



**SAVONIA**

VALITSE KOHDE. - VALITSE KOHDE.  
VALITSE KOHDE.

# MÄRKÄNÄ PINNOITETUN LATTIALAATAN KOSTEUS- TEKNINEN TOIMINTA

TEKIJÄ: Ville Kasperī Kaipainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Kaspero Kaipainen	
Työn nimi Märkänä pinnoitetun lattialaatan kosteustekninen toiminta	
Päiväys 30.04.2018	Sivumäärä/Liitteet 33/11
Ohjaaja(t) Teppo Houtsonen, pt. tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lujatalo Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää nopeasti pinnoitetun, vanhan holvin päälle rakennetun betonisen lattialaatan kosteusteknistä käyttäytymistä, sekä löytää mahdollisia rakenteen kuivumista tehostavia toimenpiteitä. Tarkoituksena oli selvittää rakenteen tuuletusperiaatteen toimivuutta ja sen vaikutusta betonilaatan kuivumiseen. Tutkimuksen aihe tarkentui työharjoittelun aikana opinnäytetyön tekijän sekä Lujatalo Oy:n kiinnostuksesta.</p> <p>Tutkimukset suoritettiin ottamalla kosteusnäytteitä jo tehdystä laattarakenteesta, sekä simuloimalla rakenteessa tapahtuvia kosteuden muutoksia. Simuloinnilla voidaan tutkia, mitä laattarakenteessa tapahtuu kuivumisprosessin aikana. Kosteusmittaukset tehtiin porareikämenetelmällä, joka valikoitui sopivimmaksi menetelmäksi käytössä olevassa kohteessa. Simuloinnit tapahtuivat Wufi 5.3 -ohjelman avulla, jonka tarkoituksena oli havaita kosteuden muutoksia betonilaatassa ennen ja jälkeen sen pinnoittamisen.</p> <p>Tuloksia vertailemalla ilmeni, että laattarakenteen tuuletusperiaatteen toimivuutta on mahdotonta todistaa tehdyillä tutkimustoimenpiteillä. Tuloksista voidaan kuitenkin todeta rakenteen osittaisen kuivumisen betonilaatan reunalueilla. Lattiarakenteen kuivumista voitaisiin parantaa sekä seurata opinnäytetyössä esiteltyä kuivatusputkistojärjestelmää käyttämällä. Tehtyä opinnäytetyötä Lujatalo Oy pystyy hyödyntämään arvioidessa rakenneratkaisun käyttöä tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat lattialaatta, kosteus, simulointi, Wufi	
salattu; Liite 1	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Ville Kasperii Kaipainen			
Title of Thesis Moisture Performance of a Fast Coated Floor Slab			
Date	April 30, 2018	Pages/Appendices	33/11
Supervisor(s) Mr. Teppo Houtsonen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Lujatalo Oy			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this final project was to find out how moisture inside the concrete reacts when the floor slab is coated rapidly after concreting. The researched structure was built above an old vault, and its edges were ventilated. The purpose was to sort out how much this ventilation effects on drying of the structure. Furthermore, the idea was to seek new methods for how the cast-in-situ concrete slab would dry more effectively.</p> <p>The research was done by taking moisture samples from the concrete slab and simulating how moisture behaves in the structure. The simulations were made by using Wufi 5.3 -program. The program calculates and provides estimates of the changes in moisture in different kind of structures. The intention of the simulations was to pay attention on how moisture diffuses inside the concrete slab before and after it was coated. Moisture samples were taken by using the borehole method.</p> <p>The research did not prove that ventilated slab edges would remove the moisture from the whole concrete slab area. However, the research showed that near the slab edges, moisture has more likely a chance to diffuse to the indoor air. The drying process would be secured by using a draining pipe system, which was presented in this project. Lujatalo Oy can exploit this research when considering using the structure in the future.</p>			
<p><b>Keywords</b> floor slab, moisture, simulation, Wufi</p>			
confidential; appendix 1			

## ESIPUHE

Haluan kiittää Lujatalo Oy:n Pohjois-Savon yksikön korjauspuolen toimihenkilöitä opinnäytetyön mahdollistamisesta. Suuret kiitokset kuuluvat Esko Monoselle sekä Pasi Vornaselle avoimesta yhteistyöstä. Työn ohjauksesta iso kiitos Teppo Houtsoselle. Lisäksi haluan kiittää Esa Tommolaa, sekä muita yhteistyökumppaneita, jotka ovat auttaneet opinnäytetyön sisällön synnyssä.

Kuopiossa 30.04.2018

Ville Kaspero Kaipainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	6
1.2	Teoria .....	6
1.2.1	Ilmiöt .....	6
1.2.2	Käsitteet.....	7
2	TUTKIMUSAINEISTOT.....	8
2.1	Rakenteen kuvaus.....	8
2.2	Materiaalien ominaisuudet .....	10
3	TUTKIMUKSET .....	12
3.1	Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen.....	12
3.1.1	Kosteuden mittaus porareikämenetelmällä .....	12
3.1.2	Kosteusmittauksien tulokset.....	14
3.2	Simulointi .....	16
4	TUULETUKSEN TEHOSTAMINEN .....	23
4.1	SafeDrying® -kuivatusjärjestelmä.....	23
4.2	Betonilaatan kuivuminen putkiston avulla .....	24
5	YHTEENVETO.....	26
5.1	Tuloksien vertailu.....	26
5.2	Johtopäätökset .....	27
6	POHDINTA.....	29
7	LÄHTEET .....	30
8	LIITTEET .....	34

## 1 JOHDANTO

Teollisuuskorjausrakentaminen vaatii yleensä tuotannollisista syistä johtuen aikataulullisesti nopeaa rakentamista. Tästä syystä välillä joudutaan käyttämään yleisesti tuntemattomampia rakenneratkaisuja, joiden toiminnasta on vähemmän valmisbetonirakentamisessa tehty tutkimusta. Tässä työssä tutkitaan märkänä pinnoitetun lattialaatan kosteuselämää, sekä mahdollisia riskejä, joita rakentamiseen voi liittyä. Lisäksi opinnäytetyössä esitetään järjestelmä, jonka avulla betonilaatan riittävästä kuivumisesta voidaan varmistua.

### 1.1 Tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Lujatalon korjauspuolen Pohjois-Savon yksikkö. Lujatalo kuuluu Luja-yhtiöihin, joka on yksi Suomen suurimmista rakennusalan konserneista. Yritys toimii valtakunnallisesti noin 1600 ammattilaisen voimin. Lujatalo on kestävän rakentamisen edelläkävijä niin betoni- ja kuivatuotteiden valmistajana kuin uudis- ja korjausrakentajana. Yritys on sekä uudisasuntojen että toimitilojen rakentaja, jonka erikoisalaa on peruskorjaus sekä energiatehokas rakentaminen. (Lujatalo Oy.)

Tutkittu lattialaattarakenne on tehty erääseen elintarviketuotantolaitokseen Suomeen. Työni tavoitteena on selvittää rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä, sekä kuivumista tehostavia toimenpiteitä. Tärkeimpiä kysymyksiä ovat, kuinka paljon todellisuudessa betonirakenne pääsee kuivumaan alaspäin ja nouseeko kosteus mahdollisesti pinnoitteen alle vahingoittaen sitä. Lattiapinnoitteen kärsiessä kosteudesta myös riski sisäilmaongelmille kasvaa. Tätä tukee myös Ympäristöopas, (2016, 130.) jonka mukaan tietyn mikrobilajiston syntyyn vaikuttavat käytetty materiaali, kosteustaso, sekä lämpötila. Optimiolosuhteet nopealle mikrobikasvulle vallitsevat 20 – 30 °C lämpötilassa, 95–99% suhteellisessa kosteudessa. Jotta mahdolliset sisäilmaongelmat vältettäisiin, rakennetta ja sen toimintaa täytyy tutkia. Tässä tutkimuksessa rakennetta tutkitaan porareikämenetelmällä, sekä Wufi® 5.3 simulointiohjelmalla.

### 1.2 Teoria

Teoriaosuudessa käydään läpi tutkimustyöhön liittyviä ilmiöitä ja käsitteitä. Niiden avulla opinnäytetyön ymmärtäminen on helpompaa. Suurin osa selitetyistä ilmiöistä ja käsitteistä pohjautuu kosteuden siirtymiseen ja mittaamiseen.

#### 1.2.1 Ilmiöt

Kosteuden siirtyminen diffuusiolla perustuu ilmassa olevien vesimolekyylien keskinäisiin törmäyksiin, jonka vaikutuksesta vesihöyryn osapaineet, pitoisuuserot pyrkivät tasaantumaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kosteus siirtyy aina suuremmasta osapaineesta tai vesihöyryn pitoisuudesta pienempään päin. (Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus: YMPÄRISTÖOPAS-2016, 133.)

Kapillaarisuus puolestaan kuvaa materiaalin kykyä siirtää vettä ohuissa materiaalihuokosputkissa vaikuttavien kapillaarivoimien (adheesio ja koheesio) vaikutuksesta huokosputkien täyttyessä kokonaan vedellä. Kapillaarivoimat synnyttävät huokosputkien vesipintaan kapillaari-imupaineen, josta johtuen vesi pääsee siirtymään huokosputkissa eteenpäin. Ylöspäin kapillaarinen kosteuden siirtyminen loppuu, kun huokosputkessa olevan veden synnyttämä painovoima alaspäin kumoaa kapillaari-imuvoiman vaikutuksen. (Liite 2, määritelmät: RIL 255-1-2014, 390.)

## 1.2.2 Käsitteet

- **Diffuusiovastusluku** ilmoittaa, kuinka paljon materiaali on tiiviimpää verrattununa vastaavan paksuiseen ilmakerrokseen. Se kertoo materiaalin kyvystä vastustaa höyryn kulkeutumista. Mitä suurempi diffuusiovastusluku on, sitä vähemmän se päästää lävitseen vesihöyryä. (tiivistalo.fi.)
- **Hydratoitumisreaktiolla** tarkoitetaan tässä yhteydessä sementin kemiallista kovettumisreaktiota. (Lindberg 1997, 436.)
- **Hygroskooppisella tasapainokosteuskäyttäytymisellä** tarkoitetaan tilannetta, jossa kosteus tasoittuu samaan tasoon siirtymällä materiaalissa diffuusiolla alemman vesihöyrynpi-toisuuden suuntaan. (Lindberg 1997, 431.)
- **Ilman suhteellinen kosteus** kertoo, minkä verran ilma sisältää vesihöyryä kyllästyskosteuspitoisuuteen verrattuna tietyssä lämpötilassa. (Liite 2, Määritelmät: RIL 255-1-2014, 391.)
- **Kesäkondensaatio** tarkoittaa kesällä tapahtuvaa vesihöyryn tiivistymistä vedeksi. (Liite 2, Määritelmät: RIL 255-1-2014, 390.)
- **Kosteustasapaino** tarkoittaa tilannetta, jossa kosteus on noussut korkeudelle, jolloin maan vetovoima ja huokosilmanpaine ovat tasapainossa. (Sisäilmäyhdistys.fi)
- **Kriittinen RH** on ilman suhteellisen kosteuden raja-arvo, jota ei saa ylittää. Raja-arvon ylittäessä homeen tai jokin muu haitallinen ilmiö rakenteessa voi ilmetä. Raja-arvon voi määrittää esimerkiksi ympäröivät olosuhteet, tarkasteltava ilmiö tai materiaali. (Liite 2, Määritelmät: RIL 255-1-2014, 390.)
- **Rakenteen suhteellinen kosteuspitoisuus** ilmoittaa rakenteen todellisen vesihöyrynsekä kyllästyspitoisuuden suhteen rakenteen eri kohdissa tietyssä lämpötilassa. (Lindberg 1997, 438.)
- **Simuloinnilla** tarkoitetaan oikean ilmiön tai tilanteen kuvailua ja jäljittelyä. Tässä tapauksessa se tapahtuu simulointiohjelman avulla. (www.oamk.fi)
- **Suhteellinen diffuusiovastus eli sd –arvo** tarkoittaa ilmakerroksen paksuutta, joka vastaa tarkasteltavan materiaalin vesihöyrynvastusta. Se lasketaan kertomalla diffuusiovastusluku materiaalin paksuudella. (Liite 2, Määritelmät: RIL 255-1-2014, 391.)
- **Vedeneristyksellä** tarkoitetaan ainekerrosta, joka kokonaisuudessaan kestää jatkuvaa kastumista, ja jonka tarkoituksena on estää veden tunkeutuminen rakenteeseen joko kapillaarivirtauksen tai painovoiman vaikutuksesta rakenteen pinnan kastuessa. (Liite 2, Määritelmät: RIL 255-1-2014, 392.)

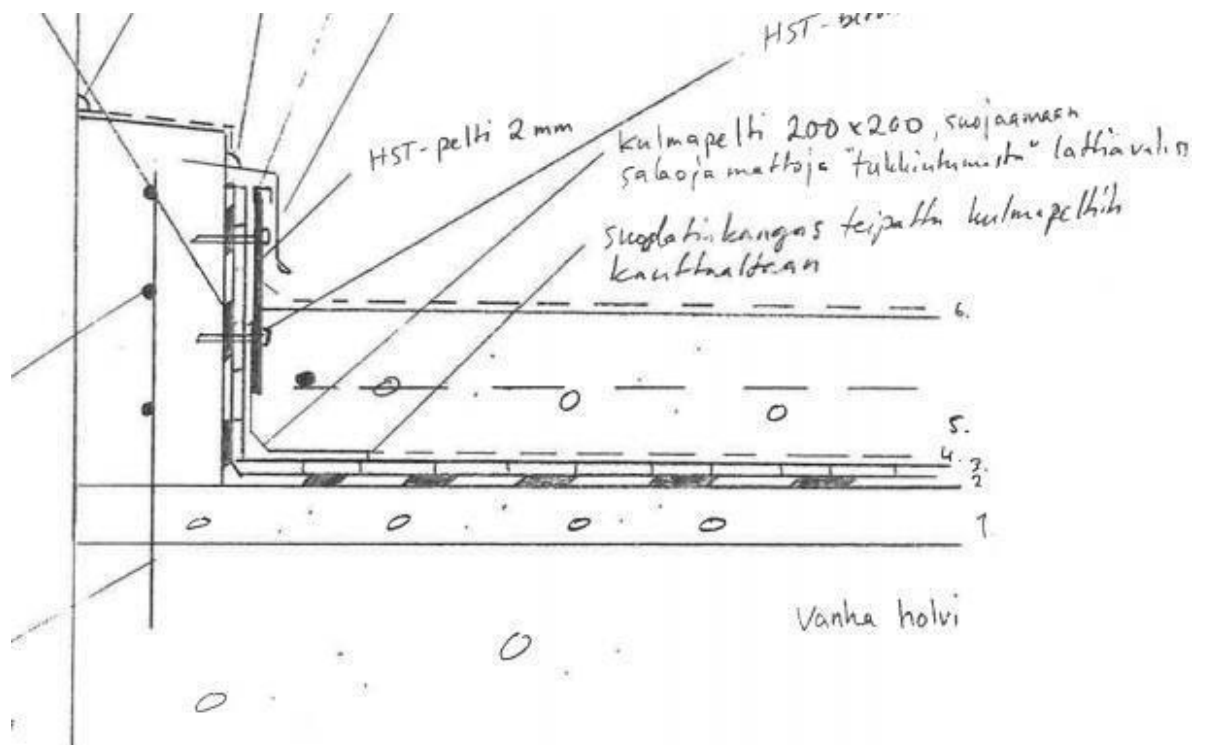
## 2 TUTKIMUSAINEISTOT

Tutkimuksissa on hyödynnetty RT -kortiston ohjeita sekä henkilö- ja yrityslähteitä. Simuloinneissa ja kosteusmittauksissa lähteinä on muun muassa rakennepiirustuksia, betonointipöytäkirjoja, toteutunut aikataulu, sekä materiaalien valmistajien antamia teknisiä tietoja.

