältää useita saumoja, joista ontelolaataston päälle satanut vesi pääsee helposti siirtymään alaspäin ja alapuolisilta kentiltä edelleen seuraaville tasoille, ja näin ollen rakenne voi kastua suureltakin alueelta. Lisäksi massiivilaattojen kallistusten ja viemäriämpivientien avulla voidaan ohjata sadevesiä rakenteiden ulkopuolelle, mikä on huomattava etu kosteudenhallintaa ajatellen. Vanhaan betoniin siirtyy huomattavasti paljon enemmän kosteutta kuin uuteen vastavalettuun betoniin, joten aikaisemmin valettujen rakenteiden, eli esimerkiksi ontelolaattakentän, kastuminen lisää niiden kuivumisaikaa huomattavasti (katso kohta 3.1.3 Betonin kastuminen). Ontelolaattojen betoni on tiivistä, mutta se on myös kapillaarisempaa kuin paikallavaluholvin betoni, joten ontelolaattakenttä voi sitoa itseensä enemmän kosteutta.

Lisäksi ontelolaattavälipohjaa käytettäessä tulee muistaa huolehtia ontelolaatan vesireikien aukaisemisesta. Ontelolaatta saattaa kerätä vettä onteloihinsa, ja tätä varten ontelolaatan pohjassa on reiät, joista vesi pääsee valumaan pois. Ei ole kuitenkaan tavatonta, että reiät ovat tukossa, joten reiät tulisi aukaista esimerkiksi harjaterästangon avulla. Mikäli vesireikiä ei aukaista ja vettä jää rakenteen sisään, saattaa tämä aiheuttaa suuriakin vaurioita myöhemmässä vaiheessa. Ongelmaksi voi muodostua ontelolaattojen reunoilla sijatsevien sideterästen umpeenvalu. Tällöin reunimmainen ontelo koteloituu osiin ja vesireikien aukaisu ei poista vettä onteloiden koko matkalta. Samoin voi tapahtua reunavalujen kohdalla.

Tärkeintä välipohjarakenteissa on siis estää sadeveden pääsy rakenteisiin sekä tietysti huolehtia rakenteiden kuivatuksesta. Betonirakenteisessa rakennuksessa rakentamisaikana sisäilman suhteellinen kosteus voi nousta todella suureksi ainakin suurten valujen jälkeen, joten tuuletus täytyy suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Rakenteiden tuuletusta yleisellä tasolla on käyty tarkemmin läpi kappaleessa 5.

Kriittiset kosteusarvot eri päällystemateriaaleille

Taulukossa 3 on esitetty kriittiset kosteudet eri päällystemateriaaleille. Kriittisellä kosteudella tarkoitetaan sitä kosteuspitoisuutta, jonka päällystemateriaali tai sen kiinnittämiseen käytetty sideaine enintään kestävät. Kriittiset kosteudet on määritetty laboratoriotutkimuksin, mutta täytyy muistaa, että raja-arvot ovat hyvin yleisluontoisia ja eri valmistajien tuotteiden välillä voi olla eroja. Tästä syystä tuleekin aina noudattaa eri valmistajien tuotteilleen antamia raja-arvoja.

Betonilattian suhteellinen kosteus mitataan arviointisyvydeltä A ja lisäksi mitataan betonin pintaosien kosteus syvydeltä $0,4 \times A$. Pintaosamittaus tehdään 1–3 cm syvydeltä. Arviointisyvyys määräytyy rakenteen paksuuden ja kuivumissuunnan mukaan. Mikäli rakenne pääsee kuivumaan kahteen suuntaan, eli esimerkiksi välipohja alas- ja ylöspäin, on arviointisyvyys 20 % rakenteen paksuudesta. Yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa, eli esimerkiksi maanvaraisessa lattiassa, arviointisyvyys on 40 % rakenteen paksuudesta. Maksimisyvyys mittauksille on 70 mm. (by47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2007, 138.)

Mikäli kyseessä on kerroksellinen rakenne, esimerkiksi ontelolaatta ja pintavalu, on mittaus suoritettava sekä pintavalusta että ontelolaatan betonista. Pintavalussa mittaussyvyys on $0,5 \times$ pintaosan paksuus ja ontelolaatassa 20 mm pintavalun alapuolelta. Ontelolaatan päällä voi olla myös pelkkä tasoite, jolloin arviointisyvyys on viidesosa koko rakenteen paksuudesta. Kololaattarakenteessa mittaus suoritetaan jälkivalusta 40 %:n syvyydestä. Myös kelluvissa lattiarakenteissa mittaussyvyys on 40 % pintaosasta. Tällöin tulee lisäksi mitata myös eristetilan kosteus.

Taulukosta 3 havaitaan, että herkimpiä kosteudelle ovat parketit sekä tiiviit päällysteet, kuten huopa- tai solumuovipohjaiset muovimatot. Muovimatoissa ongelmia voivat muodostaa maton alle jäävän kosteuden ja maton kiinnittämiseen käytetyn liiman reagointi keskenään. Sisäilmaan päässeet emissiot voivat aiheuttaa tällöin sisäilmaongelmia. Kosteusvaurioiden syntymistä on käsitelty tarkemmin kappaleessa 4.7. Parketeissa arviointisyvyyden suhteellisen kosteuden maksimiarvo on sama sekä kelluvalle että liimattavalle lautaparketille. Liimattavalla lautaparketilla enimmäisarvoa voidaan nostaa 90 %:iin mikäli käytetään erikoisbetonia, jossa v/s-suhde on pienempi kuin 0,5 (Merikallio ym. 2007, 22).

Keraamisille laatoille suhteellisen kosteuden enimmäisarvo on suurempi, 90 %. Laattojen tartunnan kanssa voi kuitenkin ilmetä ongelmia, mikäli betonilaatta kutistuu paljon, sillä laattapinta ei elä tällöin mukana. Vaikkei betonin kosteus siis aiheuttaisikaan varsinaista kosteusvauriota, voi betonin kutistuminen aiheuttaa laattojen irtoamisen alustastaan vielä pitkänkin ajan jälkeen. Laminaatille arviointisyvyyden suhteellisen kosteuden maksimiarvo on 85 % (Merikallio ym. 2007, 25). Täytyy huomioida, että kaikille mainituille pinnoitteille betonin pintaosan suhteellisen kosteuden maksimiarvo on 75 %.

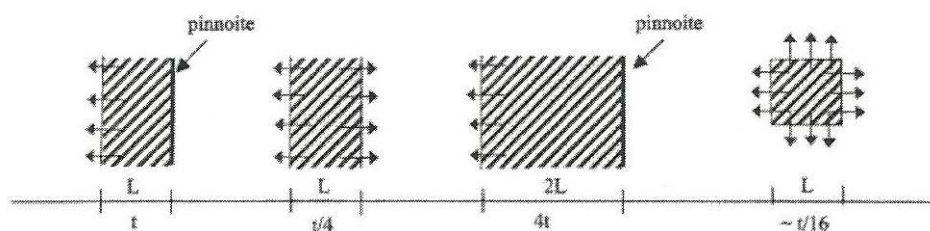
Taulukko 3. Päälystystyön edellytyksenä oleva alustabetonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo eri päälystemateriaaleille (Merikallio ym. 2007, 19–45) ja pinnoitteille (SisäRYL 2013. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen sisätyöt. RT 11103, 276)

	Betonin RH (%) arviointisyvyydellä (A)	Betonin ja/tai tasoitteen RH (%) pinnassa ja 1-3 cm:n syvyydellä (0,4×A).
Päälystemateriaalit		
<i>Kelluva lautaparketti ja alusmateriaali</i>	85	75
<i>Alustaan liimattava lautaparketti</i>		
- normaali betoni	85	75
- erikoisbetoni ($v/s < 0,5$)	90	75
<i>Laminaatti + vesihöyryntiivis alusmateriaali</i>	85	75
<i>Mosaikkiparketti</i>		
- normaali betoni	85	75
- erikoisbetoni ($v/s < 0,5$)	90	75
<i>Muovimatot</i>	85	75
<i>Linoleumi</i>	85	75
<i>Kumimatot</i>	85	75
<i>Tekstiilimatto, tiivis alusta (pvc, kumi, kumilateksilevy) tai luonnonmateriaalista tehty</i>	85	75
<i>Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta</i>	90	75
<i>Muovi-, kumi- ja linoleumilaatat</i>	90	75
<i>Vedeneriste</i>	85-95	75
Pinnoitteet		
<i>Akryylipinnoitteet</i>	97	
<i>Polyuretaanipinnoitteet</i>	90	
<i>Liuotteettomat epoksinpinnoitteet</i>	97	
<i>Vesiohenteiset epoksinpinnoitteet</i>	97	
<i>Epoksinpinnoitteet</i>	97	

4.3.2 Pystyrakenteet

Väliseinät

Väliseinärakenne voidaan tehdä betonielementistä, paikallavaluna, harkkoseinä tai kevytrakenteisena kipsilevyseinänä. Pisin kuvatusaika on luonnollisesti paikallavaluseinällä. Kuten välipohjenkin tapauksessa, betonirakenteisen väliseinän kuivumiseen vaikuttaa sekä rakenteen paksuus että kuivumissuunnat. Kuvasta 16 nähdään, että mikäli rakenne on pinnoitettu toiselta puolelta, kasvaa kuivatusaika neljä kertaa suuremmaksi. Jos toiselta puolelta pinnoitetun rakenteen rakennepaksuus kaksinkertaistetaan, nelinkertaistuu kuivausaika edelleen. Paikallavaletun teräsbetoni-seinän kuivamisaikaa voi arvioida kuivumisaika-arvion avulla, mikä on esitelty kappaleessa 4.5.2.