### 2.1 Rakenteen kuvaus

Lattialaattarakenteen koko on useita satoja neliöitä. Se on tehty vanhan holvin päälle, jonka alapuolella on pääasiassa kellaritiloja. Rakennekerrokset holvista ylöspäin numeroidussa järjestyksessä ovat:

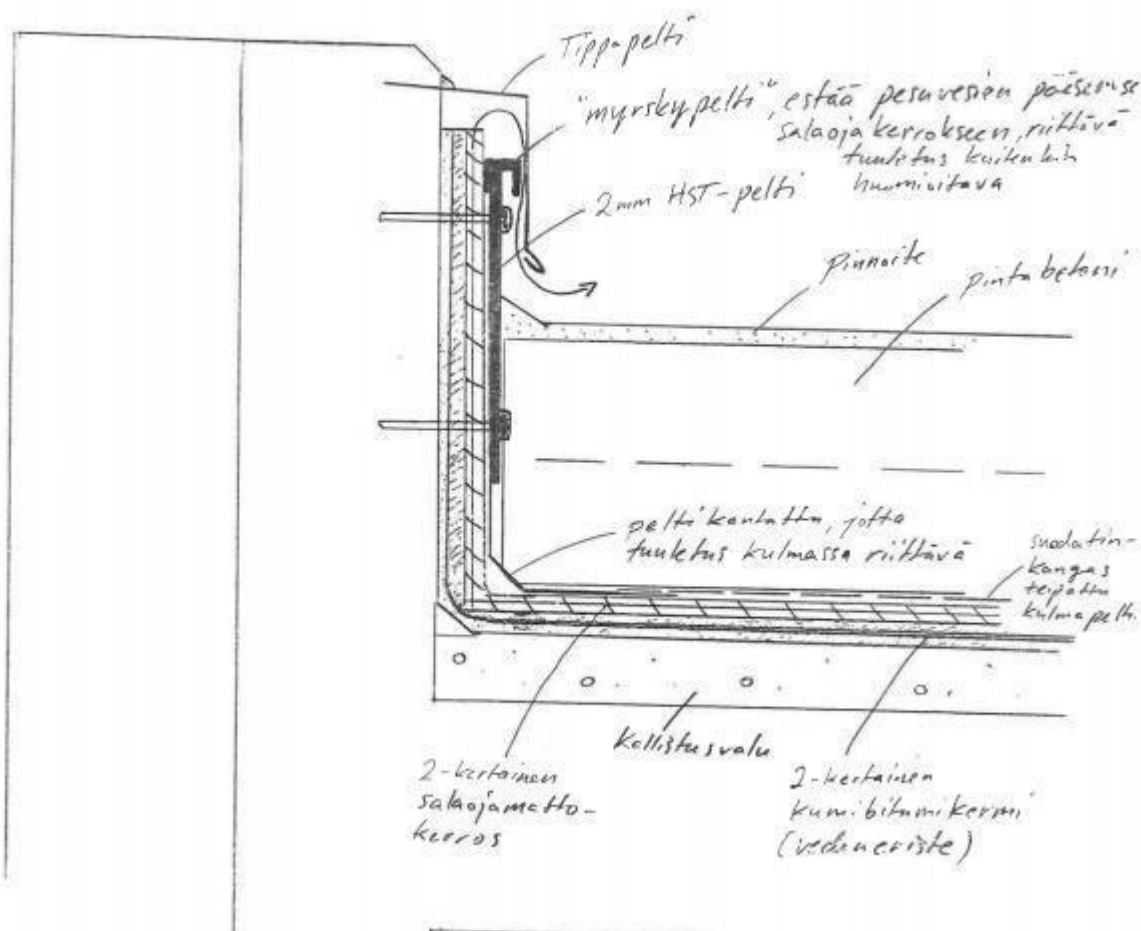
- Kallistusvalu 30-70mm
- Kaksinkertainen bitumikermi (vedeneristys, Icopal)
- Salaojalevy 10mm (Fonda Geoplex)
- Salaojamatto 6mm (GSE FabriNet HF-E)
- Suodatinkangas (Fibertex F-20)
- Pintabetonilaatta n.200mm
- Pinnoite 9mm (Ucrete UD 200).



Kuva 1. Uusi jalkalista ja lattiarakenne 1:10, Lujatalo Oy (Keinänen, 2016-12-12)



Uudistetun lattiarakenteen sekä jalkalistojen kosteustekninen toiminta perustuu niiden kuivumiseen alaspäin. Polyuretaanihartsipinnoite on läpäisemätön ja heikosti höyryä läpäisevää, jolloin kuivumista ylöspäin ei käytännössä tapahdu. Alla olevan havainnekuvan mukaan betonilaatta pääsee kuivumaan salaojamattojen kautta, joista kosteus pääsee valumaan laatan reunoille. Jalkalistojen ja lattialaatan välissä on tippa- sekä myrskypelleillä suojatut ilma-aoet, joista kosteutta pitäisi päästä pois kuvassa näkyvän nuolen mukaisesti. Salaojalevyn alla on kaksinkertainen bitumikermi, joka toimii vedeneristeenä. Se estää rakenteen sisältämän kosteuden tunkeutumasta kallistusvaluun, ja sitä kautta alla oleviin kellaritiloihin.



Kuva 2. Havainnekuva tuuletuksen periaatteesta, Lujatalo Oy (Keinänen, 2016-12-12)

## 2.2 Materiaalien ominaisuudet

Lattiarakenteen pinnoitteena on käytetty Ucrete UD-200 polyuretaanihartsipinnoitetta. Pinnoite on yleisesti käytössä elintarvike-, juoma-, lääke- ja kemianteollisuudessa. Sen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat hyvä mekaaninen-, kemiallinen- sekä lämmönkestävyys. Valmistajan mukaan se on pinnoitettavissa 7 vuorokautta vanhan betonilaatan päälle. (Ucrete- teollisuuslattiapinnoitteet, 4.) Päälylystystyön edellytyksenä olevaa betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvoa ei polyuretaanihartsipinnoitteelle ole määritetty, mutta sen voidaan olettaa olevan 97 %. Tämä tarkoittaa, että betonilattian suhteellinen kosteus tietyllä syvyydellä saa olla maksimissaan 97 % ennen päälylystämisen aloittamista. Kyseinen enimmäisarvo on BY:n (Suomen betoniyhdistys 2002, 132) perusteella suurin sallittu arvo, ja se on käytössä epoksi-, akryyli- ja polyesterimuovimassoille, sekä sementtipolymeeri-pinnoitteille.

Partisen (2018-01-31) mukaan pinnoite on läpäisemätön CP. BM2/67/2 mukaisesti, sekä heikosti höyryä läpäisevää. Sen diffuusiovastuslukua ei ole testattu, mutta sen voidaan olettaa olevan melko suuri. Tämä tarkoittaa, että suuri määrä vettä tai vesihöyryä eivät läpäise pinnoitetta. Tässä tutkimuksessa käytetään Dunkelin opetusmateriaalin (2015,3; liite 2) antamaa ohjearvoa polyuretaanille sekä hartsille, diffuusiovastuslukua  $\mu=10000$ . Tällöin pinnoitteen suhteellinen diffuusiovastus, eli  $sd$  -luku saadaan kertomalla pinnoitteen paksuus sen diffuusiovastusluvulla:  $sd=0,009m*10000=90m$  (pinnoitteen paksuus on 0,009m).

Lattiaan on valettu Lujabetonin toimittama K40 lujuusluokan valmisbetoni, jonka sisältö on esitetty alla. Teollisuuslattioiden on käytettävä vähintään K30 lujuusluokan betonia. Tyypillisesti käytetään K30 – K50 luokan betonia, joka valitaan käyttökohteessa esiintyvien kuormitusten, sekä kulutusrasitusten perusteella. (Teollisuuslattioiden pinnoitus 1999, 2.)

Taulukko 1. Käytetyn valmisbetonin sisältö, Lujabetoni Oy (Keränen, 2018-01-10)

Käytetyn valmisbetonin ominaisuudet	
Lujabetoni Oy	
Bet.työn luokka	2
Lujuusluokka	K40 - C32/40
Ymp.rasitusluokka	XC3, XA1
Notkeusluokka	S4 (vetelä)
Sementtimäärä	392,1 kg/m <sup>3</sup>
Kiviaineen sis vesi, lisätty vesi, kiviaineksen abroptio huomioituna	199,2 kg/m <sup>3</sup>
Hydrotatation käyttämä vesimäärä	156,8 kg/m <sup>3</sup>
ylimääräinen vesimäärä	42,4 kg/m <sup>3</sup>
Toteutunut vesi-sementti -suhde	0,51
Jälkihoitotapa	kastelu, hierto, liippaus

Betonivalun alle on asennettu suodatinkangas Fibertex F-20, salaojamatto GSE FabriNet HF-E (6mm) sekä salaojalevy Fonda Geoplex (10mm). Nidottu suodatinkangas on polypropeenista valmistettu,

vettä läpäisevä kangas. Sen tarkoituksena on estää tuoreen betonin tunkeutuminen alempiin kerroksiin. Suodatinkankaan alla on salaojamatto, jonka ydin toimii kosteuden siirtämisessä. Sen ylä- ja alapinnassa olevat läpösidotut kuitukankaat estävät muun kuin veden tunkeutumisen rakenteen alempiin osiin. Salaojamaton alla on salaojalevy, joka koostuu polypropeenilevystä ja siihen hitsatusta suodatinkankaasta. Se ei painu kasaan, jolloin sen vedenjohtokapasiteetti säilyy suurena päällä olevan betonilaatan painosta huolimatta. ([www.kaitos.fi](http://www.kaitos.fi); [www.icopal.fi](http://www.icopal.fi)) Tämä rakenneosastoimii myös betonivalusta tulevan veden ja kosteuden kuljettana. Vesi pääsee kulkeutumaan levyn tiivistä muoviosaa pitkin pois. Nämä yllä mainitut rakennusmateriaalit toimivat betonirakenteen sisältämän kosteuden siirtämisessä kohti sen tuuletusrakojia.

### 3 TUTKIMUKSET

Tutkimukset koostuvat kosteusmittauksista sekä simuloinneista. Kosteusmittauksien tavoitteena on selvittää lattiarakenteen mittaushetkien sisältämä suhteellinen kosteus, sekä ilmankosteus. Wufi® 5.3 -ohjelman simulointien tarkoituksena on tutkia kosteustilanteiden muutosta käytetyn rakenteen sisällä eri aikaväleihin. Näitä tutkimuksia vertailemalla voidaan arvioida rakenteen tuuletusperiaatteen toimivuutta.

#### 3.1 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen

Rakennustietokortin (RT 14-10984, 3.) mukaan betonin suhteellisen kosteuden mittaus tulee tehdä siihen tarkoitettulla mittalaitteella. Suhteellisen kosteuden mittauslaitteet koostuvat kosteusantureista ja tulosten lukulaitteesta.

Antureiden tarkkuus on aina laitekohtainen. Niiden tarkkuus tunnettuun vertailukosteuteen nähden voi olla parhaimmillaan  $\pm 1$  % suhteellista kosteutta. Yleensä rakennekosteusmittauksissa käytettävien mittalaitteiden tarkkuus on suuruusluokkaa  $\pm 2...3$  RH-yksikköä. Tässä tutkimuksessa on käytetty tämän tarkkuusluokan mittalaitteistoa.

Betonirakenteen suhteellinen kosteus voidaan mitata tarkoilla mittausmenetelmillä tai suuntaa antavilla menetelmillä. Tarkkoja mittausmenetelmiä ovat porareikämittaus ja näytepalamittaus. Porareikämittaus tehdään rakenteeseen poratusta reiästä ja näytepalamittaus betonirakenteesta irrotetusta näytteestä. (RT 14-10984, 3.) Tässä tutkimuksessa mittausmenetelmänä käytetään porareikämittausta.

##### 3.1.1 Kosteuden mittaus porareikämenetelmällä

Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen tapahtui porareikämenetelmällä RT 14-10984 ohjeen mukaan. Valintaan vaikutti näytepalamittauksen paikkaustyön työläys. Seuraavassa käydään läpi porareikämenetelmän toteutusta rakennustietokortin (RT 14-10984, 4-5.) avulla.

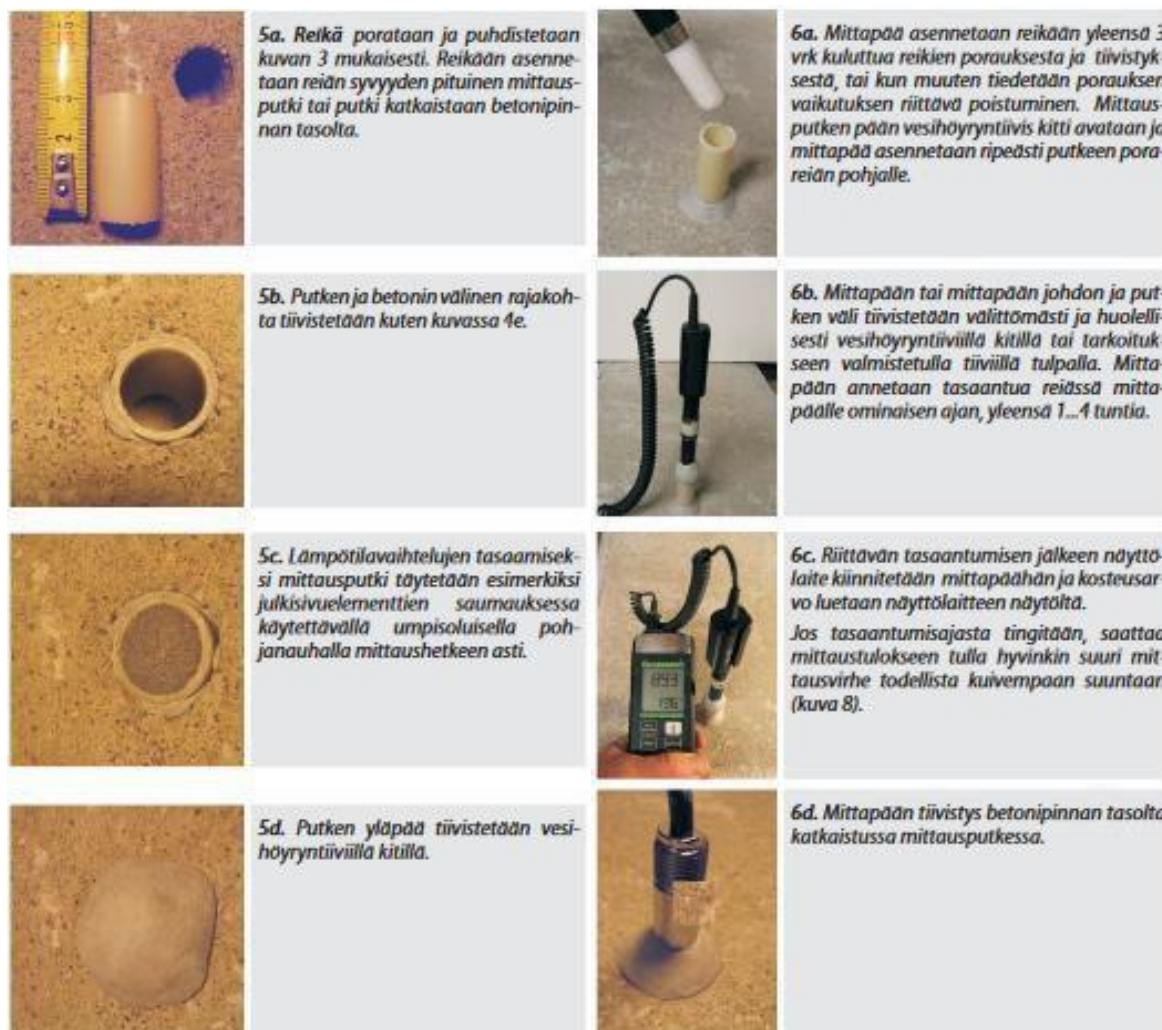
Porareikämittaus tehdään yleensä reiästä, jotka ovat halkaisijaltaan 16mm. Porareian halkaisija tulee vähintään olla 10mm mittapään halkaisijasta riippumatta, jotta reikä voidaan putkittaa luotettavasti virheettömän mittaussyvyyden saavuttamiseksi. Jos porareikä on pienempi, sen pinta-ala on liian pieni suhteessa putken ilmatilaan. Lisäksi porareikä tulee suojata, jotta vältetään mahdollisilta lämpötilavaihteluilta ja muilta häiriöiltä. Tämän jälkeen reiän annetaan tasaantua vähintään 3 vuorokautta, jotta tasapainokosteus reiässä on varmasti saavutettu.



Kuva 3. Reikien poraus, puhdistus, tiivistys ja suojaus (Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, RT 14-10984, 4.)

Porauksen ja mittauksen välisenä aikana olosuhteet mittausputkessa eikä rakenteen pinnalla saa oleellisesti muuttua. Muutoin mittausputkeen voi esimerkiksi tiivistyä kosteutta. Varmin tapa säilyttää olosuhteet mittausputkessa tasaisina on suojata putket mittaukseen saakka lämmöneristeellä. Umpisoluiset aineet, lämmöneristelevyt tai esimerkiksi eristävät suojalaatikot ovat suositeltavia. Myös mittapää tulee säilyttää kuljetuksen aikana ilman suuria lämpötilanvaihteluita ja sen on annettava tasaantua mittauspistettä ympäröiviin olosuhteisiin riittävästi, ennen asentamista mittausputkeen.

Jos mittapää tiivistetään ja asennetaan putkeen jo porauksen yhteydessä, tasaantumisaika porauksesta lukemienottoon olisi hyvä olla vähintään 3 vuorokautta. Tällöin mittapää on varmasti saavuttanut kosteustasapainon ympäristön olosuhteiden kanssa. Lisäksi parhaat mittaustarkkuudet saavutetaan aina uusista mittausrei'istä. Ennen mittausta tulee tarkistaa, että mittapää sekä kosteusanturi on kalibroitu ja toimintakäkyinen.



Kuva 4. Porareikien tiivistys ja mittapään asennus (Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, RT 14-10984, 5.)

### 3.1.2 Kosteusmittauksien tulokset

Kosteusmittaukset porareikämenetelmällä suoritettiin kohteessa käsittelemien ohjeiden mukaisesti 22.12.2017 ja 18.1.2018. Kosteusmittausantureiden toiminnan tarkistus tehtiin syksyllä 2017 laboratoriossa Savonian Mikrokadun kampuksella. Kosteusanturien testauksessa sääkaapin avulla päästiin noin 1-2% -yksikön heittoihin. Tällä metodilla varmistettiin anturien tarpeeksi tarkka toimintakyky.

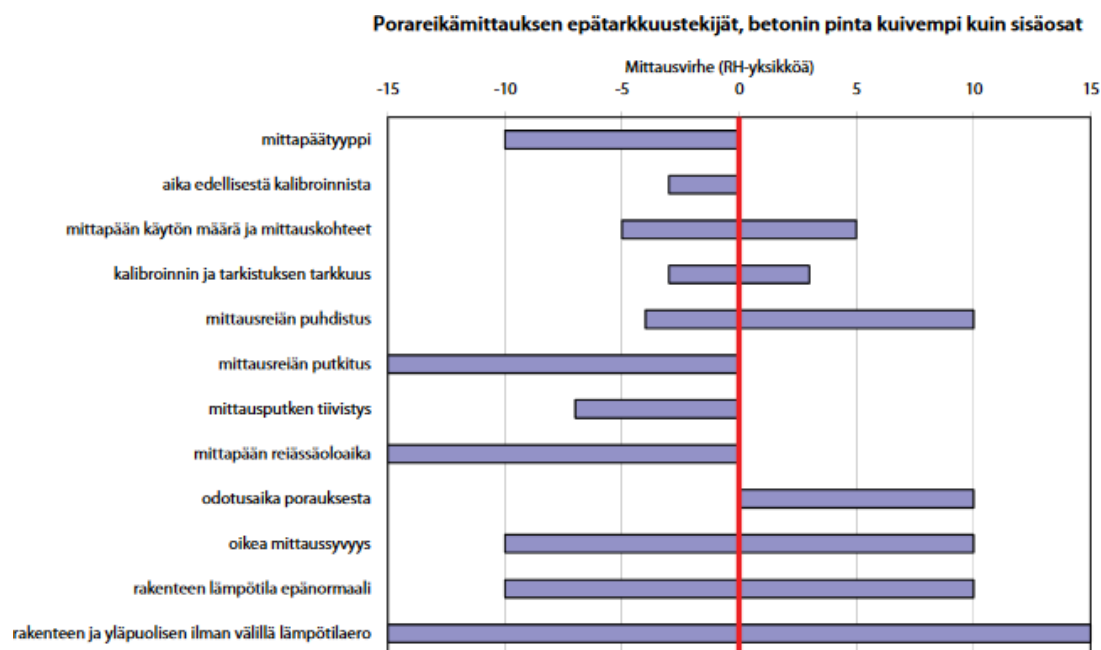
Mittaussyvydeksi on valittu 0,4 kertaa laatan paksuus, koska kyseessä on yhteen suuntaan kuivuva laatta. Valetun laatan paksuus on noin 200mm, joten porareikien syvydeksi saadaan  $0,4 \cdot 200\text{mm} = 80\text{mm}$ . Tarkistuskorko on rakennustietokortin ohjeen mukaan tällöin  $0,4 \cdot 0,4 \cdot$  laatan paksuus, joten tässä tapauksessa se on  $0,4 \cdot 0,4 \cdot 200\text{mm} = 32\text{mm}$ . (RT 14-10984, 14.)

Kosteusmittauksien tulokset ovat esitetty edellä taulukossa 2. Kuten taulukosta huomataan, huoneilman lämpötila on 20-21 °C vaiheilla, sekä ilman suhteellinen kosteus 20–35% välillä. Betonin suhteellinen kosteus on mittauksien mukaan noin 75 % molemmin puolin. Kosteusmittausanturien taantumis aika oli molemmilla kerroilla kolme vuorokautta.

Taulukko 2. Kosteusmittaustulokset (Kaipainen, 2018-01-20)

Kosteusmittaukset porareikämenetelmällä						
nro porareikä	ajankohta	nro anturi	mittausvyvyys	lämpötila (°C)	RH%	Abs (g/m <sup>3</sup> )
1	22.12.2017	5	0,4*h	21,2	75,5	14,3
1	18.1.2018	6	0,4*h	20,5	76	14,4
2	22.12.2017	4	0,4*0,4*h	20,8	74,3	13,9
2	18.1.2018	4	0,4*0,4*h	20,9	74,2	13,9
huoneilma	22.12.2017	6		20,2	33	6,5
huoneilma	18.1.2018	9		20,5	22	5,1

Tuloksissa tulee huomioida monta eri asiaa. Porareikien mittauspaiikat sijaitsivat noin 1-2 metriä lattialaatan reunoista. Laatan tuuletusperiaatteen toimivuus laatan reuna-alueilla on parempi, koska tuulettuville laatan reunoille oleva matka on lyhyempi. Porareikämittauksien tekeminen lattialaatan keskiosiin oli tässä tapauksessa mahdotonta tuotannollisista syistä johtuen. Sen lisäksi, vaikka porareikämittausmenetelmää pidetään tarkkana mittausmenetelmänä, siihen liittyy paljon tuloksiin vaikuttavia asioita. Kuvassa 5 on esitetty porareikämittauksen mahdollisia epätarkkuustekijöitä.



Kuva 5. Porareikämittauksen epätarkkuustekijät (Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, RT 14-10984, 9.)

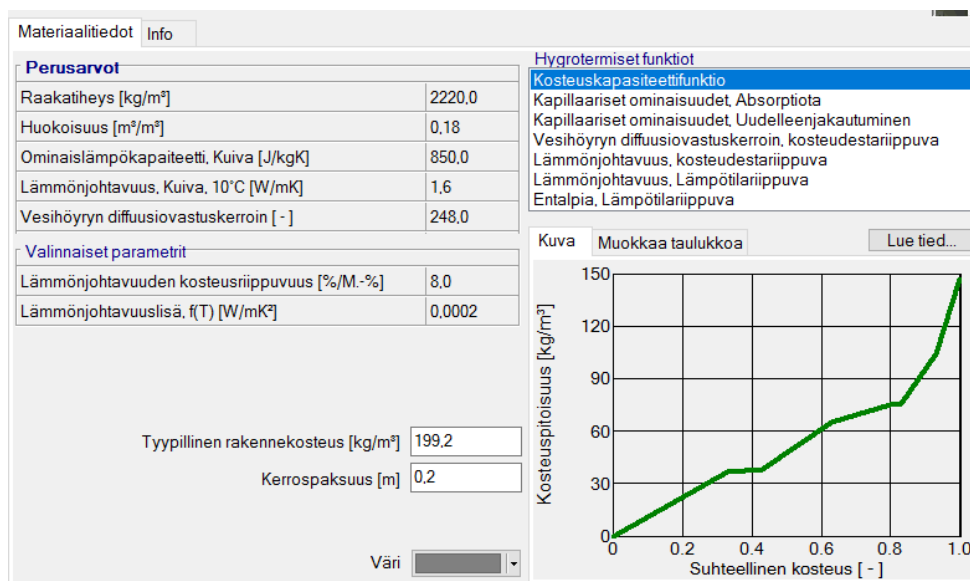
Tässä tapauksessa rakenteen ja yläpuolisen ilman välinen lämpötilaero, rakenteen epänormaali lämpötila, mittapään reiässä oloaika, odotusaika porauksesta sekä oikea mittaussyvyyys eivät todennäköisesti vaikuta kosteusmittaustuloksiin. Kuitenkin esimerkiksi mittausputken tiivistys sekä mittausräin putkitus ja puhdistus ovat saattaneet vaikuttaa mittaustuloksiin merkittävästi. Näissä tapauksissa mittauserheet saattavat olla jopa 10–20 RH-yksikön luokkaa. Tämä tarkoittaa, että mittauspisteissä betonin suhteellinen kosteus saattaakin todellisuudessa olla jopa 95 % tasolla.

### 3.2 Simulointi

Wufi® 5.3 simulointiohjelma on tarkoitettu rakenteiden kosteusolosuhteiden arviointiin, kosteuselämän eli kosteuskäyttäytymisen tutkimiseen. Ohjelmalla voi tutkia rakennuksien kaikkia rakenteita, olivat ne sitten ulko- tai sisäilmassa. Ohjelma ottaa huomioon rakenteen ympärillä vallitsevat ilmaolosuhteet ja niiden muutokset, rakenteen materiaalien ominaisuudet sekä kosteuden siirtymisen niin kapillaarisesti kuin diffuusionkin avulla. Se suorittaa yksi- ja kaksidimensioisia lämmöneristyslaskelmia, ottaen huomioon tarvittaessa myös ulkoilmaolosuhteissa valitulla paikalla vallitsevan ilmaston, auringonsäteilyn sekä kesäkondensaation. (Wufi.)

Tarkoituksena on tarkastella tutkitun laattarakenteen kuivumista ensin sen pinnoittamiseen asti ja sen jälkeen aina kosteusmittauksien tekopäivään asti. Viimeinen simulointi kuvaa laatan kuivumista, jos sitä ei olisi pinnoitettu. Näitä tuloksia vertailemalla porareikämittauksien tuloksiin voidaan arvioida rakenteen tuuletusperiaatteen vaikutusta betonilaatan suhteelliseen kosteuteen.

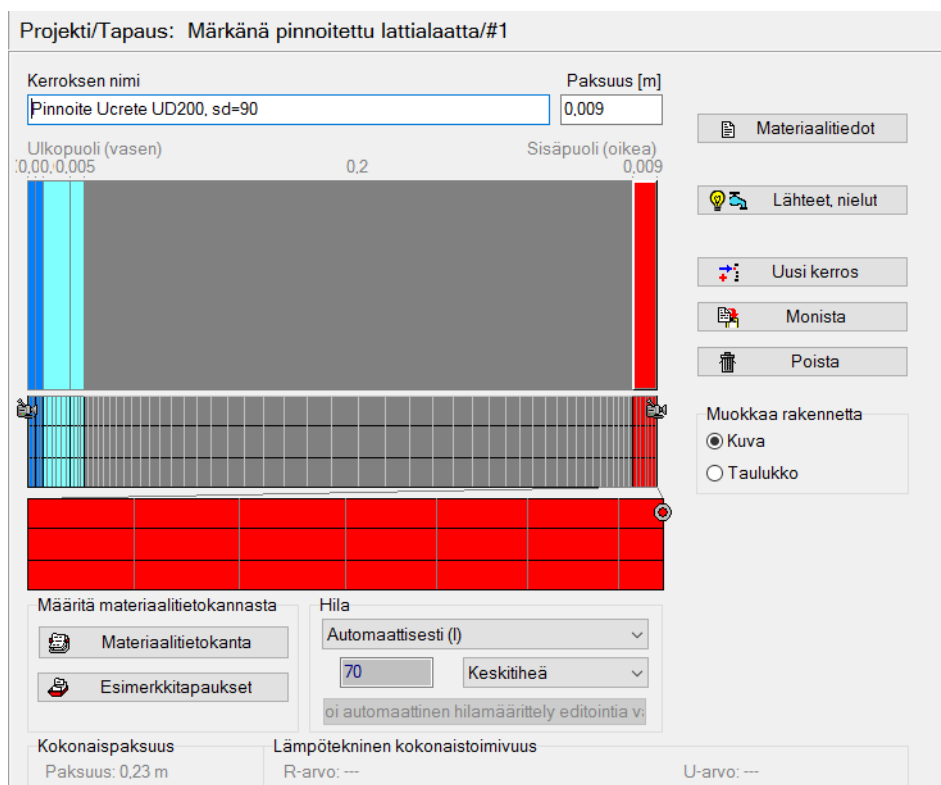
Ensimmäisenä simulointiohjelmaan muodostettiin tutkitun rakenteen eri rakennekerrokset. Rakennekerrosten eri ominaisuudet määritettiin materiaalivalmistajien arvojen mukaisesti. Wufi 5.3 -ohjelman tietopankista löytyy eri rakennekerrosten oletusarvoja, joita on myös käytetty hyödyksi. Alla olevasta kuvasta ilmenee, kuinka käytetyn valmisbetonin ominaisuuksia voidaan määrittää.