Kuva 16. Rakenteen paksuuden ja kuivumisajan yhteys (Dunkel 2011, 33)

Seinäpinnoitteista tapetti on kosteudelle herkkä. Mikäli liian kostea pinta tapetoidaan, saattaa tapetin kiinnittämiseen käytettävä liima aiheuttaa ongelmia kosteuden kanssa reagoidessaan. Tästä syystä myös seinien riittävään kuivumiseen tulee kiinnittää huomiota, varsinkin jos on kyseessä paikalla valettu rakenne. Kosteusvaurioita ja niiden aiheuttamia ongelmia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 4.7.

Myös väliseinien tapauksessa täytyy huomioida betonin kuivumiskutistuma. Seinärakenteissa tulee myös huomioida betonirakenteen kuormituksesta aiheutuva muodonmuutosviruma, jonka kesto voi olla pitkä. Korkeissa rakennuksissa viruman vaikutus korostuu. Alimmissa kerroksissa viruman on todettu kasvattavan seinärakenteen muodonmuutoksia huomattavasti. Pystysuunnassa seinän muodonmuutos voi olla jopa kaksinkertainen vaakasuuntaiseen muodonmuutokseen verrattuna. Tämä asia täytyy huomioida ennen kuin rakenteita päällystetään esimerkiksi keraamisilla laatoilla. (Merikallio 2007, 25.)

Ulkoseinät ja julkisivu

Ulkoseinät ja julkisivu ovat tärkeässä osassa rakennusaikaisessa kosteudenhallinnassa. Ulkoseinät altistuvat sateelle, ja koska niissä sijaitsee ulkovaipan pystysuora lämmöneriste, on niiden pystytys tehtävä todella huolellisesti. Työmaan aikataulutuksessa täytyy huomioida asennusajankohta, sillä sateen ja suhteellisen kosteuden arvot vaihtelevat suuresti eri vuodenaikoina, kts. kappale 2 Kosteus ympäristössämme. Aikataulutuksessa tulee myös huomioida tasoitetoista aiheutuva kosteus, joka on huomattava kosteuslisä. Ulkoilmaan rajoittuvissa ulkoseinärakenteissa kondenssirisiki kasvaa, kun sisäilman kosteuslisä nousee. Mikäli höyrynsulku ei ole valmis, voivat esimerkiksi puu-ulkoseinän eristeet kastua sisäilman kondensoituessa rakenteisiin.

Ulkoseinärakenteita on useita erilaisia, mutta tarkastellaan tässä työssä seuraavia: betonisandwich-elementti, muurattu betonijulkisivu sekä eristerapattu julkisivu. Betonisandwich-elementti koostuu betonisista sisä- ja ulkokuorista sekä niiden välissä sijaitsevasta eristekerroksesta. Muurattavalla betonijulkisivulla tarkoitetaan tässä työssä rakennetta, joka koostuu kantavasta betonisesta sisäkuoresta, siihen valmiiksi kiinnitetystä eristekerroksesta, tuulensuojakerroksesta sekä muuratusta julkisivusta. Tuulensuojaeristeen ja muuratun julkisivun välissä on tuuletusväli. Ulkoseinien eristemateriaalina kannattaa käyttää eristettä, joka ei ime itseensä kosteutta hygrooppisesti tai siirrä kosteutta kapillaarisesti. Betonisandwich-elementissä eristeenä voidaan käyttää mineraalivillaa tai muovipohjaisia EPS-, PU- tai XPS-eristeitä (Elementtisuunnittelu.fi).

Näistä mineraalivilla on hengittävin ilmavan koostumuksensa takia eli sen ilmanläpäisevyys on suurempi kuin muovipohjaisilla eristetuotteilla. EPS-, PU- ja XPS-eristeiden rakenne on suljettu, joten niiden läpi ilmavirtaukset tapahtuvat pääasiassa levyjen saumojen kohdalta. Rakennusmateriaalien vesihöyrynvastusluku ilmaisee kuinka paljon rakenne vastustaa kosteuden diffuusiota rakenteen läpi. Mitä pienempi luku on, sitä helpommin vesihöyry pääsee liikkumaan. 100 mm paksulle mineraalivillakerrokselle vesihöyrynvastusluku on $8 \cdot 10^3$ s/m, kun taas EPS-eristeelle se on $100 \cdot 10^3$ s/m ja PU-eristeelle $1300 \cdot 10^3$ s/m (Dunkel 2011, 15). Mineraalivillassa kosteuden diffuusio rakenteen läpi on siis suurempaa kuin esimerkiksi PU-eristeessä. Koska ulkoseinärakenteessa kosteusvirta on pääsääntöisesti sisältä ulospäin (katso kappale 2.3 Kosteus sisäilmassa), tarkoittaa edellä mainittu sitä, että mineraalivillaeristeisessä seinässä kosteusvirta sisältä ulos on suurempaa. Rakennusaikana kosteusvirtaa lisää suuri sisäilman kosteuspitoisuus sekä rakenteissa itsessään oleva rakennekosteus.

Betonisandwich-rakenteessa kosteudenhallinnan näkökulmasta kriittinen piste sijaitsee ulkopuolisen kuorirakenteen ja eristekerroksen rajassa. 100 mm paksulle betonikerrokselle vesihöyrynvastusluku on $150 \cdot 10^3$ s/m (Dunkel 2011, 14), joten vesihöyryn diffuusio betonikerroksen läpi on hitaampaa kuin mineraalivillakerroksen. Sisäpuolisen betonikuoren luovuttama vesihöyry siirtyy mineraalivillan läpi ulkopuolisen betonikerroksen pintaan, mutta koska diffuusio betonin läpi on hitaampaa, voi kosteutta kerääntyä ulkopuolisen betonikerroksen sisäpintaan. Ratkaisuna tähän voidaan käyttää uritettua mineraalivillaeristettä, jossa eristekerroksen ulkopintaan on leikattu tuuletusurat, jotta ulkopuolisen betonikerroksen ja eristeen välinen rajatila pääsee tuulettumaan ja mahdollinen kosteuskertymä pääsee poistumaan. Solumuovieristeitä käytettäessä täytyy huomioda se, että koska vesihöyrynvastus eristeellä on suuri, ei sen sisäpuolella oleva betonikuori pääse kuivumaan kuin yhteen suuntaan. Tämä pidentää sisäpuolisen betoniseinän kuivumisaikaa ja tämä täytyy ottaa huomioon pinnoitusaikataulua laadittaessa.

Rakennuksen käytön aikana kosteus pääsee liikkumaan rakenteissa myös konvektion seurauksena rakenteiden epätiiviyshohdista sekä viistosateella ulkokuoren saumojen epätiiviyshohdista. Tästä syystä elementtien väliset saumat tulee tehdä rakennusaikana huolellisesti. Pelkät pusksaumamat eivät riitä eristeiden kohdalla, vaan saumat tulee toteuttaa kovilla eristeillä esimerkiksi ponttien avulla. Mineraalivillaeristeen tapauksessa saumaan asennetaan mineraalivillakaistale. Elementtisaumojen saumakitti tulee myös asentaa huolellisesti, jottei sade pääse elementtisaumasta rakenteisiin.

Rakentamisaikana on tärkeää estää sadeveden pääsy rakenteisiin sekä toteuttaa rakenne siten, että se toimii suojana estäen ulkopuolisen kosteuden pääsyn rakenteisiin. Ulkoseinäelementtien yläpää on sateelle arka, sillä elementit ovat auki yläpäästä ja sade pääsee tunkeutumaan rakenteeseen, ellei rakennetta ole suojattu kunnolla. Tästä syystä on erittäin tärkeää huolehtia siitä, että elementtien yläpäät on suojattu kunnolla, mikäli rakenne joudutaan jättämään avoimeksi. Mikäli sadevesi pääsee yläpäästä rakenteisiin, voi kosteus levitä suurelle alueelle seinän sisällä, sillä painovoiman vaikutuksesta vesi valuu alaspäin kastellen alapuoliset elementit myös. Mikäli rakenne on avoin sateelle pitkän aikaa, voi rakenne kastua merkittävästi. Täytyy muistaa, että

rakenteen kosteuspitoisuus tulee saada hyväksyttävälle tasolle ennen kuin pintoja voidaan päällystää. Huolellisella suojauksella voidaan siis estää aikataulun merkittävä venyminen.

Mikäli kyseessä on muurattu julkisivu, voi aika pelkän tuulensuojan varassa olla kriittinen. Tuulensuojakerroksen pääasiallinen tehtävä ei ole suojata sisäpuolisia rakenteita sateelta, vaan estää konvektiovirtauksia sisäpuolisissa kerroksissa. Mikäli tuulensuojakerros kastuu pitkän aikavälin kuluessa, voi koko seinärakenne kastua merkittävästi. Tästä syystä julkisivumuuraus tulisi tehdä mahdollisimman pian tuulensuojakerroksen asennuksen jälkeen, jotta rakenne pääsee toimimaan kunnolla. Tuotteiden valinnalla on tässäkin suuri merkitys. Kivipohjaiset mineraalivillat sietävät kosteutta paremmin kuin esimerkiksi puukuitueristeet tai gyproc-tuulensuojat. Puurunkoisia rakenteita ei kuitenkaan saa päästää kastumaan milloinkaan.