Kuva 6. Wufi® betonilaatan ominaisuuksien määrittäminen (Kaipainen, 2018-02-01)



Kun kaikki rakennekerrokset ovat asetettu, koko rakennetta voidaan tutkailla kuvan 7 näkyvässä. Pystysuunnassa olevia rakenteita määrittäessä, rakenne esiintyy näkyvässä sivuttain. Oikealla puolella on 9mm paksu pinnoite, jonka alla on 200mm betoni, sekä muut rakennekerrokset. Vasemmassa reunassa sinisellä näkyy lattiarakenteen alaosa, joka kuvaa kaksinkertaista bitumikermiä. Rakennekerroksia voidaan lisätä sekä monistaa kuvan oikeasta laidasta.



Kuva 7. Wufi® lattiarakenne kokonaisuudessaan (Kaipainen, 2018-02-01)

Ensimmäisessä simuloinnissa tutkitaan lattialaatan kosteuskäyttäytymistä, heti valusta aina pinnoittamiseen asti. Tutkitussa kohteessa betonilaatta on valettu 15.11.2017, eikä sitä ole pinnoitettu ennen 23.11.2017. Tarkoituksena on nähdä, tapahtuuko betonin sisältämässä kosteudessa mitään muutoksia kuluvalle ajalle.

Kuvassa 8 on esitetty, kuinka laskentajaksoja simuloinneissa voidaan määrittää. Alkujakaumalla tarkoitetaan simuloinnin alkuaikajakoja. Loppujakauma puolestaan kuvaa simuloinnin päättymistä. Aika-askleet tarkoittavat, minkä ajan välein simulointi näyttää siitä syntyvää dataa. Testauksen perusteella lyhyissä simuloinneissa aikaväli kannattaa pitää lyhyenä, kun taas pitkissä vastaavasti pidempinä.

Projekti/Tapaus: Märkänä pinnoitettu lattialaatta/#1

Laskentajaksot/Jakaumat Numeriikka

**Alku & Loppu /Jakaumat**

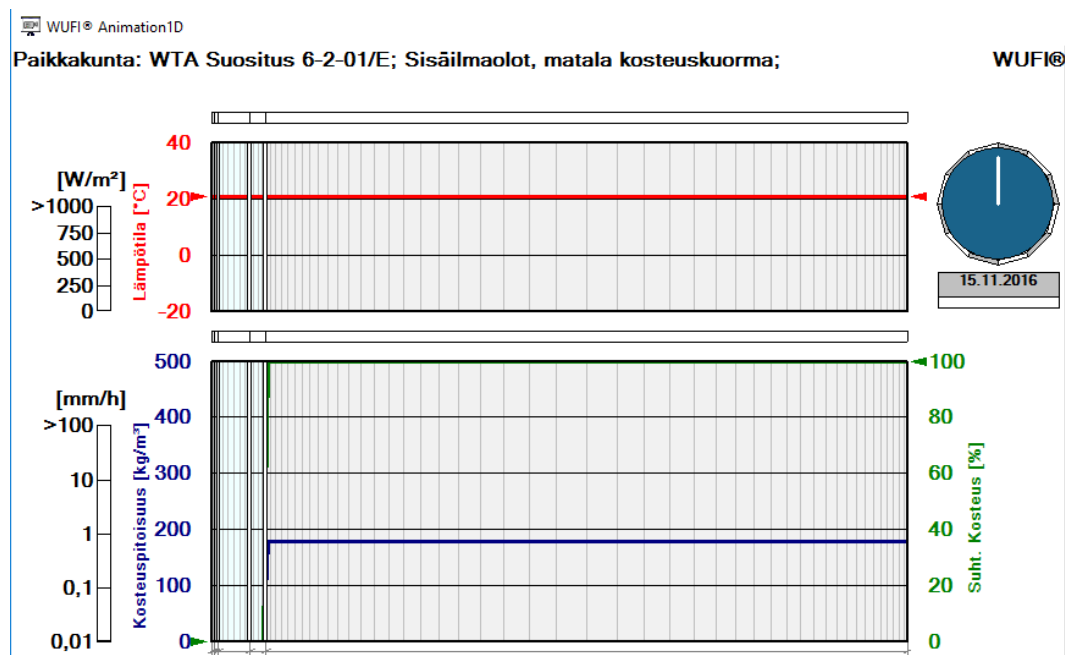
Laskenta	Jakauma	Päivämäärä	Tunti
Alku	Jakauma 1	15.11.2016	0:00:00
Loppu	Jakauma 2	23.11.2016	0:00:00
			28.2.2018 0:00:00

Aika-askeleet [h]

Uusi  
Poista  
Kopioi  
Syötä

Kuva 8. Wufi® ensimmäisen simuloinnin aikaväli (Kaipainen, 2018-02-01)

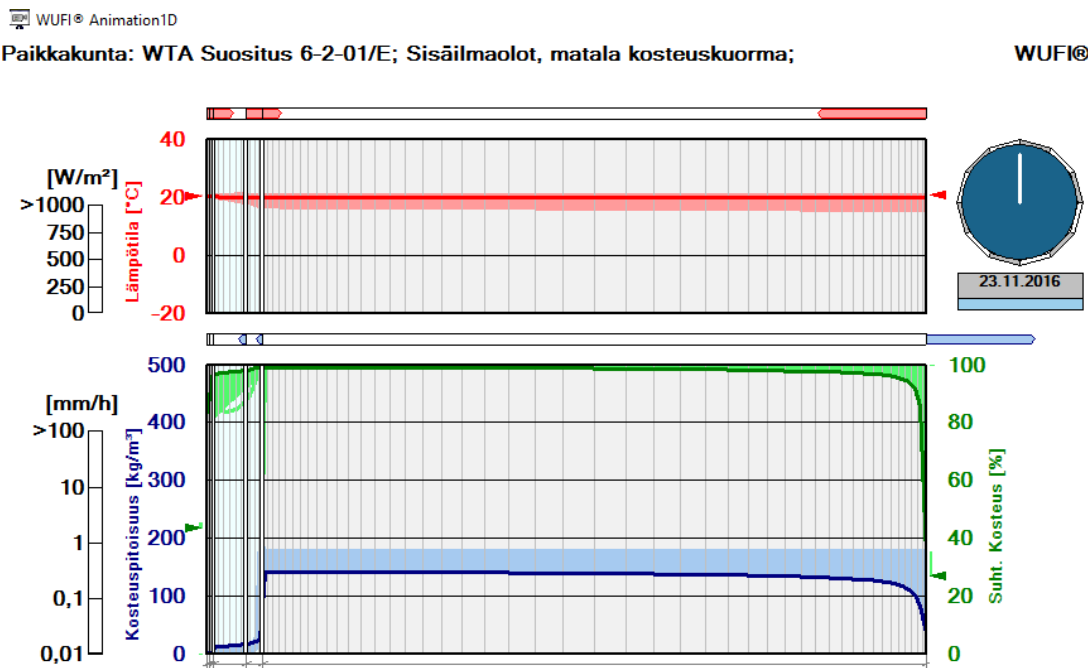
Alkutilannekuvaa 9 katsotaan samassa suunnassa, kuin rakennekuvaa 7. Betonin pinta sijaitsee oikeassa reunassa. Lämpötila pysyy stabiilina, koska rakenne sijaitsee normaaleissa sisäilmaoloissa. Rakenteen sisältämää suhteellista kosteutta (RH) seurataan oikeassa alalaidassa.



Kuva 9. Wufi® simuloinnin alkutilanne (Kaipainen, 2018-02-01)

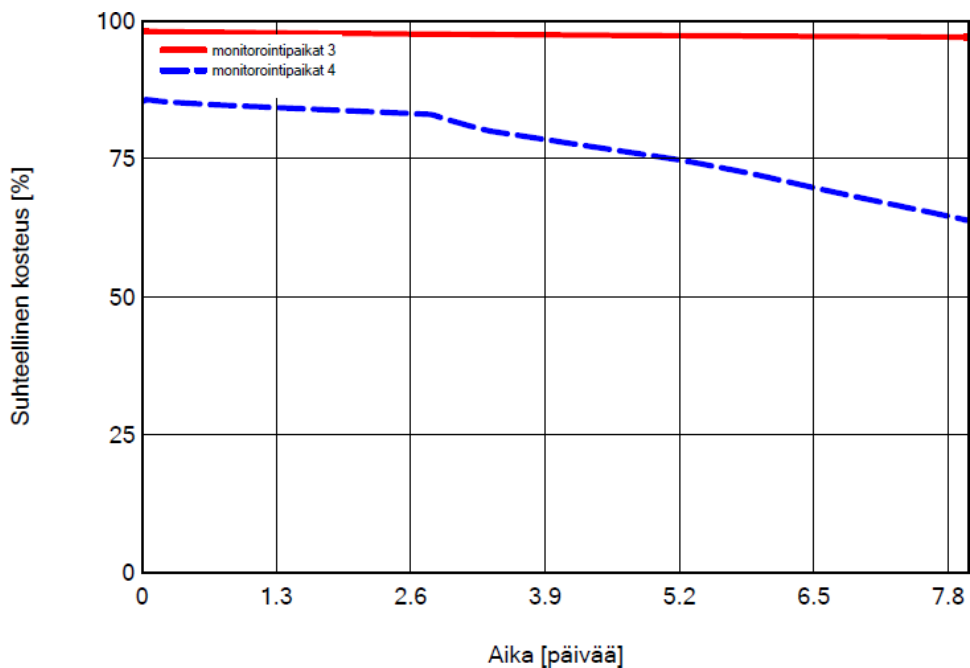
Lopputilanteessa, kuvassa 10 nähdään rakenteessa tapahtuvat kosteusmuutokset, kun betonilaatta on kuivunut 8 vuorokautta. Kuten kuvaajasta huomataan, betonilaatan suhteellinen kosteus on silti noin 100 % lukuun ottamatta betonin pintaa, jossa suhteellinen kosteus on noin 80–90%. Täytyy kuitenkin muistaa, että simuloinnissa ei ole huomioitu betonilaatan jälkihoitona toimivaa kastelua,

joka nostaisi betonilaatan pinnankin suhteellisen kosteuden lähelle 100 % -yksikköä.



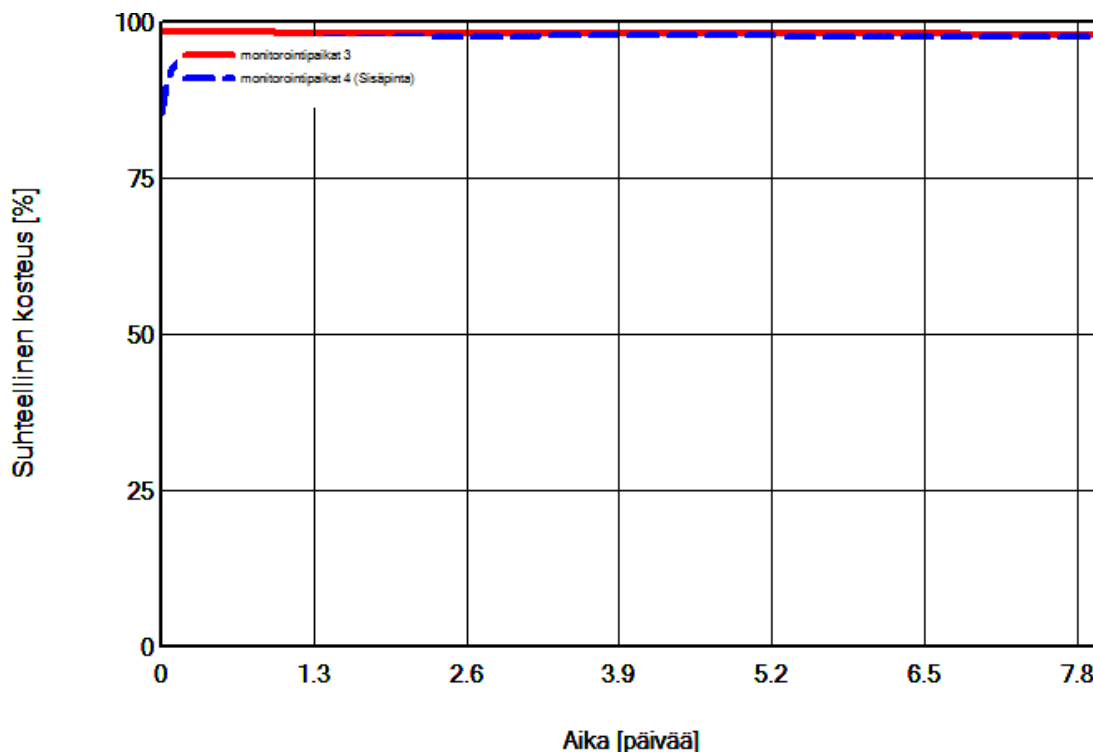
Kuva 10. Wufi® lopputilanne (Kaipainen, 2018-02-01)

Kuvassa 11 esitetään edellä mainittu tilanne vielä selkeämmin. Punaisella oleva monitoripaikka 3 kuvaa betonin suhteellista kosteutta 80mm syvyydellä laatan pinnasta. Tämä syvyys on sama kuin kosteusmittauksissa käytetty 0,4\* betonilaatan paksuus. Monitoripaikka 4 puolestaan kuvaa betonin pinnassa olevaa suhteellista kosteutta, kun jälkihoitoa ei ole huomioitu.



Kuva 11. Wufi® monitoripaikkojen suhteellinen kosteus (Kaipainen, 2018-02-01)

Betonin jälkihoitoa voidaan jäljitellä simuloinnissa asettamalla sisäilman suhteellisen kosteuden lähelle 100 %. Seuraavassa kuvaajassa sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi on valittu 95 %. Simulointitapahtuma on sama kuin edellinen. Kuten kuvaajasta huomataan, betonin pinnan suhteellinen kosteus on noin 97 % simuloinnin loppuessa. Tämä tarkoittaa, että betoni ei oleellisesti kuivu ennen sen pinnoittamista.



Kuva 12. Wufi® monitoripaikkojen suhteellinen kosteus jälkihoito huomioituna (Kaipainen, 2018-01-05)

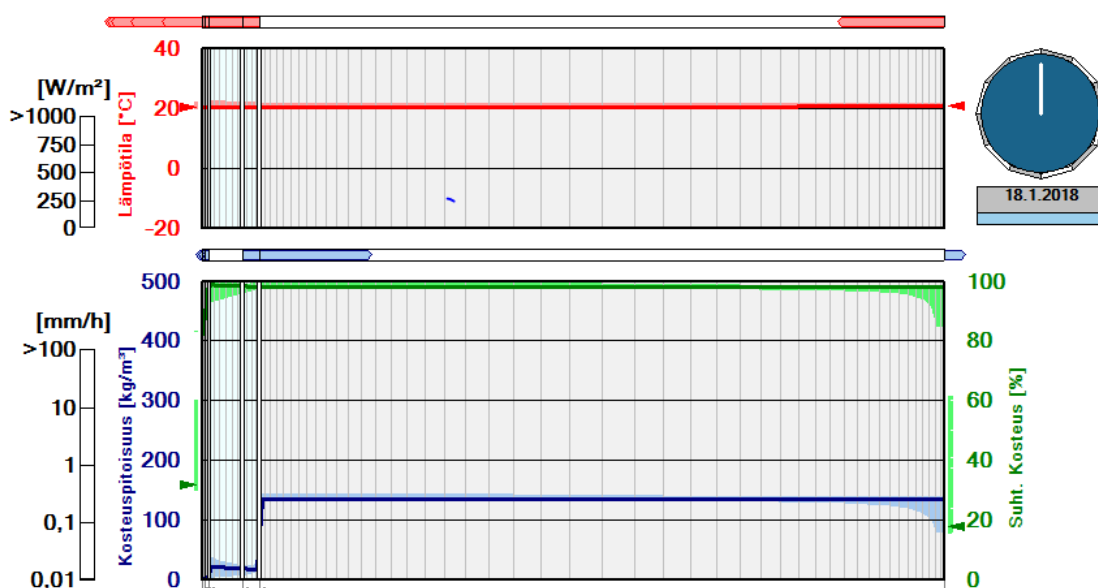
Seuraavassa simulointitilanteessa pohjana on ensimmäisen simuloinnin rakenne, johon on lisätty pinnoite. Tämä simulointi kuvaa muutoksia laatan pinnoituspäivästä päivään (18.1.2018), jolloin viimeiset kosteusmittaukset porareikämenetelmällä on suoritettu.

Kuvaajasta, kuva 13, huomataan, että kosteus ei pääse pois rakenteesta. Polyuretaanihartsipinnoite rakenteen yläpinnassa ei päästä kosteutta haihtumaan ylöspäin, eikä alapinnassa oleva bitumiker- mieristys päästä kosteutta rakenteesta ulos. Simuloinnissa ei kuitenkaan ole huomioitu ilmarakojia betonilaatan reunoilla, joista kosteus saattaa päästä haihtumaan kuivaan sisäilmaan.

WUFI® Animation1D

Paikkakunta: WTA Suositus 6-2-01/E; Sisäilmaolot, matala kosteuskuorma;

WUFI®



Kuva 13. Wufi® toisen simuloinnin lopputilanne (Kaipainen, 2018-02-02)

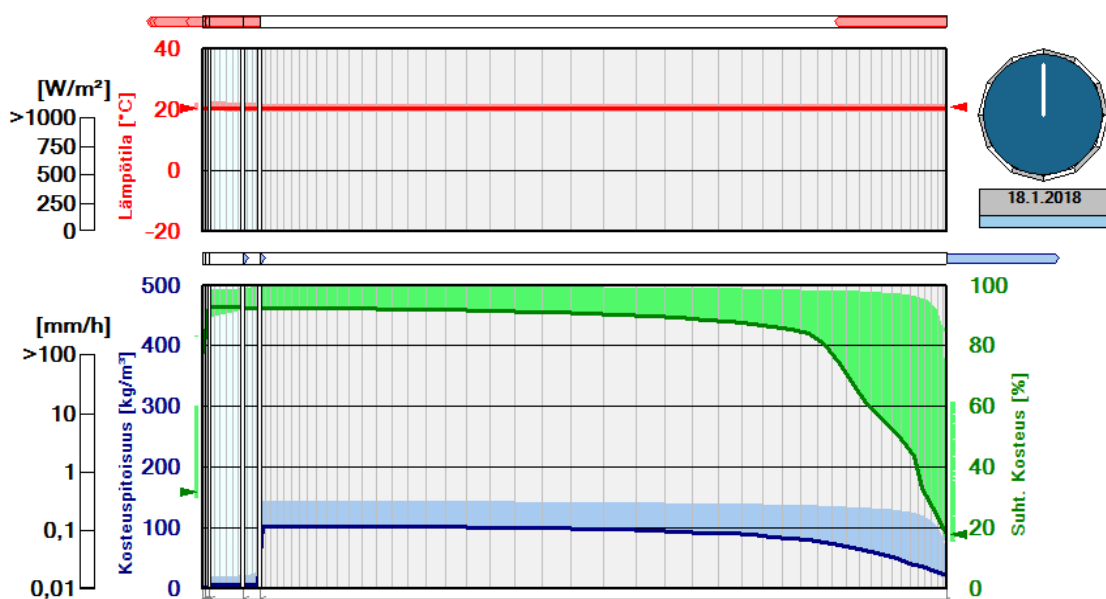
Viimeisessä simuloinnissa muodostetaan rakenne, jossa heikosti höyryä läpäisevää pinnoitetta ei ole betonilaatan päällä. Aikaväli simuloinnissa on sama kuin edellisessä, eli 23.11.2016–18.01.2018. Tämän avulla nähdään, kuinka kosteus pääsisi haihtumaan rakenteesta ylöspäin.

Kuva 14 esittää kyseisen simuloinnin lopputilannetta. Betonin pinnan suhteellinen kosteus laskisi noin 20–40 % -yksikköön. Kuitenkin syvemmällä betonilaatan sisällä kosteusarvot olisivat huomattavasti korkeampia.

WUFI® Animation1D

Paikkakunta: WTA Suositus 6-2-01/E; Sisäilmaolot, matala kosteuskuorma;

WUFI®

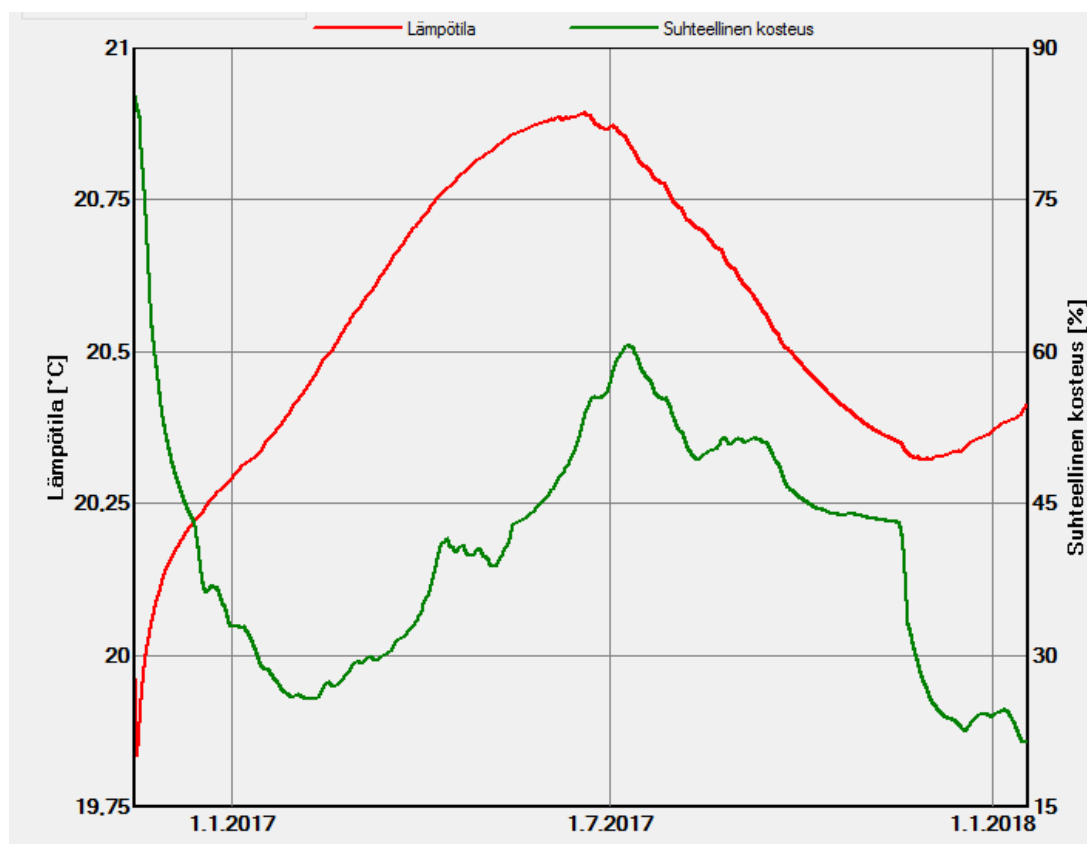


Kuva 14. Wufi® kolmannen simuloinnin lopputilanne (Kaipainen, 2018-02-02)

Avonaisen betonilaatan kuivuminen on selitettävissä. Koska betoni on huokoinen materiaali, niin yksi sen ominaisuuksista on pyrkiä hygroskooppiseen tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Betoni siis joko vastaanottaa kosteutta ympäristöstä tai luovuttaa sitä siihen pisteeseen asti, kun sen sisältämien huokosten ilmatilan suhteellinen kosteus on sama kuin ympäristön. (Merikallio 1997, 742). Tässä tapauksessa betoni pääsee luovuttamaan kosteutta ympäröivään sisäilmaan, jonka suhteellinen kosteus on 25–35% tasolla.

Kuitenkin ilman erillisiä kuivatustoimenpiteitä, betonilaatan kuivuminen hidastuu sen kosteuspitoisuuden laskiessa. Sisätiloissa betonirakenteiden suhteellinen kosteus tasaantuu ajansaatossa vain noin 60 % suhteelliseen kosteuteen. (Lindberg 1997, 436.) Tällä voidaan selittää simulointikuvassa 13 näkyvää korkeaa suhteellista kosteutta syvemmällä betonilaatassa.

Kuvassa 15 on esitetty samassa simuloinnissa olevan betonilaatan sisältämä suhteellinen kosteus syvyydellä 80mm. Tämä syvyys on sama kuin porareikämenetelmällä otetut kosteusmittaukset. Kuvaajasta nähdään, kuinka betonin suhteellinen kosteus laski huomattavasti vuoden aikana, jos betonia ei ollenkaan pinnoitettaisi. Kuitenkin on huomattava, että kuvaaja saattaa esittää betonin suhteellisen kosteuspitoisuuden hieman liian alhaisena. Simuloinneissa betonilaatan kuivuminen tapahtuu stabiileissa ideaalioloissa.



Kuva 15. Wufi® betonilaatan suhteellinen kosteus 80mm syvyydellä (Kaipainen, 2018-02-02)

## 4 TUULETUKSEN TEHOSTAMINEN

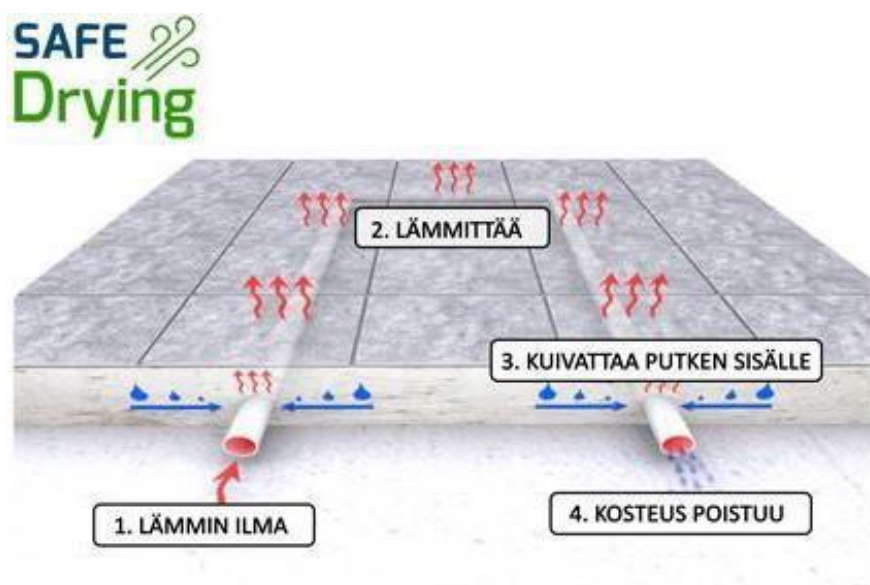
### 4.1 SafeDrying® -kuivatusjärjestelmä

Paikalla valetun betonilaatan äkkinäinen pinnoittaminen saattaa johtaa home- ja sisäilmaongelmiin. Betonilaattaan jäävä kosteus voi synnyttää homekasvustoa pinnoitteen alle. Seuraavassa esitetään SafeDrying® -kuivatusjärjestelmä, jolla pystyttäisiin varmistamaan esimerkiksi myös tässä tutkimuksessa esitetyn lattialaattarakenteen turvallinen kuivuminen.

Kuivatuslämmitys perustuu kuivaan ja lämpimään ilmaan, jota kierrätetään suurella nopeudella lattian sisällä kulkevilla putkistoissa. Uudiskohteissa SafeDrying® -putket valetaan betonilaatan sisään. Korjauskohteissa putket voidaan myös valaa valmisbetonilaatan sisään tai urata kuivatettavan kiinteistön rakenteisiin.

Betonilaatan kuivatukseen kehitetyt putket luovuttavat lämpöä ympäröivään betoniin, ja samaan aikaan ne keräävät kosteutta betonista ja pitävät ympäröivät rakenteet kuivina. Putkistoista kosteus siirtyy keskusyksikköön, josta vesi poistuu omakotitaloissa yleensä ilmanvaihdon kautta. Isommissa kiinteistöissä kostea ilma voidaan poistaa joko kuivatusjärjestelmän tai ilmanvaihtokanavien kautta.

Putkissa kulkevan ilman sisältämää kosteutta voidaan seurata reaaliajassa, ja kosteusarvot on helppo saada luettavaksi etänä esimerkiksi matkapuhelimella tai tietokoneella. Nämä mittaustiedot auttavat sekä uusien, että jo olemassa olevien rakenteiden kuivatusta ja kuivana pitämistä niiden koko elinkaaren ajan.



Kuva 16. SafeDrying® -kuivatusjärjestelmä (www.safedrying.fi, 2018-03-17)

Rakenteisiin asennetaan tarvittava määrä etäluettavia seuranta-antureita. Seuranta-anturit ovat osana kuivumisajan etäseurantajärjestelmää, jonka avulla voidaan selvittää betonilaatan kuivumistilanne. Seuranta-antureita on myös tuloilmaputkistoissa, joiden avulla pystytään aina laskemaan putkistoista poistuva kosteus. Järjestelmän avulla saadaan selville myös mahdolliset piilevät kosteuslähteet, jolloin vältetään suuremmilta yllätyksiltä. Kuivatusjärjestelmän tuomia kustannuksia on arvioitu liitteessä. (liite 1.)