Julkisivumuurauksen ja tuulensuojan välinen tuuletusrako täytyy myös toteuttaa huolellisesti. Muuratun julkisivun ongelma on, että muurauslaasti tukkii helposti tuuletusraon, mikäli muuraus tehdään huolimattomasti. Muurattu julkisivu päästää viistosateen herkästi lävitseen, joten mikäli julkisivu ei pääse tuulettumaan sisäpuoleltaan, voi tämä aiheuttaa ongelmia tulevaisuudessa. Tällöin myös sisältä tuleva kosteus jää eristekerrokseen, mikä lisää kosteusvaurion riskiä rakenteessa huomattavasti. Korkeissa rakennuksissa yhtenäinen tuuletusrako voidaan jakaa osiin, joista jokaisessa on oma vedenpoistonsa. Tällä voidaan estää savupiippuvaikutuksen aiheuttamia voimakkaita konvektiovirtauksia lämmöneristekerroksessa sekä lyhennetään kosteuden reittiä ulkoilmaan. Tuuletusraossa virtaavan ilman kosteuspitoisuus myös nousee sitä korkeammalle, mitä pidemmän matkan se joutuu kulkemaan, joten tuuletusraon toimivuuden kannalta tuuletusväli kannattaa pitää kohtuullisina.

Mikäli rakenteena käytetään eristerapattua julkisivua, tulee muistaa, että rapattu pintaa saa halkeilla mahdollisimman vähän. Halkeilua voidaan vähentää esimerkiksi rappausverkon ja liikunta-saumojen avulla. Kosteusteknisesti eristerapattu rakenne toimii, mikäli rappaus läpäisee hyvin vesihöyryä, mutta on silti mahdollisimman vesitiivis. Mikäli käytetään rappausta, jolla on suuri vesihöyrynvastus, on varmistuttava siitä, että alapuolinen eriste on tarpeeksi kuiva. Esimerkiksi ohutrappauksen vesihöyrytiivisyys on suurempi kuin paksurappauksen. Paksurappaus ei ole myöskään yhtä vesitiivis kuin ohutrappaus, ja sen kapillaarisuus on suurempaa. Eristerappauksen taustaan saattaa tiivistyä kosteutta. Eristerappauksen alaosaan tuleekin järjestää poistumisreitit, jotta taustaa pitkin valuva kosteus saadaan poistettua. (Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 73.) Seinien alaosaan kertyvä kalkkihärmä on seurausta rappauksen taakse kulkeutuneesta vedestä.

Kuten aina kosteudenhallinnan näkökulmasta, myös eristerappauksen kohdalla läpiviennit, liitokset ja kiinnitykset tulee toteuttaa huolellisesti. Liitosten tiivistämiseen pitäisi käyttää elastista tiivistysmassaa. (Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 73.)

4.4 Yläpohja ja vesikatto

Koska sateen vaikutus kosteusvaurion syntyyn on suuri, on rakennusaikaisen kosteudenhallinnan kannalta oleellista saada vesikatto paikoilleen mahdollisimman pian. Yläpohjarakenteena voidaan käyttää joko tuulettuvaa lämmöneristyskerrosta (kevytsora) tai tuulettutilallista rakennetta. Mikäli käytetään kevytsoraeristeistä kattoa, on erittäin tärkeää huolehtia kevytsoran tuuletuksesta. Kevytsoran kykenee sitomaan kosteutta itseensä. Mikäli kevytsorakerros ei pääse kunnolla tuulettumaan, voi tästä ajan myötä seurata kosteus- ja homevaurio sekä eristeen lämmöneristyskyvyn heikentymistä.

Kevytsoran alapuolisen höyrynsulun tulee olla huolellisesti toteutettu, jottei diffuusion, ja ennen kaikkea konvektion, seurauksena pääse kosteutta eristeeseen. Konvektiolla liikkuvat kosteusmäärät ovat sen verran suuria, että niiden poistaminen pelkän tuuletuksen avulla voi olla hankalaa. Ilmavuodot sisäilmasta yläpohjaan tulee siis estää. Paikalla valettu kantava betonilaatta voi olla riittävän tiivis estämään ilmavuodot, mutta elementtirakenteessa höyrynsulun käyttö on erittäin suositeltavaa, sillä elementtisaumojen kohdalla ilmavuodot ovat mahdollisia. Höyrynsulkuna käytettävä bitumikermi voidaan levittää koko katon alueelle, tai joissain tapauksissa vain saumojen kohdalle. (Saint Gobain Weber 2010, 6.) Kevytsorakerrokset voivat olla paksuja ja osa kevytsorasta voidaan korvata esimerkiksi solumuovilämmöneristeellä. Tällöin on muistettava huomioida eristeen alle jäävän sadeveden hidas kuivuminen rakenteesta (Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107-2012, 103).

Kevytsorakatto tuuletetaan räystäärakenteen tuuletusraoilla. Mikäli kohteessa on tuuletuksen kannalta hankalia paikkoja tai muuten on epäilystä tuuletuksen toimivuudesta, voi kyseeseen tulla soraan asennettava tuuletusputkisto tai alipainetuulettimet (Saint-Gobain Weber 2010, 5). Yläpohjan olosuhteet vaihtelevat vuodenajan mukaan. Voidaan ajatella, että tuulettutilassa oleva suhteellinen kosteus on yhtä suuri kuin ulkoilman suhteellinen kosteus, mikäli yläpohjan tuuletus toimii kunnolla. Mikäli yläpohjassa on paljon kuivatettavaa kosteutta tai tuuletus toimii puutteellisesti, on tuulettutilan suhteellinen kosteus tällöin suurempi. Ulkoilman suhteellinen kosteus on esitetty kappaleessa 2.2 Kosteus ulkoilmassa.

Puurakenteet voidaan jakaa kosteusluokkiin sen mukaan, miten ne altistuvat kosteudelle. Puurakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus otetaan rakennetta suunniteltaessa huomioon. Kosteusluokkaan 1 kuuluu sellainen materiaali, joka sijaitsee lämmitetyissä sisätiloissa tai vastavissa kosteusoloissa. Suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvo pitää tällöin olla alle 60 %. Kosteusluokkaan 1 kuuluu myös sellaiset lämmöneristekerroksessa olevat rakenteet sekä palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisässä. Kosteusluokkaan 2 kuuluvat ne puurakenteen materiaalit, jotka sijaitsevat ulkoilmassa kuivana. Suhteellisen kosteuden kuukausikeskiarvo on tällöin 60–80 %. Rakenteen on oltava hyvin kastumiselta suojattuna alta ja sivuilta sekä katetussa tilassa. Kosteusluokkaan 3 kuuluu kosteassa tilassa sijaitseva puumateriaali (RH=80–95 %) ja

kosteusluokkaan 4 veden välittömässä vaikutuksessa sijaitseva materiaali ($RH \geq 95$ %). (Puura-kenteet. Suomen RakMK B10 2001, 6.)

Yläpohjassa ja kattorakenteissa sijaitseva puu kuuluu joko kosteusluokkaan 1 tai 2. Mikäli yläpohjan suhteellinen kosteus säilyy pitkään yli 80 %, alkaa puu homehtua muutamassa kuukaudessa. Jo 70 % suhteellista kosteutta voidaan jossain määrin pitää kriittisenä. Mikäli suhteellinen kosteus nousee yli 90 %, alkaa puu lahoata. Jotta puu homehtuisi tai lahoaisi, on lämpötilan kuitenkin oltava välillä +0 - +40 °C. Siis vaikka talvella ilman suhteellinen kosteus voi olla korkea pitkän aikaa, ei puu vaurioidu alhaisen lämpötilan vuoksi. (Puuinfo.fi.) Kosteusvaurion syntymistä on tarkasteltu tarkemmin kappaleessa 4.7 Kosteusvaurion synty ja ehkäiseminen.

Kuivalla puulla lujuusominaisuudet ovat paremmat kuin kostealla puulla (Puuinfo.fi). Kuivalla puulla soluseinämät sijaitsevat lähempänä toisiaan ja kiinnittyvät toisiinsa paremmin, jolloin puun lujuus kasvaa. Mikäli yläpohjan suhteellinen kosteus pysyttelee pitkään korkealla tasolla, kostuvat yläpohjan puurakenteet ja näin ollen niiden lujuus heikkenee. Mikäli olosuhteet ovat otolliset, niin että puurakenteet pääsevät homehtumaan tai lahoamaan, heikkenee niiden lujuus olennaisesti. On siis varmistuttava siitä, että yläpohjarakenteen tuuletus toimii jokaisena vuodenaikana.

4.5 Kuivumisaika-arviot betonirakenteelle

Seuraavaksi esitetyt kuivumisaika-arviot ovat vain suuntaa antavia ja niiden tarkoitus on helpottaa rakennusaikataulujen ja kuivatuksen suunnittelua. Betonirakenteen suhteellinen kosteus kannattaa aina mitata, sillä vain kosteusmittauksen avulla saadaan todellinen varmuus rakenteen kosteustilasta.

Seuraavassa on esitetty kuivumisaika-arviot maanvaraiselle teräsbetonilaatalle sekä paikallavale-tulle massiivilaatalle. Paikallavale-tun laatan kuivumisaika-arviota voidaan käyttää myös seinien kuivumisaikojen arviointiin. Lähteinä tässä kappaleessa sekä liitteissä 1 ja 2 ovat Harry Dunkelin Rakennusfysiikka-kurssin materiaali (2011) sekä Tarja Merikallion teos Betonirakenteiden kos-teusmittaus ja kuivumisen arviointi (2002).

Kuivumisaika-arvion käyttöohje:

1. Valitaan rakenne.
2. Määritetään betonin suhteellinen kosteus (tavoitekosteus).
3. Katsotaan peruskuivumiskäyrästä tavoitekosteutta vastaava aika viikkoina.
4. Kerrotaan peruskuivumisaika eri kertoimilla (vesisideainesuhde, rakenteen paksuus, kas-tumisaika ja kuivumisolosuhteet).
5. Tulokseksi saadaan arvioitu kuivumisaika viikkoina.