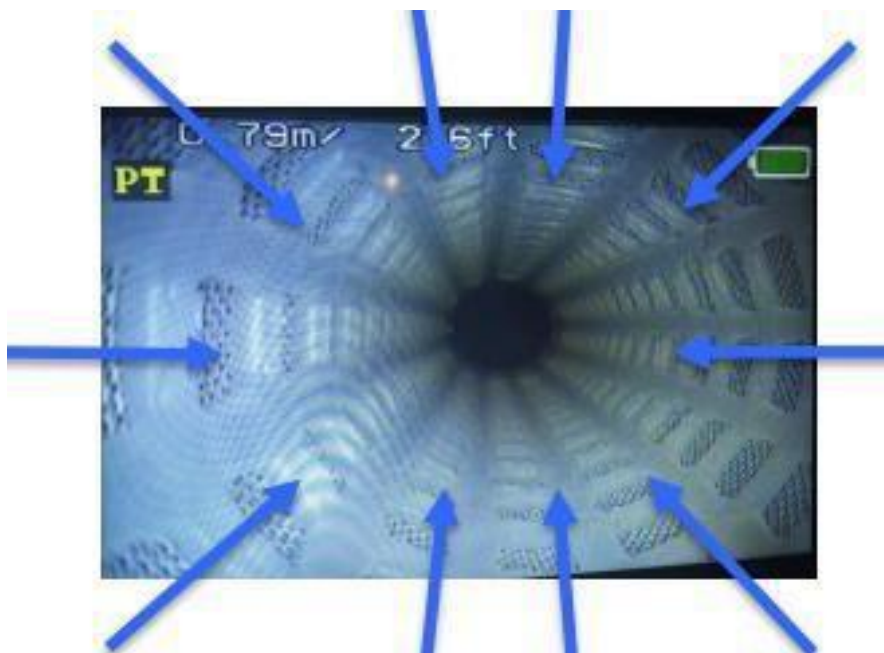
Kuva 17. SafeDrying® -kuivatusputki uratettuna lattiaan (www.safedrying.fi, 2018-03-17)

Tommolan (2018-03-17) mukaan kuivatusputkiston menoilman lämpötila on noin 40-60°C ja sen suhteellinen kosteus on 1-10 %. Puolestaan tuloilman lämpötila on 20-35°C vaiheilla. Kuivatusjärjestelmä voi poistaa kosteutta yli 10g/m<sup>2</sup> tuntivauhdilla kuivatuksen alkuvaiheessa. Betonin kuivuessa myös kuivatusputkiston kuivatusteho pienenee.

#### 4.2 Betonilaatan kuivuminen putkiston avulla

Kuivatusputkiston toimivuutta on tutkittu diplomityössä (Ahvenainen, 2016). Tutkimuksessa verrattiin kuivatusputkistolla kuivatettavaa betonilaattaa samaan aikaan rakennettavaan toiseen betonilaattaan. Tuloksien mukaan kuivatusputkistolla kuivatettu betonilaatta kuivui kriittiseen kosteuspitoisuuteen yli kuukauden ennen vertailtua laattaa. Lisäksi tutkimus osoitti, että tiheämpi putkiväli, sähkövastuksen käyttö, sekä putkistoon puhallettavan ilman lämmitys ja kuivaus tehostivat betonilaatan kuivumista.





Kuva 18. Kuivatusputki poistaa kosteutta betonilaatasta joka suunnasta (Tommola, 2018-04-21)

Kuivatusputkiston optimi jako on Tommolan (2018-04-20) mukaan 200-450mm. Laatan kuivumisen tavoiteaika määrittää putkiston välimatkan toisistaan. Puolestaan pystysuunnassa kuivatusputkisto sijaitsee keskellä betonilaattaa. Tällöin kuivuminen tapahtuu laatassa tasaisesti, eivätkä muun muassa lämpötilaerot laatan sisällä kasva suuriksi. Lämpötilanvaihtelut aiheuttavat kuivumiskutistuman yhteydessä jännityksiä betonilaattaan, jotka voivat johtaa halkeiluun (Suomen Betoniyhdistys 1992, 432). Kuitenkin kuivatusputkiston aiheuttamat lämpötilanvaihtelut ovat vain muutaman celsiusasteen luokkaa, jolloin laatan halkeiluriskiä ei synny. Päinvastoin, betonilaatan tasainen kuivuminen edesauttaa halkeiluriskin ehkäisyssä.

Kuten Ahvenaisen diplomityössä käy ilmi, sähkövastusten käyttö parantaa kuivatusputkijärjestelmän toimivuutta. Tämä on selitettävissä betonissa tapahtuvalla lämpötilan nousulla. Korkeammassa lämpötilassa betonin sisältämien vesimolekyylien värähtely lisääntyy ja kosteuden liike suurenee. Kaikki betonin lisälämmitysmenetelmät ovat siis eduksi kuivatuksen tehostamisessa. Betonilaatan lämmitysmenetelmät eivät kuitenkaan itsessään ole tehokkaimpia tapoja betonilaatan kuivatuksessa. Tutkimuksen mukaan kuivatusputkiston lämmin ja kuiva virtausilma on tehokkain menetelmä kosteuden poistamiseksi betonilaatasta.

## 5 YHTEENVETO

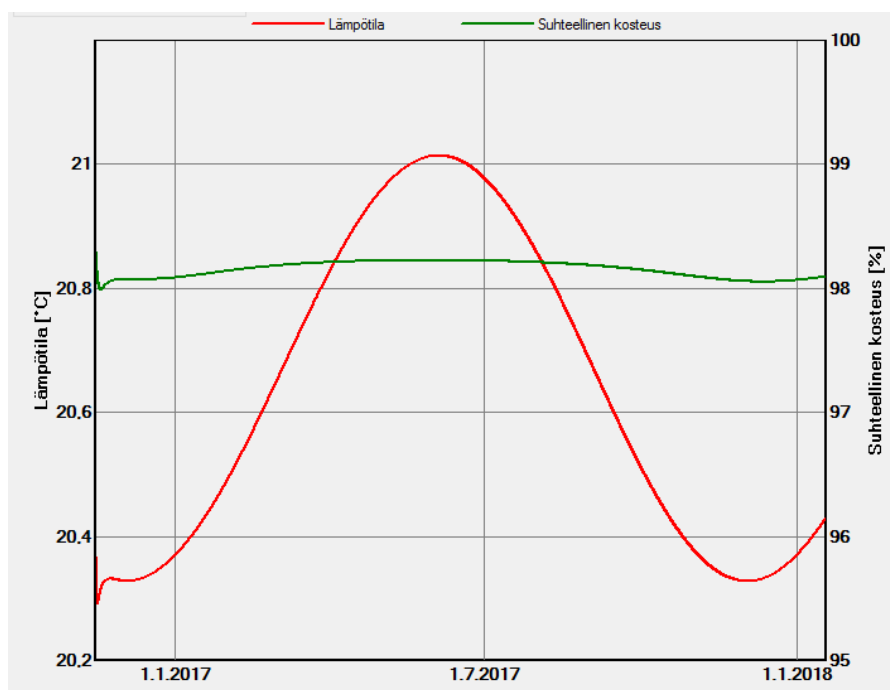
### 5.1 Tuloksien vertailu

Taulukossa 3 esitetään porareikämenetelmällä tehtyjen kosteusmittauksien, sekä Wufi 5.3 simulointien tulokset. Simulointituloksista tulee huomata, että ne eivät ota huomioon laattarakenteen tuuletuksen mahdollisuutta, jonka avulla laatasta on saattanut päästä kosteutta haihtumaan ulos kuivaan huoneilmaan, tuulettuvia laatan reunoja pitkin.

Taulukko 3. Tuloksien vertailu (Kaipainen, 2018-03-26)

<b>Betoni-laatan suhteellinen kosteus 80mm syvyydellä</b>		
Päivämäärä	22.12.2017	18.1.2018
Kosteusmittauksien keskiarvo	74,9 %	75,1 %
Simulointitulokset	98,1 %	98,1 %

Betonin kuivuminen voidaan jakaa kemialliseen- sekä haihtumiskuivumiseen (Pihlajavaara 1964, 40). Simuloinneista saadut suhteellisen kosteuden tulokset 98,1 % tarkoittavat, että betonirakenne on kuivunut vain kemiallisesti hydratoitumisreaktion ansiosta. Tämän seurauksena betonirakenteen suhteellinen kosteus laskee yleisesti noin 90–98% -yksikköön, riippuen käytetyn betonin ominaisuuksista (Merikallio, Niemi ja Komonen 2007, 20). Simulointitulokset osoittavat, että kosteus ei pääse haihtumaan pois rakenteesta ilman laatan tuulettuvia reunoja. Simuloinnin tulokset ovat esitetty myös kuvassa 19.



Kuva 19. Betoni-laatan suhteellinen kosteus 18.1.18 80mm syvyydellä (Kaipainen, 2018-03-26)

Kosteusmittaustuloksien (RH~75 %) ero simuloinnin tuloksiin (RH~98 %) on kuitenkin merkittävä. Porareikämittauksien perusteella kosteutta on päässyt pois betonilaatasta, eli laatta on päässyt kuivumaan laatan reuna-alueiden kautta haihtumalla.

Kuitenkin tutkittu betonilaatta on suuri ja se sisältää yli 40 litraa ylimääräistä vettä kuutiossa. Betonilaatan reunoissa olevat tuuletusraot ovat niin pienet, että vaikka kosteus pääsisi siirtymään laatan alta kohti sen reunoja, niin tämä haihtuminen ei riitä kuivattamaan betonilaattaa kosteusmittaustuloksien verran. Lisäksi Tampereen teknillisessä yliopistossa on valmistumassa diplomityötutkimus, jossa seurattiin tuoreen betonin päälle pinnoitetun muovimaton alla olevan betonilaatan kuivumista. Ennakkotietojen mukaan SafeDrying -kuivatus toimii hyvin myös pinnoitteen alla. Tutkimuksessa muutaman kuukauden seurannan loppuessa betoni oli saavuttanut noin 85 – 87 % suhteellisen kosteuden. (TTY, 2018.)

Näistä syistä voidaan olettaa, että kosteusmittaustuloksissa on tapahtunut mittausvirhe. Mittausvirhe saattaa todellisuudessa olla jopa 20 % -yksikköä. Tämä tarkoittaisi, että kosteus ei pääsisi haihtumaan ollenkaan tutkitusta rakenteesta, vaan sen suhteellinen kosteus olisi lähelle 98 %.

## 5.2 Johtopäätökset

Tärkeimpiä kysymyksiä tutkimuksessa olivat, kuinka paljon todellisuudessa betonirakenne pääsee kuivumaan alaspäin, sekä onko kosteuden mahdollista nousta pinnoitteen alle mahdollisesti vahingoittaen sitä. Lattialaatan tuuletusperiaatteen toimivuutta on vaikea arvioida tehtyjen mittauksien perusteella. Kosteusmittaustulosten perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että rakenteen sisältämä kosteus pääsee jossain määrin pois laattarakenteesta, ainakin sen reuna-alueilta. Kuitenkin koepalamittauksia ottamalla lattialaatan koko alalta voitaisiin arvioida tarkemmin, kuinka betonin sisältämä kosteus on liikkunut betonin sisällä.

Rakenteen sisältämän kosteuden nouseminen pinnoitteen alle tiedetään tietyissä tapauksissa mahdollistavan sisäilmaongelmia. Iso osa ongelmista johtuu haitallisten mikrobikasvustojen synnystä rakennusmateriaaleihin, joka voi mahdollistaa kasvustojen sisältämien hiukkasten tunkeutumisen rakenteiden kautta sisäilmaan. Mahdollisen korkean kosteuspitoisuuden puolesta riski on olemassa, mutta rakenteessa käytetyt materiaalit eivät ole herkkiä kosteudelle, vaan ne kuuluvat kestävään HHL 4 -luokkaan. Näille materiaaleille voi kehittyä lievää, silmin havaitsematonta kasvustoa vasta useiden vuosien kuluessa. (YMPÄRISTÖOPAS-2016, 133). Tässä tapauksessa homeen tai muiden mikrobikasvustojen syntyä pinnoitteen alle voidaan pitää epätodennäköisenä, johtuen kyseisten rakennusmateriaalien käytöstä. Kuitenkin jatkuva rakenteen sisältämä korkea kosteusrasitus voi pitkän ajan kuluessa johtaa edellä mainittuihin vaurioihin, sekä ongelmiin.

Kuten tuloksien vertailussa ilmeni, on epätodennäköistä, että laattarakenteen sisältämä ylimääräinen kosteus pääsisi haihtumaan ainakaan koko betonilaatan alalta. Tämän vuoksi kuivatusputkistojärjestelmää voitaisiin hyödyntää tutkimuksen kaltaisissa rakenteissa. Sen parhaimpia puolia ovat betonilaatan kuivumisen varmuus, seurattavuus, sekä tulevaisuudessa mahdollisten piilevien kosteuslähteiden ilmi tuominen.

Kuitenkin kuivatusputkistojärjestelmää käytettäessä huomiota tulee kiinnittää betonirakenteessa tapahtuviin muutoksiin. Putkiston luomat ontot ontelot heikentävät betonilaatan lujuutta. Suunnittelussa tämä tulee ottaa huomioon putkiston sekä raudoitusten sijaintien osalta. Toisaalta Tommolan (2018-04-27) mukaan kuivatusputkiston ansiosta raudoitusten karbonatisoituminen on merkityksellistä, joten raudoituksia voidaan suunnitella myös normaalia poikkeavilla tavoilla. Tavallista paksummissa betonilaatoissa lujuuden heikkeneminen ei ole enää merkittävää.

Kuten aiemmin mainittiin, kaikista tehokkain betonilaatan kuivatusratkaisu olisi käyttää sähkövastuksia tai -kaapeleita betonirakenteessa kuivatusputkiston lisänä. Tällöin on kuitenkin huomioitava betonirakenteeseen syntyvät lämpötilaerot. Tommolan (2018-04-27) mukaan sähkövastukset tai -kaapelit on sijoitettava 200-400mm etäisyydelle toisistaan, jolloin merkittäviltä lämpötilaeroilta betonilaatan sisällä vältytään.

## 6 POHDINTA

Tutkimustyön tavoitteet täyttyivät vain osittain, johtuen käsitellyistä kosteusmittauksien epävarmuudesta, kosteusmittausmenetelmästä, sekä mittauksien ottopaikasta. Vaikka porareikämittaus on rakennustietokortin (RT 14-10984) ohjeen mukaan tarkka mittausmenetelmä, koepalamittaus olisi sisältänyt vähemmän epätarkkuustekijöitä, jolloin kosteusmittauksen tulokset olisivat olleet luotettavempia. Kosteusmittaustuloksia olisi ollut tärkeä saada myös laatan keskiosista, josta kosteudella on huomattavasti hankalampi siirtyä kohti rakenteen ilmaraollisia reunoja. Lisäksi kosteustilanne betonilaatan alapinnasta olisi ollut tärkeää selvittää. Nämä toimenpiteet olisivat kuitenkin vaurioittaneet vielä enemmän jo käytössä olevaa rakennetta.

Tutkitun rakenteen simulointi Wufi 5.3 -ohjelmalla pääosin onnistui. Tärkeimpänä asiana oli betonin sekä pinnoitteen ominaisuuksien määrittäminen, jotta simuloinnit vastaavat materiaalien todellista käyttäytymistä. Niillä on suuri merkitys simulointitapahtumien paikkaansa pitävyyteen. Esimerkiksi jos pinnoitteen verihöyrynvastusluku ei vastaa todellista, rakenteessa tapahtuvat kosteuden muutokset voivat vääristyä.