4.5.1 Maanvarainen teräsbetonilaatta

Maanvarainen tb-laatta kuivuu pääasiassa sisälle päin. Mikäli maan lämpötila on alhaisempi kuin laatan lämpötila, kuivuu laatta myös alaspäin, vaikka maan huokosten suhteellinen kosteus olisi-kin 100 %. Tämä seuraa siitä, että tällöin vesihöyryn pitoisuus voi laatussa olla tällöin suurempi kuin maassa ja koska pitoisuuserot pyrkivät tasoittumaan, voi kosteusvirta olla laatasta maahan. Alaspäin kuivumiseen vaikuttaa maan lämpötilan lisäksi laatan alapuolisen eristeen läpäisevyys ja mahdolliset tiiviit kerrokset.

Maanvaraisen tb-laatan kuivumisaikaa voidaan arvioida kaavalla:

$$\text{Arvioitu kuivumisaika} = \text{peruskuivumisaika} \times \text{vesisideainesuhde} \times \text{rakenteen paksuus} \times \text{alustan kosteus} \times \text{kastumisaika} \times \text{kuivumisolosuhteet} \quad (5)$$

Kuivumisajan laskemiseen tarvittavat kertoimet löytyvät liitteestä 1. Tarkastellaan esimerkkinä tilannetta, jossa 100 mm paksu maanvarainen tb-laatta pitäisi laatoittaa sen kuivumisen jälkeen. Taulukosta 3 saadaan laatan suhteellisen kosteuden maksimiarvoksi ennen laatoitusta 90 %. Valitaan siis tavoitekosteudeksi 90 %. Valitaan betonilaaduksi K30 (C25/30, v/s=0,7). Alusta on kuiva ja laatta on kosteissa olosuhteissa kaksi viikkoa ennen kuivatuksen alkamista. Kuivatuksen alettua lämpötila on 10 °C ja RH=60 %.

Tällöin kuivumisajan arviointi tapahtuu seuraavasti:

- Peruskuivumiskäyrältä saadaan kuivumisajaksi 10 viikkoa, kun RH=90 %.
- Vesisementtisuhde on v/s=0,7, mistä saadaan kertoimeksi 1,0.
- Laatan paksuus on 100 mm, mistä saadaan kertoimeksi 1,7.
- Alusta on kuiva, mistä saadaan kerroin 1,0.
- Laatta on kosteassa 2 viikkoa ennen kuivatusta, mistä saadaan kerroin 1,0.
- Kuivumisen aikana lämpötila on 10 °C ja suhteellinen kosteus RH=60 %, mistä saadaan kerroin 1,3.

Nyt saadaan kuivumisajalle arvio: 10 viikkoa \times 1,0 \times 1,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,3 = 22,1 viikkoa.

4.5.2 Massiivinen paikallavalettu teräsbetonilaatta

Massiivisten paikallavalettujen tb-laattojen kuivumisaikaa voidaan arvioida seuraavalla kaavalla. Samaa menetelmää voidaan käyttää myös paikallavalettujen tb-seinien kuivumisajan arviointiin.

$$\text{Arvioitu kuivumisaika} = \text{peruskuivumisaika} \times \text{vesisideainesuhde} \times \text{kuivumissuunta} \times \text{rakenteen paksuus} \times \text{kastumisaika} \times \text{kuivumisolosuhteet} \quad (6)$$

Tarkastellaan esimerkkinä 230 mm paksua välipohjaa, joka valetaan nopeasti pinnoitettavalla (NP) betonilla, jonka vesisementtisuhte on 0,5. Rakenne kuivuu kahteen suuntaan ja se on kastunut kaksi viikkoa ennen kuivatuksen alkamista. Kuivatuslämpötila on 18 °C ja suhteellinen kosteus kuivatuksen aikana RH=60 %. Tavoitekosteus on RH=85 %.

Kuivumisajan arviointi tehdään seuraavasti:

- Peruskuivumiskäyrältä saadaan kuivumisajaksi 37 viikkoa, kun RH=85 %.
- Vesisementtisuhte on $v/s=0,5$, mistä saadaan kerroin 0,5.
- Rakenteen paksuus on 230 mm, mistä saadaan kerroin 0,9.
- Rakenne kuivaa kahteen suuntaan, mistä saadaan kerroin 1,0.
- Rakenne on kastunut 2 viikkoa ennen kuivatusta, mistä saadaan kerroin 1,2.
- Kuivatuksen aikana lämpötila on 18 °C ja suhteellinen kosteus RH=60 %, mistä saadaan kerroin 1,0.

Nyt kuivumisajalle saadaan arvio: $37 \text{ viikkoa} \times 0,5 \times 0,9 \times 1,0 \times 1,2 \times 1,0 = 20,0 \text{ viikkoa}$.

4.6 Rakenteiden tiiviys

Rakennusten ilmatiiviydellä varmistetaan vaipparakenteiden kosteustekninen toiminta, parannetaan asumisviihtyvyyttä sekä pienennetään energiankulutusta (Paloniitty 2012, 7). Mikäli kosteaa sisäilmaa pääsee kulkeutumaan rakenteen sisään, voi kosteus kondensoitua kylmiin ulko-osiin. Varsinkin tasoitetöiden aikana sisäilman kosteuspitoisuus voi nousta todella suureksi, ja jos tällöin kosteus pääsee konvektion seurauksena rakenteisiin, voi tästä seurata rakenteen kosteusvaurio.

Rakennusten yläosat ovat yleensä ylipaineisia, koska lämmin ja kostea ilma nousevat ylöspäin. Vastaavasti alaosat ovat alipaineisia ja jossain kohdassa rakennusta sijaitsee neutraaliakseli, jolla paine vastaa ulkoilman painetta. Lämpötila- ja paine-erojen aiheuttamaa ilman liikettä kutsutaan niin sanotuksi savupiippuilmiksi. (Paloniitty 2012, 9.) Koska rakennuksen yläosassa ylipaineinen sisäilma pyrkii poistumaan rakenteen läpi, on yläpohjan höyrynsulun oltava tiivis, jottei konvektio pääse kastelemaan rakenteita. Rakennuksen alaosista alipaineen seurauksena aiheutuvat ilma- vuodot ja kylmäsillat taas puolestaan voivat aiheuttaa alhaisia pintalämpötiloja rakenteiden nurkkiin. Alentuneet pintalämpötilat voivat taas aiheuttaa kosteuden tiivistymistä. (Kosteudenhallinta ja homeveurioiden estäminen: RIL 250-2011, 73.)

Myös puurakenteisissa ulkoseinissä korostuu tiiviin höyrynsulun merkitys. Puurakenteet ovat herkkiä kosteudelle ja mikäli suhteellinen kosteus pysyy pitkään yli 80 % lämpötilan ollessa plus-san puolella, voi puurakenne homehtua.

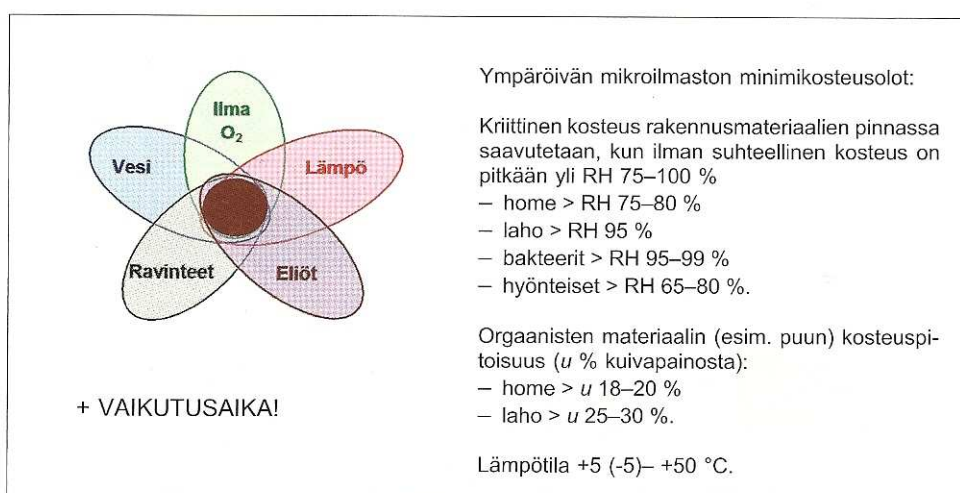
Tiiviyden kannalta olennaisia paikkoja ovat myös ovi- ja ikkunaliittymät sekä rakenteiden läpiviennit. Kaikki liittymät tulee toteuttaa huolellisesti ja varmistua niiden tiiviydestä. Höyrynsulun huolellinen asentaminen liittymä- ja läpivientikohtiin estää ilman epätoivottua virtausta rakenteiden läpi.

Jos ilma pääsee virtaamaan rakenteiden läpi hallitsemattomasti, voi rakenteissa mahdollisesti olevat epäpuhtaudet päästä sisäilmaan. Kun ilmavuotoja tukitaan, tulee huolehtia siitä, että korvausilma tuodaan sisään hallitusti. Muutoin vaarana on vuotopaikkojen siirtyminen uuteen paikkaan. (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 74.)

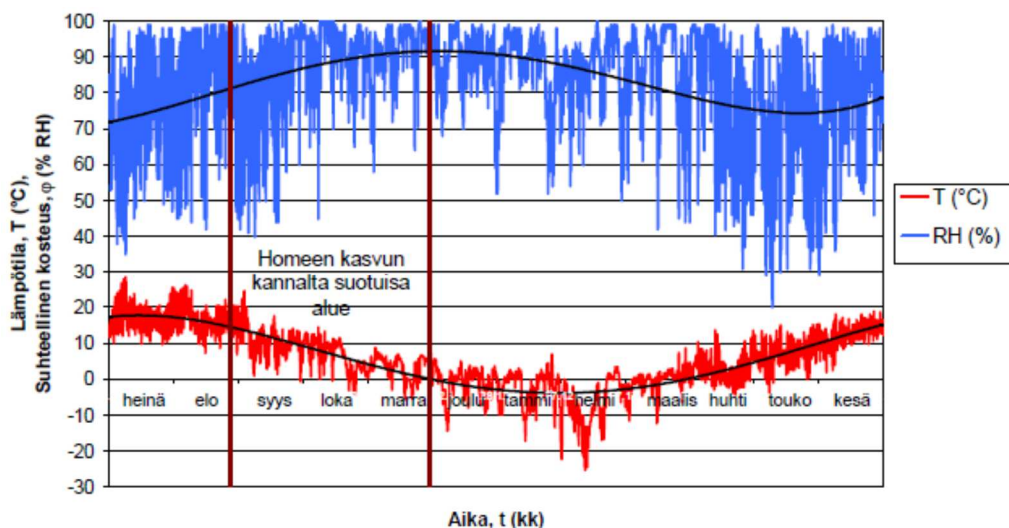
4.7 Kosteusvaurion synty ja ehkäiseminen

Elämme ympäristössä, joka kuhisee erilaisia mikrobeja, kuten bakteereja, viruksia sekä home- ja lahottajasieniä. Mikrobeja on maaperässä, ruoassa, ihmisissä ja melkein pä missä vain. Mikrobeja leviää myös joka paikkaan aivan luonnollisesti, kuten esimerkiksi ilmavirtausten mukana ulkoilmasta sisäilmaan.

Mikrobit tarvitsevat elääkseen vettä, lämpöä, happea, ravinteita sekä otollisille olosuhteille riittävän pitkän kestoajan (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 152). Rakennuksissa meidän on vaikea vaikuttaa minkään muun tekijän saatavuuteen kuin veden. Toki rakennusmateriaaleilla voidaan vaikuttaa mikrobien kasvualustaan, mutta kosteudenhallinnan avulla rakenteisiin jäävän veden määrää saadaan minimoitua. Kriittisenä suhteellisen kosteuden arvona voidaan pitää 75 % (kuva 17). Mikrobit tarvitsevat myös sopivan lämpötilan kasvaakseen. Mikrobien kasvun kannalta suotuisa lämpötila vaihtelee välillä +0 - +50 °C (Vinha 2011, 8). Kuviossa 18 on esitetty suotuisa vuodenajan kohta homeen kasvulle. Tällöin siis lämpötila on yllä mainitulla alueella ja suhteellinen kosteus yli 75 %. Suomessa tämä ajanjakso sijoittuu loppukesään ja syksyyn.



Kuva 17. Materiaalien vaurioitumiseen vaikuttavat tekijät (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 153)



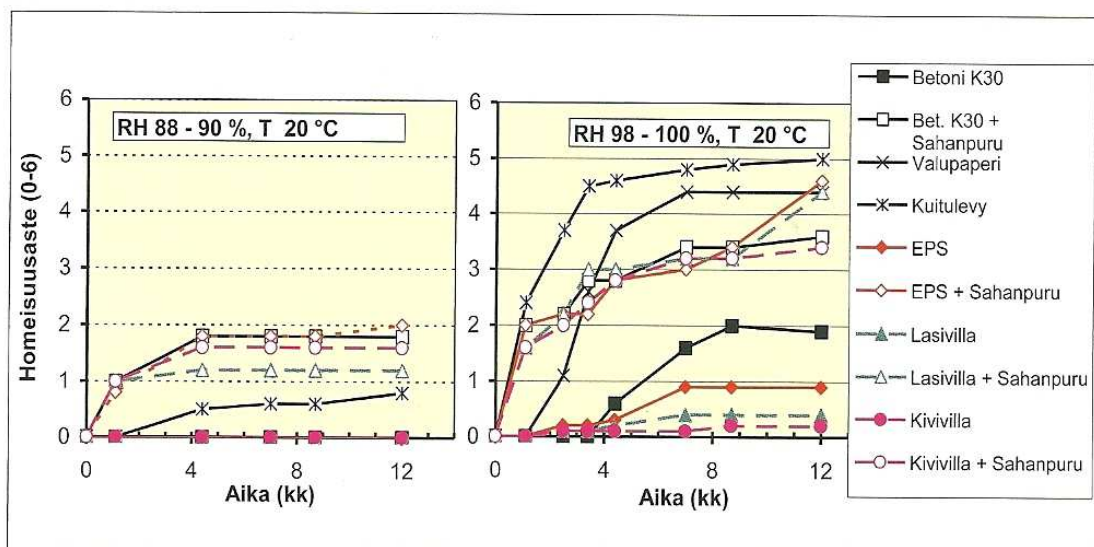
Kuvio 18. Homeen kasvulle otolliset olosuhteet suhteellisen kosteuden ja lämpötilän avulla ilmaistuna (Vinha 2011, 6)

Taulukko 4. Homeen kasvun laskentamallin homeindeksiluokitus (VTT-TTY homeriskimalli) (Vinha 2011, 7)

Homeindeksi M	Havaittu homekasvu	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

Homeen kasvua voidaan luokitella niin sanotun homeindeksin avulla. Homeindeksi avulla voidaan ilmaista, kuinka suurelle alueelle home on levinnyt ja kuinka peittävä homekerros on. Homeindeksiluokitus on esitetty taulukossa 4. Eri materiaaleilla on erilainen herkkyys homehtua (kts. taulukko 5). Mitä enemmän materiaali sisältää orgaanista ainetta, sitä herkempi se on homehtumaan. Kuviossa 19 nähdään erilaisten materiaalien homehtuminen ajan suhteen. Vasemmalla esitetään homehtuminen suhteellisen kosteuden ollessa $RH=88-90\%$ ja oikealla suhteellisen kosteuden ollessa $RH=98-100\%$. Molemmissa tapauksissa lämpötila on $T=20\text{ °C}$. Kuvaajista huomataan, että molemmissa tapauksissa homehtumista tapahtuu. Kun suhteellinen kosteus on n. 90% (vasemmanpuoleinen kuva), herkemmin homehtuvat sahanpurueristeen ja toisen eristeen yhdistelmät. Myös kuitulevy homehtuu jonkin verran. Kun suhteellinen kosteus nousee (oikeanpuoleinen kuva), nousee orgaanista ainetta sisältävien rakennusmateriaalien (kuitulevy, sahanpuru, valupaperi) homeisuusindeksi entisestään. Myös pelkkä betoni homehtuu enemmän kuin esimerkiksi mineraalivillat sekä EPS-eriste. Molemmista kuvaajista havaitaan, että homehtuminen alkaa jo alle kuukauden kuluttua otollisten olosuhteiden alkamisesta. Homehtumiseen tarvittava aika siis ei välttämättä ole pitkä. Tämä on hyvä huomioida rakennusmateriaalien

kuljetuksessa ja varastoinnissa, sillä mikäli materiaalit ovat heikosti suojattuna ja olosuhteet ovat homehtumiselle otolliset, voivat materiaalit vaurioitua jo ennen paikoilleen asentamista. Onkin siis hyvä huolehtia materiaalien kuivaketjusta aina valmistajalta työmaalle ja asennuspaikalle.



Kuvio 19. Erialaisten materiaalien homehtuminen ajan suhteen kosteusoloissa, joissa RH=88–90 % ja RH=98–100 %. Lämpötila on T=20 °C. Kyseessä ovat laboratorio-olosuhteet (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 155).

Taulukko 5. Rakennusmateriaalien jakaantuminen eri homehtumisherkkyysluokkiin (VTT-TTY homeriskimalli) (Vinha 2011, 25)

Homehtumis-herkkyysluokka	Rakennusmateriaalit
Hyvin herkkä HHL 1	karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
Herkkä HHL 2	höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
Kohtalaisen kestävä HHL 3	mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
Kestävä HHL 4	lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Yleisimmät home- ja lahovaurioille alttiit tilat ovat

- kosteat tilat ja niihin liittyvät rakenteet
- lattiarakenteet
- seinän alaosat (sisä- ja ulkoseinät)
- ulkoseinät (ulkopinnat)
- kellaritilat
- vesikaton rakenteet (ullakot) (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 161).

Erityisen herkkiä kohtia kosteudelle ovat

- alaohjauspuun ja sokkelin sauma, jossa kosteuskuorma usein ylittää materiaalien sietokyvyn ja mikrobikasvusto voi kehittyä
- koolatun puulattian liittymä betonilaattaan, etenkin jos kyse on eristämättömästä maanvaraisesta laatasta (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 161).

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, ainoa keino estää homevauriot on estää rakenteiden kostuminen. Täytyy siis estää sekä veden, että lumen ja höyryn tunkeutuminen rakenteisiin. Tämä tapahtuu suojaamalla rakenteet sekä rakentamisen että käytön aikana. Täytyy myös estää pintojen haitallinen kostuminen sekä huolehtia siitä, että kastuneet tai kostuneet rakenteet ja pinnat pääsevät pikaisesti kuivumaan. Kuivuminen voi tapahtua itsestään tai rakenteita kuivaamalla joko mekaanisesti tai hyödyntämällä lämmitystä ja ilmanvaihtoa.