Opinnäytetyön tavoitteet täyttyivät etsittäessä ratkaisua tuuletuksen tehostamiseen betonirakenteessa. Esitetyllä kuivatusputkijärjestelmällä pystyttäisiin seuraamaan ja varmistamaan betonilaatan riittävä kuivuminen. Järjestelmän tehokkuutta voitaisiin vielä lisätä sähkövastuksien tai -kaapeleiden käytöllä. Näin pystyttäisiin minimoimaan rakenteeseen liittyvät kosteusriskit, eikä lisätutkimuksia itse tuuletusperiaatteen toimivuudesta tarvitsisi tehdä.

## 7 LÄHTEET

AHVENAINEN, VILLE 2016. Betonilaatan kuivatus lämminilmaputkistolla. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. [viitattu 2018-04-21]. Saatavissa:

<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24510/Ahvenainen.pdf?>

BASF OY. Ucrete-teollisuuslattiapinnoitteet [verkkoaineisto].[viitattu 2018-01-02] Saatavissa:

[https://assets.master-builders-solutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/Finnish%20\(Finland\)/DownloadsUcrete/Esitteet/MBS\\_Ucrete-esite\\_FI\\_small.pdf](https://assets.master-builders-solutions.basf.com/Shared%20Documents/PDF/Finnish%20(Finland)/DownloadsUcrete/Esitteet/MBS_Ucrete-esite_FI_small.pdf)

BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS. RT 14-10984. Helsinki: Rakennustieto Oy. helmikuu 2010. Saatavissa: <http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/resource/juha/content/866#page=11>

DUNKEL, Harry. 2015. Vesihöyryn diffuusiovastukset [opetusmoniste]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu

HÄKKÄ-RÖNNHOLM, Eva, HAIMALA, Taru ja RAUTIAINEN Liisa. 1999. Teollisuuslattioiden pinnoitus, VTT, BLY. Saatavissa: <http://www.bly.fi/File/bly-11.pdf?641373>

Icopal.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2018-02-02] Saatavissa: [http://www.icopal.fi/Tuotteet/Viherkatot/Viherkatot\\_loiville\\_katoille/Fonda\\_Geoplex\\_10\\_tuotesivu.aspx](http://www.icopal.fi/Tuotteet/Viherkatot/Viherkatot_loiville_katoille/Fonda_Geoplex_10_tuotesivu.aspx)

Polku: Icopal.fi. Tuotteet. Viherkatot. Viherkatot loiville katoille. Fonda Geoplex.

KAIPAINEN, Kasper 2018-01-10. Taulukko 1. Käytetyn valmisbetonin sisältö, Lujabetoni Oy [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-01-20. Taulukko 2. kosteusmittaustulokset [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-03-26. Taulukko 3. Tuloksien vertailu [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-01. Wufi® Betonilaatan ominaisuuksien määrittäminen [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-01. Wufi® ensimmäisen simuloinnin aikaväli [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-01. Wufi® lattiarakenne kokonaisuudessaan [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-01. Wufi® lopputilanne [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-01. Wufi® monitoripaikkojen suhteellinen kosteus [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-01-Wufi® monitoripaikkojen suhteellinen kosteus jälkihoito huomioituna kosteus [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-01. Wufi® simuloinnin alkutilanne [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-02. Wufi® betonilaatan suhteellinen kosteus 80mm syvyydellä [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-02. Wufi® kolmannen simuloinnin lopputilanne [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-02-02. Wufi® toisen simuloinnin lopputilanne [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

KAIPAINEN, Kasper 2018-03-26. Betonilaatan suhteellinen kosteus 18.1.18 80mm syvyydellä [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat

Kaitos.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2018-01-02] Saatavissa: <https://www.kaitos.fi/tuote/fabrinet-cn-e-b120/>

Kaitos.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2018-01-02] Saatavissa: <https://www.kaitos.fi/tuote/fibertex-f-20-neulasidottu-2/>

Polku: Kaitos.fi. Tuotteet. Hae. Fibertex F-20.

KEINÄNEN, Juuso 2016-12-12. Havainnekuva tuuletuksen perjaatteesta [valokuva]. Sijainti: Lapinlahti: Lujatalo Oy

KEINÄNEN, Juuso 2016-12-12. Uusi jalkalista ja lattiarakenne 1:10 [valokuva]. Sijainti: Lapinlahti: Lujatalo Oy

KERÄNEN, Jarno 2018-01-10. Käytetyn valmisbetonin sisältö [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Kasper Kaipainen. Saatavissa: Tekijän sähköiset kokoelmat.

LINDBERG, Ralf 1997. Rakennusmateriaalien käyttäytyminen ja maanvastaiset rakenteet. Julkaisussa: BJÖRKHOLTZ, Dick 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.

MERIKALLIO, Tarja 1997. Kosteusmittaus. Julkaisussa: LUMME, P, Merikallio T. Betonin kosteuden hallinta. Kestävä kivitaloprojekti. Suomen Betonitieto, 742.

MERIKALLIO, Tarja, NIEMI, Sami ja KOMONEN, Juha. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy

MONONEN, Esko. 2016. Betonointipöytäkirjat, aikataulu [moniste]. Lapinlahti: Lujatalo Oy.

mot.kielikone.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2018-04-03] Saatavissa Savonian käyttäjätunnuksella:

<https://mot.kielikone.fi/mot/savonia/netmot.exe?motportal=80>

Polku: reppu.savonia.fi. Kirjasto. Tietokannat. MOT-sanakirjasto.

oamk.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2018-05-03] Saatavissa: <http://www.oamk.fi/amok/oppimat/LO/Opetusmenetelmat06a/html/simulaatio.html>

Polku: oamk.fi. Amok. Oppimateriaali. Simulaatio.

PARTINEN, Sami 2018-02-02. Ucrete UD 200 -pinnoitteen ominaisuudet [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Kasper Kaipainen. Saatavissa: Tekijän sähköiset kokoelmat.

PIHLAJAARA, S. E. 1961. Betonin raknteesta ja muodonmuutoksista. Helsinki: Valtion teknillinen tutkimuslaitos

RAKENNUKSEN KOSTEUS- JA SISÄILMATEKNINEN KUNTOTUTKIMUS: YMPÄRISTÖOPAS 2016. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/Odotettu\\_opas\\_rakennusten\\_kosteus\\_ja\\_sis\(40490\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/Odotettu_opas_rakennusten_kosteus_ja_sis(40490))

RAKENNUSFYSIKAALINEN SUUNNITTELU JA TUTKIMUKSET: RIL 255-1-2014. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry

RT 14-10984, 4. BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS. Rakennustieto. Reikien poraus, puhdistus, tiivistys ja suojaus [valokuva]. Saatavissa ip-kirjautumisella: <http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/resource/juha/content/866#page=11>

RT 14-10984, 5. BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS. Rakennustieto. Porareikien tiivistys ja mittapään asennus [valokuva]. Saatavissa ip-kirjautumisella: <http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/resource/juha/content/866#page=11>

RT 14-10984, 9. BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS. Rakennustieto. Porareikämittauksen epätarkkuustekijät [valokuva]. Saatavissa ip-kirjautumisella: <http://rt.rakennustieto.fi.ezproxy.savonia.fi/resource/juha/content/866#page=11>



Safedrying.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2018-15-03] Saatavissa: <https://safedrying.fi/safedrying#toimintaperiaate>

Polku: Safedrying.fi. Toimintaperiaate.

Safedrying.fi. SafeDrying® -kuivatusjärjestelmä [valokuva]. Saatavissa: <https://safedrying.fi/safedrying#toimintaperiaate>

Safedrying.fi. SafeDrying® -kuivatusputki uratettuna lattiaan [valokuva]. Saatavissa: <https://safedrying.fi/safedrying#toimintaperiaate>

Sisailmayhdistys.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2018-25-02] Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>

Polku: Sisailmayhdistys.fi. Terveelliset tilat. Kosteusvauriot. Kosteustekninen toiminta. Kosteuden siirtyminen.

SUOMEN BETONIYHDISTYS. 1992. Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus by 32. Suomen Betonitieto Oy.

Taloon.com [verkkoaineisto].[viitattu 2018-05-01] Saatavissa: <https://www.taloon.com/suodatinkangas-kaitos-n1-harmaa-fibertex-f-20-2x100-m-200-m-/KAIT-0120-N1-2M/dp>

Polku: Taloon.com. Hae. Fibertex F-20.

Tiivistalo.fi. [verkkoaineisto].[viitattu 2018-08-02] Saatavissa: [http://www.tiivistalo.fi/tiivistalo\\_wiki/](http://www.tiivistalo.fi/tiivistalo_wiki/)

Polku: Tiivistalo.fi. Tiivistalo WIKI.

TOMMOLA, Esa 2018-03-17. [haastattelu]. Safedrying®.

TOMMOLA. Esa 2018-04-21. Kuivatusputki poistaa kosteutta betonilaatasta joka suunnasta [valokuva]. Sijainti: Tekijän sähköiset kokoelmat

Wufi.de [verkkoaineisto].[viitattu 2018-11-02] Saatavissa: <https://wufi.de/en/>

## 8 LIITTEET

Liite 1: Salattu

Liite 2: Vesihöyryn diiffuusiovastuskertoimet

Standardissa EN-ISO-10456 on ilmoitettu rakennusmateriaalien vesihöyryn läpäisevyys laaduttomalla kertoimella  $\mu$  :  
**Water vapour resistance factor**

Suomennettuna: vesihöyryn diffuusiovastuskertoimen ja sen määritelmä on  $\mu = \delta_{p,ilma} / \delta_p$

Eli kerroin ilmaisen sen kuinka paljon vähemmän materiaalin vesihöyrynläpäisevyys on suhteessa ilman vesihöyrynläpäisevyyteen.

Ilman vesihöyrynläpäisevyys 
$$\delta_{p,ilma} = \frac{2,0 \cdot 10^{-7} \cdot T^{0,81}}{P_{ilma}}$$

p on ilmanpaine (Pa)

101325

T on lämpötila (K)

-10 °C

T

263 K

20 °C

T

293 K

Alla olevassa taulukossa on eri materiaalien EN-ISO-10456 mukaiset vesihöyryn diffuusiovastuskertoimet, joiden mukaan on laskettu:

-vesihöyryn läpäisevyydet kuivalle materiaalille lämpötilassa +20°C


-vesihöyryn läpäisevyydet kostealle materiaalille lämpötilassa -10°C

-vesihöyryn vastukset tietyn paksuiselle kuivalle materiaalille lämpötilassa +20°C

-vesihöyryn vastukset tietyn paksuiselle kostealle materiaalille lämpötilassa -10°C

$$\delta_{v,i} = 461,4 \left( \frac{J}{kgK} \right) T \cdot \delta_n$$

Taulukkoon on lisätty muista lähteistä saatuja arvoja seuraavasti:

 TTY Raportti nro 129, jossa on testattu eräiden Suomessa myytävien rakennusmateriaalien ominaisuuksia

	$\rho$	$\mu$	$\mu$	$\delta_p$	$\delta_p$	d	$\delta_v$		$\delta_v$		$Z_v$				
							kuiva	märkä	kuiva	märkä	kuiva	märkä	kuiva	märkä	
	kg/m <sup>3</sup>					s									
				+20°C	-10°C	mm	$Z_p = d / \delta_p$			10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m			
				10 <sup>-12</sup> kg/msPa			kuiva	märkä	+20°C	-10°C	kuiva	märkä			
							+20°C	-10°C			+20°C	-10°C			
							0 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg								
asfaltti	2100	50000	50000	0,0039	0,0036	100	25428	27752	0,00053	0,00044	187998	228569			
bitumi															
		puhdas		1050	50000	50000	0,0039	0,0036	100	25428	27752	0,00053	0,00044	187998	228569
		mattona, levynä		1100	50000	50000	0,0039	0,0036	100	25428	27752	0,00053	0,00044	187998	228569

		$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ kuiva	$\mu$ märkä	$\delta_p$ kuiva +20°C	$\delta_p$ märkä -10°C	d paksuus s mm	$Z_p=d/\delta_p$		$\delta_v$ kuiva +20°C	$\delta_v$ märkä -10°C	$Z_v$	
								kuiva +20°C	märkä -10°C			kuiva +20°C	märkä -10°C
					10 <sup>-12</sup> kg/msPa		10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m		
betoni	Keskitiheä	1800	100	60	1,97	3,00	100	51	33	0,27	0,36	376	274
		2000	100	60	1,97	3,00	100	51	33	0,27	0,36	376	274
		2200	120	70	1,64	2,57	100	61	39	0,22	0,31	451	320
	tiheärunkoinen raudoitettu (1% harjaterästä)	2400	130	80	1,51	2,25	100	66	44	0,20	0,27	489	366
	raudoitettu (2% harjaterästä)	2300	130	80	1,51	2,25	100	66	44	0,20	0,27	489	366
		2400	130	80	1,51	2,25	100	66	44	0,20	0,27	489	366
lattia päällysteet	kumi	1200	10000	10000	0,0197	0,0180	1	51	56	0,0027	0,0022	376	457
	muovi	1700	10000	10000	0,0197	0,0180	1	51	56	0,0027	0,0022	376	457
	alushuopa, solukumi tai -muovi	270	10000	10000	0,0197	0,0180	1	51	56	0,0027	0,0022	376	457
	alushuopa, huopa	120	20	15	9,83	12,01	10	1,0	0,8	1,33	1,46	7,5	6,9
	alushuopa, villa	200	20	15	9,83	12,01	10	1,0	0,8	1,33	1,46	7,5	6,9
	alushuopa, korkki	<200	20	10	9,83	18,02	10	1,0	0,6	1,33	2,19	7,5	4,6
	laatat, korkkia	>400	40	20	4,92	9,01	10	2,0	1,1	0,66	1,09	15,0	9,1
	tekstiili päällysteinen matto	200	5	5	39,33	36,03	10	0,3	0,3	5,32	4,38	1,9	2,3
	linoleum	1200	1000	800	0,197	0,225	10	51	44	0,0266	0,0273	376	366
kaasut	ilma	1,23	1	1	196,6	180,2	100	0,5	0,6	26,6	21,9	3,8	4,6
	hiilidioksiidi	1,95	1	1	196,6	180,2	100	0,5	0,6	26,6	21,9	3,8	4,6
	argon	1,7	1	1	196,6	180,2	100	0,5	0,6	26,6	21,9	3,8	4,6
	rikki heksafluoridi	6,36	1	1	196,6	180,2	100	0,5	0,6	26,6	21,9	3,8	4,6
	krypton	3,56	1	1	196,6	180,2	100	0,5	0,6	26,6	21,9	3,8	4,6
	xenon	5,68	1	1	196,6	180,2	100	0,5	0,6	26,6	21,9	3,8	4,6
kiinteät	akryyli	1050	10000	10000	0,0197	0,0180	1	51	56	0,00266	0,00219	376	457
muovit	polykarbonaatti	1200	5000	5000	0,0393	0,0360	1	25	28	0,00532	0,00438	188	229



		$\rho$	$\mu$	$\mu$	$\bar{\delta}_p$	$\bar{\delta}_p$	d	$Z_p=d/\bar{\delta}_p$		$\bar{\delta}_v$	$\bar{\delta}_v$	$Z_v$	
		kg/m <sup>3</sup>	kuiva	märkä	kuiva	märkä	paksuus s mm	kuiva	märkä	kuiva	märkä	kuiva	märkä
					+20°C	-10°C		+20°C	-10°C	+20°C	-10°C	+20°C	-10°C
					10 <sup>-12</sup> kg/msPa			10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m	
	EPDM	1150	6000	6000	0,0328	0,0300	1	31	33	0,00443	0,00365	226	274
	polyisobutyleeni	930	10000	10000	0,0197	0,0180	1	51	56	0,00266	0,00219	376	457
	polysulfidi	1700	10000	10000	0,0197	0,0180	1	51	56	0,00266	0,00219	376	457
	butadieni	980	100000	100000	0,0020	0,0018	1	509	555	0,00027	0,00022	3760	4571
tiivistys- ja eristysaineet	siliga (piioksidi)geeli kuivana	720	∞	∞									
	silikoni	1200	5000	5000	0,0393	0,0360	100	2543	2775	0,00532	0,00438	18800	22857
	silikoni, täytenä	1450	5000	5000	0,0393	0,0360	100	2543	2775	0,00532	0,00438	18800	22857
	silikoni, vaahto	750	10000	10000	0,0197	0,0180	100	5086	5550	0,00266	0,00219	37600	45714
	Uretaani/polyuretaani (lämpökatko)	1300	60	60	3,28	3,00	100	31	33	0,44327	0,36459	226	274
	polyvinyyli (joustava) elastinen vaahto,	1200	100000	100000	0,0020	0,0018	100	50856	55504	0,00027	0,00022	375996	457138
	joustava	60-80	10000	10000	0,0197	0,0180	100	5086	5550	0,00266	0,00219	37600	45714
	polyuretaani vaahto	70	60	60	3,28	3,00	100	31	33	0,44	0,36	226	274
	polyetyleenivaahto	70	100	100	1,97	1,80	100	51	56	0,27	0,22	376	457
kipsi	kipsi	600	10	4	19,66	45,04	100	5,1	2,2	2,66	5,47	38	18
	kipsi	900	10	4	19,66	45,04	100	5,1	2,2	2,66	5,47	38	18
	kipsi	1200	10	4	19,66	45,04	100	5,1	2,2	2,66	5,47	38	18
	kipsi	1500	10	4	19,66	45,04	100	5,1	2,2	2,66	5,47	38	18
	kipsilevy	700	10	4	19,66	45,04	13	0,66	0,29	2,66	5,47	4,9	2,4
	Gyproc N (13 mm)	574	6,9		28,50		13	0,46		3,85		3,4	
	Gyproc TS (9 mm)	774	7,9	8,1	24,89	22,24	9	0,36	0,40	3,37	2,70	2,7	3,3
	kipsilevy	900	10	4	19,66	45,04	100	5,1	2,2	2,66	5,47	38	18

		$\rho$	$\mu$	$\mu$	$\delta_p$	$\delta_p$	d	$Z_p=d/\delta_p$		$\delta_v$	$\delta_v$	$Z_v$	
		kg/m <sup>3</sup>	kuiva	märkä	kuiva	märkä	paksuus s mm	kuiva	märkä	kuiva	märkä	kuiva	märkä
					+20°C	-10°C		+20°C	-10°C	+20°C	-10°C	+20°C	-10°C
					10 <sup>-12</sup> kg/msPa			10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m	
laastit ja rappaukset	kipsi eristys laasti	600	10	6	19,66	30,03	100	5	3	2,66	3,65	38	27
	kipsilaasti	1000	10	6	19,66	30,03	100	5	3	2,66	3,65	38	27
	kipsilaasti	1600	10	6	19,66	30,03	100	5	3	2,66	3,65	38	27
	kipsi, hiekka	1600	10	6	19,66	30,03	100	5	3	2,66	3,65	38	27
	kalkki, hiekka	1600	10	6	19,66	30,03	100	5	3	2,66	3,65	38	27
	sementti,hiekka	1800	10	6	19,66	30,03	100	5	3	2,66	3,65	38	27
maa	savi tai siltti	1200- 1800	50	50	3,93	3,60	100	25	28	0,53	0,44	188	229
	hiekkä ja sora	1700- 2200	50	50	3,93	3,60	100	25	28	0,53	0,44	188	229
kivilajit	luonnollinen kiteinen kallioperä	2800	10000	10000	0,020	0,018	100	5086	5550	0,00	0,00	37600	45714
	luonnollinen kerroksellinen kallioperä	2600	250	200	0,787	0,901	100	127	111	0,11	0,11	940	914
	luonnollinen kerroksellinen kallioperä, kevyt	1500	30	20	6,55	9,01	100	15	11	0,89	1,09	113	91
	huokoinen, esim. laava	1600	20	15	9,83	12,01	100	10	8	1,33	1,46	75	69
	basaltti	2700- 3000	10000	10000	0,0197	0,0180	100	5086	5550	0,0027	0,0022	37600	45714
	gneissi	2400- 2700	10000	10000	0,0197	0,0180	100	5086	5550	0,0027	0,0022	37600	45714
	graniitti	2500- 2700	10000	10000	0,0197	0,0180	100	5086	5550	0,0027	0,0022	37600	45714
	marmori	2800	10000	10000	0,0197	0,0180	100	5086	5550	0,0027	0,0022	37600	45714

		$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ kuiva	$\mu$ märkä	$\delta_p$		d paksuus s mm	$Z_p=d/\delta_p$		$\delta_v$		$Z_v$	
					kuiva +20°C	märkä -10°C		kuiva +20°C	märkä -10°C	kuiva +20°C	märkä -10°C	kuiva +20°C	märkä -10°C
					10 <sup>-12</sup> kg/msPa		10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m		
	liuskekivi kalkkikivi, erittäin	2800	1000	800	0,1966	0,2252	100	509	444	0,027	0,027	3760	3657
	pehmeä	1600	30	20	6,55	9,01	100	15	11	0,887	1,094	113	91
	kalkkikivi, pehmeä	1800	40	25	4,92	7,21	100	20	14	0,665	0,875	150	114
	kalkkikivi, keskikova	2000	50	40	3,93	4,50	100	25	22	0,532	0,547	188	183
	kalkkikivi, kova	2200	200	150	0,98	1,20	100	102	83	0,133	0,146	752	686
	kalkkikivi, erittäin kova	2600	250	200	0,79	0,90	100	127	111	0,106	0,109	940	914
	hiekkakivi	2600	40	30	4,92	6,01	100	20	17	0,665	0,729	150	137
	luonnon hohkakivi	400	8	6	24,58	30,03	100	4	3	3,325	3,646	30	27
	keinotekoinen kivi	1750	50	40	3,93	4,50	100	25	22	0,532	0,547	188	183
Tiilet	Poltetut savitiilet	2000	40	30	4,92	6,01	100	20	17	0,665	0,729	150	137
(katolla)	Betonitiilet	2100	100	60	1,97	3,00	100	51	33	0,266	0,365	376	274
(muut)	Muovi	1000	10000	10000	0,020	0,018	100	5086	5550	0,003	0,002	37600	45714
Puu		450	50	20	3,93	9,01	100	25	11	0,532	1,094	188	91
		500	50	20	3,93	9,01	100	25	11	0,532	1,094	188	91
	Massiivipuulevy, mänty (10mm)	532	84	20	2,34	9,01	10	4	1	0,317	1,094	32	9
		700	200	50	0,98	3,60	100	102	28	0,133	0,438	752	229
	puupohjaise												
t	vaneri	300	150	50	1,31	3,60	10	8	3	0,177	0,438	56	23
levyt	vaneri	500	200	70	0,98	2,57	10	10	4	0,133	0,313	75	32
	Wisa 3 ply (9mm)	394	230	60	0,85	3,00	9	11	3	0,116	0,365	78	25
	vaneri	700	220	90	0,89	2,00	10	11	5	0,121	0,243	83	41
	vaneri	1000	250	110	0,79	1,64	10	13	6	0,106	0,199	94	50
	sementtilastulevy	1200	50	30	3,93	6,01	10	3	2	0,532	0,729	19	14



	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$		$\delta_p$		d paksuus mm	$Z_p=d/\delta_p$		$\delta_v$		$Z_v$	
		kuiva	märkä	kuiva	märkä		kuiva	märkä	kuiva	märkä	kuiva	märkä
				+20°C	-10°C		+20°C	-10°C	+20°C	-10°C	+20°C	-10°C
				10 <sup>-12</sup> kg/msPa			10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m	
lastulevy	300	50	10	3,93	18,02	10	3	1	0,532	2,188	19	5
Wilhelmi (12mm)	592	38	42	5,17	4,29	12	2	3	0,700	0,521	17	23
lastulevy	600	50	15	3,93	12,01	10	3	1	0,532	1,458	19	7
Wilhelmi V313 (12mm)	723	140		1,40		12	9		0,190		63	
OSB	650	50	30	3,93	6,01	10	3	2	0,532	0,729	19	14
Eltete OSB 3 (12mm)	646	158	100	1,24	1,80	12	10	7	0,168	0,219	71	55
Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	250	5	3	39,33	60,06	10	0,3	0,2	5,32	7,29	1,9	1,4
Huokoleijona (12mm)	234	4,8		40,97		12	0,3		5,54		2,2	
Tuulileijona (12mm)	270	5,6	6,4	35,11	28,15	12	0,3	0,4	4,75	3,42	2,5	3,5
Runkoleijona (25mm)	280	4,6	5,5	42,75	32,76	25	0,6	0,8	5,78	3,98	4,3	6,3
Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	400	10	5	19,66	36,03	10	1	0	2,66	4,38	3,8	2,3
Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	600	20	12	9,83	15,01	10	1	1	1,33	1,82	7,5	5,5
Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	800	30	20	6,55	9,01	10	2	1	0,89	1,09	11,3	9,1
Rakentajan kovalevy (4,8mm)	1140	80	100	2,46	1,80	4,8	2,0	2,7	0,33	0,22	14	22
eristeet												
Isover RKL (30mm)	73	1,42	1,53	138,47	117,76	30	0,22	0,25	18,73	14,30	1,6	2,1
Isover RKL-EJ (25mm)	104	1,8	1,9	109,24	94,83	25	0,23	0,26	14,78	11,51	1,7	2,2

	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ kuiva	$\mu$ märkä	$\delta_p$ kuiva +20°C	$\delta_p$ märkä -10°C	d paksuus s mm	$Z_p=d/\delta_p$		$\delta_v$ kuiva +20°C	$\delta_v$ märkä -10°C	$Z_v$		
							kuiva +20°C	märkä -10°C			kuiva +20°C	märkä -10°C	kuiva +20°C
				10 <sup>-12</sup> kg/msPa		10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m			
Runkolevy TSL (30mm)	92	1,45	1,6	135,61	112,61	30	0,22	0,27	18,34	13,67	1,6	2,2	
Isorunkolevy IRL (30mm)	120	1,65	1,77	119,17	101,79	30	0,25	0,29	16,12	12,36	1,9	2,4	
Vital-levy (25mm)	63	2,05	2,2	95,92	81,89	25	0,26	0,31	12,97	9,94	1,9	2,5	
Isover KL-C (50mm)	22	1,2	1,38	163,86	130,56	50	0,31	0,38	22,16	15,85	2,3	3,2	
Isolevy IL (50mm)	37	1,2	1,42	163,86	126,88	50	0,31	0,39	22,16	15,41	2,3	3,2	
Vital (50mm)	51	1,35	1,55	145,65	116,24	50	0,34	0,43	19,70	14,11	2,5	3,5	
Ekovilla (50mm)	37	1,3	1,55	151,26	116,24	50	0,33	0,43	20,46	14,11	2,4	3,5	
Ekovilla (50mm)	60	1,6		122,90		50	0,41		16,62		3,0		
Pellavaeriste T3 (50mm)	39	1,35	1,5	145,65	120,11	50	0,34	0,42	19,70	14,58	2,5	3,4	
Sahanpuru (50mm)	168	2,1	2,8	93,63	64,35	50	0,53	0,78	12,66	7,81	3,9	6,4	
Kutterinlastu (50mm)	130	2,45	3,05	80,26	59,07	50	0,62	0,85	10,86	7,17	4,6	7,0	
kalvot	Paavo-												
	tuulensuojalaminaatti							0,44	0,63			3,2	4,9
	Tyvek Soft-							0,18	0,05			1,3	0,4
	diffuusiokalvo												
Elwitek 4440													
tuulensuojalaminaatti							1,00	0,95			8,0	7,8	
Elwitek 5550													
tuulensuojalaminaatti							1,40	1,15			10,0	9,2	

	$\rho$	$\mu$	$\mu$	$\delta_p$	$\delta_p$	d	$Z_p=d/\delta_p$		$\delta_v$	$\delta_v$	$Z_v$	
							kuiva +20°C	märkä -10°C			kuiva +20°C	märkä -10°C
	kg/m <sup>3</sup>	kuiva	märkä	kuiva	märkä	s	10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		kuiva	märkä	10 <sup>3</sup> s/m	
				+20°C	-10°C	mm			+20°C	-10°C		
				10 <sup>-12</sup> kg/msPa					10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s			
Paavo-bitumivuorauspaperi							0,70	0,25			5,0	2,0
Paavo-bitumivuorauskreppi							0,75	0,10			5,6	1,0
Paavo-bitumivuorauspuu							2,10				15,5	
Bitupap 125-bitumivuorauspaperi							0,60	0,40			4,5	3,0
Bitupap 125-bitumivuorauskreppi							0,75	0,65			5,6	5,0
Paavo-muovitiivistyspaperi							50,0				360	
Vahattu voimapaperi							3,30				24,0	
UG-voima							19,00				142	
PE-PAP 125-muovitiivistyspaperi							1,45	0,40			10,8	3,8
Bitumipaperi							180				1300	
Höyrynsulkumuovi							0,115	0,08			0,84	0,6
Ruskea rakennuspaperi							2,20				16,0	
Elt-Kraft VCL							6,10				45,0	
Eko-Paavo												

Paavo-bitumivuorauspaperi

Paavo-bitumivuorauskreppi

Paavo-bitumivuorauspuu

Bitupap 125-bitumivuorauspaperi

Bitupap 125-bitumivuorauskreppi

Paavo-muovitiivistyspaperi

Vahattu voimapaperi

UG-voima

PE-PAP 125-muovitiivistyspaperi

Bitumipaperi

Höyrynsulkumuovi

Ruskea rakennuspaperi

Elt-Kraft VCL

Eko-Paavo

$\rho$	$\mu$	$\mu$	$\delta_p$	$\delta_p$	$d$	$Z_p = d / \delta_p$		$\delta_v$	$\delta_v$	$Z_v$	
kg/m <sup>3</sup>	kuiva	märkä	kuiva	märkä	paksuus s mm	kuiva	märkä	kuiva	märkä	kuiva	märkä
			+20°C	-10°C		+20°C	-10°C	+20°C	-10°C	+20°C	-10°C
			10 <sup>-12</sup> kg/msPa			0 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> sPa/kg		10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s		10 <sup>3</sup> s/m	