Jotta rakennuksesta saataisiin kosteusteknisesti toimiva, on kosteudenhallinta otettava huomioon jo hankesuunnitteluvaiheessa. Yleensä kosteusvauriot ovat monen tekijän summa, mutta tässäkin asiassa ei voi liikaa korostaa huolellisen suunnittelun ja toteutuksen merkitystä. Suunnitteluvaiheessa voidaan tehdä suurimmat säästöt koko rakennushankkeen aikana kiinnittämällä huomiota oikeanlaisiin ja toimiviin rakennusmateriaaleihin, tuotantomenetelmiin sekä rakennerekaisuihin.

5 RAKENTEIDEN KUIVATTAMINEN

5.1 Menetelmät

Rakentamisaikana tulee aina huolehtia rakenteiden kuivana pysymisestä sekä kuivattamisesta. Varsinkin betonivalujen seurauksena rakennukseen ja rakenteisiin lisätään suuria määriä kosteutta, joka nostaa rakenteiden kosteuspitoisuutta. Rakenteisiin jäävän kosteuden määrä tulee saada pinnoitteiden tai rakenteisiin liittyvien rakenneosien vaatimaan tasoon mahdollisimman nopeasti. Tästä syystä rakenteiden kastumista tulee välttää ja tarvittavat ennalta ehkäisevät toimenpiteet suunnitella huolellisesti.

Rakenteiden kuivatukseen on erilaisia keinoja ja paras tulos saadaan, kun valitaan kyseessä olevaan kohteeseen juuri siihen sopivat menetelmät. Eräs kaikille kohteille ehdoton menetelmä on rakennuksen riittävä tuuletus. Riittävällä ilman vaihtumisella rakenteissa oleva kosteus saadaan ilman välityksellä poistumaan ulkoilmaan. Tuuletuksen ja lämmityksen yhteisvaikutuksella rakenteet saadaan tehokkaasti kuivatettua. Tuuletuksen tulee olla hallittua, jotta sisäilmaa voidaan lämmittää kustannustehokkaasti. Ilman vaihtumiseen voidaan käyttää apuna koneellisia menetelmiä.

Tuuletus voidaan myös hoitaa tuulettamalla koko tila kerralla muutaman kerran päivässä. Esimerkiksi aamulla ennen töiden alkua tila tuuletetaan kunnolla, sen jälkeen suljetaan vaippa ja lämmitetään sisäilmaa. Kun sisälle tuotua kylmää ulkoilmaa lämmitetään, saadaan sen suhteellinen kosteus laskemaan ja ilman kapasiteetti sitoa kosteutta itseensä kasvaa suuresti. Kun ilma on lämmennyt ja kostunut, avataan ilma-aukot taas ja annetaan tilan tuulettua uudestaan. Tämän jälkeen vaippa suljetaan taas ja jatketaan kuten edellä. Rakenteet tulisi tuulettaa näin rakenteiden kosteuspitoisuuden mukaan muutaman kerran päivässä. Näin saadaan ilman kosteudensitomiskapasiteetti pidettyä hyvällä tasolla rakenteiden kuivumisen kannalta.

Mitään kosteudelle herkkää materiaalia ei tulisi asentaa paikoilleen ennen kuin sisäilman suhteellinen kosteus pysyy ympärivuorokautisesti turvallisella tasolla. Esimerkiksi puuikkunoiden puuosat saattavat muuttaa muotoaan tai vaurioitua maalipinnoiltaan, mikäli ne altistuvat pitkäaikaisesti liian suurelle sisäilman kosteudelle. Mikäli ikkuna-aukot pitää sulkea rakenteiden kuivattamisen aikana, on siis järkevää käyttää siihen väliaikaisia suojia, etteivät varsinaiset ikkunat pääse vaurioitumaan.

Kappaleessa 3.2 käytiin jo läpi muutamia betonin kuivattamiseen vaikuttavia asioita. Tärkeimpinä mainitaan tässä vielä betoniliiman hiominen mahdollisimman pian valun jälkeen, ilman suhteellisen kosteuden pitäminen alhaisena sekä betonin lämmittäminen.

5.2 Laitteet

5.2.1 Tilakuivaus

Tilakuivausta käytetään tiloissa, joissa kuivattava alue on suuri. Kuivaukseen voidaan käyttää erilaisia puhaltimia tai ilmankuivaimia. Ilmankuivaimia on kahta tyyppiä: adsorptiokuivaimia ja kondenssiokuivaimia. Molempien toiminta perustuu kostean ilman poistamiseen kohteesta. Adsorptiokuivaimissa kostea ilma johdetaan pois rakennuksesta poistoletkua pitkin. Poistoletku tulee johtaa ulkoilmaan niin, ettei jo kertaalleen kerätty kostea ilma pääse takaisin sisäilmaan. Mikäli siis poistoletku johdetaan ikkunasta ulos, tulee huolehtia siitä, että ikkuna on muuten tulpattu kiinni. Poistoletkua ei myöskään suositella asennettavaksi IV-kanavaan, sillä kosteus voi kondensoitua kanavan seinämiin. (GLES OY 2012, 2.)

Kondenssiokuivaimessa voi olla sisään rakennettu säiliö, johon vesi kerätään tai sitten kondensoituva vesi ohjataan pois poistoletkua pitkin. Kondenssiokuivaimen voi myös kuulua pumppu, jotta vesi voidaan pumpata laitteesta kauempana sijaitsevaan viemäriin. (GLES OY 2012, 2.)

Näistä vaihtoehtoista kondenssiokuivain toimii ideaalisesti kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa. Optimilämpötila kondenssiokuivaimelle on +20–30 °C. Kun suhteellinen kosteus laskee, heikkenee kondenssikeräimen teho. Tällöin rakenteet voivat vielä olla kosteita. Adsorptiokuivain taas toimii kaikissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa tehokkaasti. Laite toimii myös pakkasessa. Mikäli kyseessä ovat "sademetsämäiset" olosuhteet, on siis kondenssiokuivain tehokkaampi vaihtoehto, mutta rakenteiden loppun saakka kuivaamisessa adsorptiokuivain on parempi. (GLES OY 2012, 2.) Kuivaimia käytettäessä on kuitenkin muistettava, että betonissa on prosessivettä 150 kg/m³ ja kuivattavissa tiloissa voi olla rakennebetonia kymmeniä kuutioita. Kuivaimien kyky poistaa kosteutta on joitakin kymmeniä litroja vuorokaudessa. Tästä kosteudesta osa on peräisin ulkoilmasta ja osa betonista poistuvaa kosteutta.

5.2.2 Täsmäkuivaus

Täsmäkuivauksella voidaan kuivattaa pienehköjä aloja, sillä suurille aloille ne ovat liian hitaita ja työläitä. Täsmäkuivaus voidaan suorittaa infrapuna- tai mikroaaltosäteilylaitteen avulla. Halutun kohdan päälle asetetaan levymäinen säteilylaite ja levyä siirrellään kuivattavalla alueella.

Infrapunakuivaimen periaatteena on saada mahdollisimman suuri höyryn osapaine-ero kuivattavan materiaalin ja ilman välille. Kosteus poistuu sitä nopeammin, mitä suurempi osapaine-ero on. Kuivattavan alueen pinta lämmitetään +50–80 °C, jotta paine-ero saadaan aikaiseksi. (ASTQ Supply House Oy.) Mikroaaltosäteilykuivatuksessa hyödynnetään myös painegradientin muodostumista. Mikroaaltosäteily tunkeutuu helposti kuivan betonin läpi märkään sisäosaan. Säteily siis saadaan tehokkaasti kohdistettua betonissa olevaan kosteuteen. Sisäosan lämpeneminen saa aikaan paineen syntymisen, mikä aiheuttaa kosteuden poistumisen rakenteesta. Mikroaaltokuivauksessa suurimmat lämpötilat esiintyvät materiaalin sisällä, eivätkä ulkopinnassa, niin kuin tavallisessa kuivauksessa, mikä nopeuttaa kuivumista. (Ranta, Tikkanen, Puttonen ja Hirsi 2009, 21.)

6 KOSTEUDENHALLINTASUUNNITELMA

6.1 Mikä on kosteudenhallintasuunnitelma?

Kosteudenhallintasuunnitelman avulla pyritään estämään kosteusvaurioiden syntyminen rakennuksessa. Sillä pyritään estämään materiaalien ja tuotteiden haitallinen kastuminen, varmistamaan rakenteiden kuivuminen ilman aikatauluviivytyksiä sekä minimoimaan kuivatustarve.

Työmaan kosteudenhallinta voidaan jakaa seuraavasti:

- kosteusriskien kartoitus
- kuivumisaika-arviot
- olosuhdehallinta ja suojaus
- kosteus- ja tiiviysmittaussuunnitelma
- organisointi, seuranta ja valvonta
- raportointi. (Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen: RIL 250-2011, 94.)

Kaikki yllä mainitut asiat tulee kirjata työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaan. Kosteusriskit arvioidaan kohteen ominaispiirteiden ja suunnitelmien perusteella. Kuivumisaika-arviot otetaan huomioon aikataulun suunnittelussa, jottei aikatauluviivytyksiä tapahdu. Olosuhdehallinnalla pyritään estämään sään aiheuttaman viivytykset sekä minimoimaan rakennuksen kosteusriskit. Suojauksella, niin materiaalien kuin kohteenkin, estetään rakenteiden vaurioituminen ja laatuvirheiden syntyminen. Kosteusmittaukset suoritetaan siten, että niiden perusteella voidaan varmistua rakenteiden kuivumisesta. Mittaustulokset raportoidaan ja dokumentoidaan, kuten myös muut kosteudenhallintaan liittyvät asiakirjat.

6.2 Skanska Oy:n kosteudenhallinta

Yksi maailman suurimpiin rakennusyhtiöihin kuuluva Skanska on selvittänyt rakentamiseen liittyviä kosteusriskejä sekä niiden hallintakeinoja. Kosteusvaurioiden ennalta ehkäisemiseksi Skanska on laatinut Suomessa kehitetyn ja käytetyn kosteudenhallintasuunnitelman.

Skanskan kosteudenhallintasuunnitelmassa kosteus otetaan huomioon jo projektin alkuvaiheessa. Jo myynti- ja neuvotteluvaiheessa käydään läpi kosteudenhallinnan asettamia vaatimuksia. Suunnitteluvaiheessa huomioidaan rakennusfysikaaliset ilmiöt ja määritetään kosteusteknisesti kriittiset ratkaisut, rakenteet ja materiaalit. Tässä vaiheessa tehdään suurimmat päätökset koskien rakennuksen kosteudenhallintaa. Tarjousvaiheessa urakan laskennassa on huomioitu kosteusvarmat ratkaisut ja materiaalivalinnat on käyty läpi. Myös kuivumisaajat on arvioitu ja rakenteiden riskiarviot tehty. Rakentamisvaiheessa estetään rungon, vaipan ja materiaalien kastuminen sekä vesivahingot. Rakenteille luodaan suotuisat kuivumisolosuhteet ja kosteusmittauksilla varmistetaan rakenteiden kuivuminen. Projektin joka vaiheessa kosteuden hallintaan liittyvät prosessit

dokumentoidaan ja koko kosteudenhallinta raportoidaan, jotta esimerkiksi asiakkaita voidaan informoida kosteudenhallinnan toteuttamisesta. Asiakkaille laaditaan myös huoltokirja ja asukaskansio sekä opastetaan niiden käyttö. (Skanska Oy 2004, 2.)

Koska Skanskan kosteudenhallintasuunnitelma on salaiseksi määriteltyä aineistoa, ei sitä esitellä tässä työssä kokonaisuudessaan. Hyviä puolia suunnitelmassa on paljon. Siinä paneudutaan kosteudenhallintaan jo suunnittelun alkumetreiltä lähtien. Suunnitelmassa rakennus jaetaan osiin ja suunnitteluvaiheen osiossa mietitään, mitkä ovat kriittiset rakenteet ja riskipaikat kunkin osion eri rakenteille. Jokaiselle riskipaikalle määritetään toimenpiteet ja vastuuhenkilö. Rakentamisvaiheen osiossa kootaan suunnitteluvaiheessa määritetyt riskipaikat ja listataan toimenpiteet uudestaan näkyviin. Rakentamisvaiheessa keskitytään myös betonin kuivumiseen ja eri päällystemateriaalien kriittisiin kosteuksiin. Kosteudenhallintasuunnitelmassa on oma osionsa kuivumisaikojen laskemiselle ja kosteusmittauspöytäkirjoille. Näin ollen kaikki tieto löytyy yhdestä paikasta. Suunnitelmassa on myös oma osionsa luovutuksen jälkeiselle kosteudenhallinnalle, jossa listataan asukkaille luovutettavat raportit ja dokumentit sekä käydään läpi asukkaiden perehdyttäminen kosteudenhallintaan.

Koska Skanskan kosteudenhallintasuunnitelma on hyvin laadittu ja kattava, on siitä hankala löytää kritisoitavaa. Suurin epätietoisuus koskeekin sitä, miten hyvin kosteudenhallintasuunnitelmaa käytännössä toteutetaan. Varmaa on, että jokaisella työmaalla tulee eteen tilanteita, joissa on pakko tehdä kompromisseja ja tällaisissa tilanteissa mitataan se, kuinka hyvin henkilöstö on sitoutunut kosteudenhallinnan toteuttamiseen. Mikäli henkilöstö on perehdytetty kosteudenhallinnan pääperiaatteisiin ja työnjohto tietää, miten kosteudenhallintasuunnitelmaa käytetään ja mitä etuja sen käytöllä saavutetaan, voi työmaan kosteudenhallinnan sanoa olevan jo hyvällä mallilla. Henkilöstön perehdyttäminen lienee siis päätekijä kosteudenhallinnan toteutumisessa, eikä tähän voine yksikään yritys panostaa liikaa. Henkilöstön osaamiseen sijoitetut varat tuottavat todennäköisesti itsensä takaisin vähentyneinä kuluin kosteusvauriokorjaamisessa.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä oli tavoitteena käydä läpi työmaa-aikaista kosteudenhallintaa sekä kertoa eri rakenteiden kosteuskäyttäytymisestä. Tavoitteena oli tutkia kosteutta rakenteissa ja rakennusmateriaaleissa sekä selvittää, miten kosteus rakenteissa liikkuu ja mihin suuntaan. Työssä oli myös tarkoitus ottaa kantaa joihinkin rakenneratkaisuihin ja riskirakenteisiin. Työssä piti myös selvittää, miten kosteusvauriot syntyvät ja miten niitä voitaisiin ehkäistä. Lisäksi oli tarkoitus esitellä kosteudenhallintasuunnitelma osana työmaan kosteudenhallintaa.

Työ on jäsenelty siten, että ensin kerrotaan kosteudesta ympäristössämme. Alussa kerrotaan, miten ja missä kosteus voi esiintyä ja miten se rakenteissa liikkuu. Työssä kerrotaan myös kosteuden ja ilman lämpötilan välisestä yhteydestä sekä siitä, miten tätä yhteyttä voidaan työmaa-aikaisessa kosteudenhallinnassa hyödyntää. Kun kosteus on käsitelty yleisellä tasolla, siirrytään työssä käsittelemään betonirakenteiden kosteuskäyttäytymistä. Työssä kerrotaan, miten kosteus betonissa ilmenee ja mitä ominaispiirteitä betonirakenteella on kosteudenhallinnan näkökulmasta. Usein kuulee puhuttavan, että koska betoni ei homehdu, sitä ei tarvitse suojata kosteudelta. Tässä työssä esitellään perusteluita sille, miksi näin ei ole ja kerrotaan, miten betonirakenteen kosteussuojaus eri tapauksissa tehdään.

Kun kosteutta on käsitelty yleisellä tasolla, työssä pureudutaan vielä tarkemmin eri rakenneratkaisuihin maanpinnan alapuolisten rakenteiden, vaaka- ja pystyrakenteiden sekä yläpohjan ja vesikaton osalta. Työssä esitellään kohtia, jotka ovat kriittisiä rakenteen toimivuuden kannalta ja kohtia, joihin työmaalla tulisi kiinnittää huomiota. Jotta rakenteen kastuminen ja kuivuminen konkretisoituisivat lukijalle, on työssä esitelty esimerkkejä kuivumisajan laskemisesta maanvaraiselle teräsbetonilaatalle sekä massiiviselle paikallavaletulle teräsbetonilaatalle. Työssä on esitetty, miten kosteusvaurio syntyy ja mitkä asiat edesauttavat sitä sekä kerrotaan mihin asioihin tulee kiinnittää huomiota, jotta kosteusvaurioita saataisiin ehkäistä.

Työn lopussa käydään läpi tuotantovaiheen kosteushallintaa. Työssä on kerrottu, kuinka rakenteiden kuivatus olisi hyvä toteuttaa ja millaisia menetelmiä ja laitteita tähän on saatavilla. Kosteudenhallintasuunnitelma on jokaisen yrityksen oma laadunvalvontaan liittyvä työkalu, jonka avulla työmaan kosteudenhallinta voidaan suorittaa sovitulla tasolla. Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö on esitetty työn lopussa samoin kuin sen hyödyt työmaa-aikaisessa kosteudenhallinnassa. Kosteudenhallintasuunnitelman avulla kosteudenhallinnasta voidaan tehdä järjestelmällistä ja jatkuvaa toimintaa, jolloin kosteusvaurioiden riskiä saadaan pienennettyä. Henkilöstön perehdytys ja opastus on avainasia kosteudenhallinnan toteutuksessa, sillä hyväkään suunnitelma ei auta, jos sitä ei noudateta. Asenteisiin puuttuminen on tässäkin asiassa avainasemassa.

Työssä on siis lähdetty liikkeelle kosteudesta yleisellä tasolla ja kappale kerrallaan pureuduttu syvemmin eri rakenteiden kosteuskäyttäytymiseen. Tavoitteena oli kirjoittaa opas työmaa-aikaisesta kosteudenhallinnasta siten, että rakenteiden kosteuskäyttäytyminen esitellään tarkasti ja tässä tavoitteessa on onnistuttu. Työ onkin pyritty kirjoittamaan siten, että lukijalle muodostuu

selkeä kuva betonirakenteen kosteuskäyttäytymisestä sekä siitä, miten kosteus rakenteissa ilmenee ja millaisia vaikutuksia sillä on työmaan onnistumisen näkökulmasta. Työtä voidaankin pitää perusoppaana betonirakenteen rakennusfysiikkaan.

LÄHTEET

- AHO, Hanna ja KORPI, Minna. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 141. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.
- ASTQ SUPPLY HOUSE OY. Kosteudenhallinnan käsikirja. Kuivauksen teoriaa ja parhaita käytäntöjä. Osa 4. Pikakuivaus – infrapunakuivaus [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-04-29] Saatavissa: www.astq.fi/content/products/f/files/astq_infra_pikakuivauspdf.pdf
- ASUMISTERVEYSOHJE. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita [verkkoaineisto]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf
- BJÖRKHOLTZ, Dick. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 3. painos. Tampere: Rakennustieto Oy.
- by45/BLY7 2002. Betonilattiat. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- by47 2007. Betonirakentamisen laatuohjeet. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- DUNKEL, Harry. 2011. Rakennusfysiikka – Kosteus [opetusmoniste]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö.
- GLÉS OY. 2012. Kuivausohje 2012 [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-04-29]. Saatavissa: http://www.gles.fi/pdf/GLÉS_kuivausohje.pdf
- Elementtisuunnittelu.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 20.4.2014] Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/> Polku: elementtisuunnittelu.fi. Julkisivut. Lämpö- ja kosteustekniikka.
- Ilmatieteenlaitos.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 15.8.2013] Saatavissa: [http://www.ilmatieteenlaitos.fi.](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/) Polku: ilmatieteenlaitos.fi. Teematietoa. Ilmakehä-ABC. Ilmakehä.
- KATTOLIITTO RY. 2013. Toimivat katot [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-04-28] Saatavissa: www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf
- KOSTEUDENHALLINTA JA HOMEVAURIOIDEN ESTÄMINEN: RIL 250-2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- KOSTEUS. Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2. Määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto.
- LEIVO, Virpi 1998. Opas kosteusongelmiin. Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Talonrakennustekniikka. Julkaisu 95. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSASETUS 1999 [verkkoaineisto]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>
- MAANKÄYTTÖ- JA RAKENNUSLAKI 1999 [verkkoaineisto]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L22P166>
- MaaRYL 2010. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennustyön maatyöt. RT 11005. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2014-05-14] Saatavissa: <https://www.rakennustietokauppa.fi/maaryl-2010.-rakennustoiden-yleiset-laatuvaatimukset.-talonrakennuksen-maatyot-ekirja/109634/dp>
- MERIKALLIO, Tarja, NIEMI, Sami ja KOMONEN Juha. 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- MERIKALLIO, Tarja. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- MERIKALLIO, Tarja. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

- MÖLSÄ, Seppo ja LÄTTILÄ, Hannu. 2014-3-28. Pakollisella sääsuojalla edistetään puukerrostalorakentamista. Rakennuslehti. Helsinki: Sanoma Tekniikkajulkaisut Oy.
- MÖLSÄ, Seppo. 2014-4-4. Rakennuksia ei kannata tehdä teltassa. Rakennuslehti. Helsinki: Sanoma Tekniikkajulkaisut Oy.
- PALONIITTY, Sauli. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere: Suomen Rakennusmedia Oy.
- Puuinfo.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-04-28] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/> Polku: puuinfo.fi. Puu materiaalina. Kosteusteknisiä ominaisuuksia.
- PUURAKENTEET. Suomen Rakentamismääräyskokoelma B10. 2001. Ohjeet 2001. Helsinki: Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto.
- RAFNET. 2004. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosan osio K (Kosteus) [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-04-29] Saatavissa: http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrajatko/kosteus_27092004.pdf
- RAKENNUSPOHJAN JA TONTTIALUEEN KUIVATUS. RT 11000. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2014-04-29] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11000.html.stx>
- RAKENNUSTEN VEDEN- JA KOSTEUDENERISTYSOHJEET: RIL 107-2012. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RANTA, Virpi, TIKKANEN, Ilkka, PUTTONEN, Jari ja HIRSI, Hannu. 2009. Tasomainen mikroalto-kuivain betonirakenteen kosteudenhallinnassa. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen julkaisu B:17. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Insinöritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos.
- RUDUS OY. 2010. Rudus Info 1/2010. Rudus Oy:n asiakastiedote toukokuu 2010 [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-04-26] Saatavissa: <http://www.rudus.fi/Download/24663/2010-1%20Betonin%20kutistuma%20ja%20sen%20huomioiminen.pdf>
- SAINT-GOBAIN WEBER OY. 2010. Leca-kevysorakatot. Suunnitteluohjeet [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-04-28] Saatavissa: <http://shop.e-weber.fi/weber/kronodoc?docCode=002258>
- Savonia-ammattikorkeakoulun sääasema. [viitattu 19.7.2013] Saatavissa: <http://weather.savonia-amk.fi/>
- SisäRYL 2013. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen sisätyöt. RT 11103. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2014-05-10] Saatavissa: <https://www.rakennustieto-kauppa.fi/sisaryl-2013.-rakennustoiden-yleiset-laatuvaatimukset.-talonrakennuksen-sisatyot-e-kirja/109623/dp>
- SKANSKA OY. 2004. Kosteudenhallinta Skanskassa toimintajärjestelmän mukaan. Helsinki: Skanska Oy.
- TERVEYDENSUOJELULAKI 1994 [verkkoaineisto]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>
- VINHA, Juha. 2011. Frame-projektin 3. yleisöseminaari 1.12.2011. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan osasto.

LIITE 1

MAANVARAISEN TERÄSBETONILAATAN KUIVUMISAIKA-ARVION KERTOIMET



Kuva 1: Teräsbetonisen mv-laatan peruskuivumiskäyrä, joka esittää kuivumisajan suhteellisen kosteuden funktiona.

Taulukko 1: Vesisementtisuhtekerroin teräsbetoniselle mv-laatalle

Vesisementtisuhte (v/s)	kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Taulukko 2: Paksuuskerroin teräsbetoniselle mv-laatalle

rakenteen paksuus (mm)	vesisementtisuhte (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
70	1,0	0,8	0,8	0,7
90	1,4	1,3	1,3	1,2
100	1,7	1,6	1,6	1,5
120	2,1	2,0	2,0	1,9
150	2,5	2,4	2,4	2,3

Taulukko 3: Alustan kosteuskerroin teräsbetoniselle mv-laatalle

alusta	kerroin
kuiva	1,0
muovi	1,1
märkä	1,5

Taulukko 4: Kastumisaikakerroin teräsbetoniselle mv-laatalle

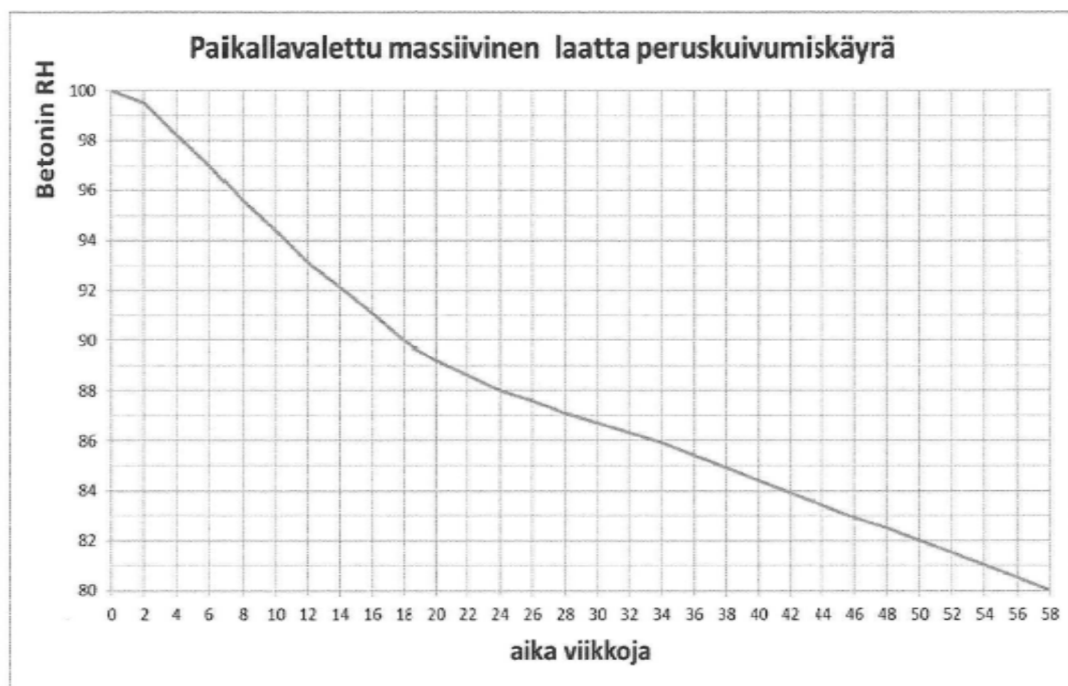
kastuminen	vesisementtisuhte (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
kuivassa	0,8	0,9	0,9	1,0
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,5	1,3	1,2	1,1

Taulukko 5: Kuivumisolosuhdekerroin teräsbetoniselle mv-laatalle

Olosuhteet kuivumisen aikana				
RH (%)	Lämpötila (C°)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

LIITE 2

MASSIIVISEN PAIKALLA VALETUN TERÄSBETONILAATAN KUIVUMISAIKA-ARVION KERTOIMET



Kuva 1: Massiivisen paikallavaletun laatan peruskuivumiskäyrä, joka esittää kuivumisajan suhteellisen kosteuden funktiona.

Taulukko 1: Vesisementtisuhtekerroin massiiviselle paikallavaletulle laatalle

Vesisementtisuhte (v/s)	kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Taulukko 2: Paksuuskerroin massiiviselle paikallavaletulle laatalle

rakenteen paksuus (mm)	vesisementtisuhte (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2

Taulukko 3: Kuivumissuuntakerroin massiiviselle paikallavaletulle laatalle

kuivumissuunta	vesisementtisuhte (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

Taulukko 4: Kastumisaikakerroin massiiviselle paikallavaletulle laatalle

kastuminen	vesisementtisuhte (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
kuivassa	0,8	0,9	0,9	1,0
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,5	1,3	1,2	1,1

Taulukko 5: Kuivumisolosuuhdekerroin massiiviselle paikallavaletulle laatalle

Olosuhteet kuivumisen aikana				
RH (%)	Lämpötila (C°)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9