



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# MASSIIVISTEN PAIKALLA VALETTUJEN BETONIRAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTA

TEKIJÄ:

Jesse Väänänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Jesse Väänänen	
Työn nimi Massiivisten paikallavalettujen betonirakenteiden kosteudenhallinta	
Päiväys 2.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 62/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sweco Rakennetekniikka Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä massiivisten paikallavalettujen betonirakenteiden kosteudenhallintaan ja laatia tilaajayrityksen Sweco Rakennetekniikka Oy:n käyttöön ohjekortti, joka käsittelee väestönsuojan kattorakenteiden kosteudenhallintaa. Aihe rajattiin koskemaan erityisesti väestönsuojan kattorakenteita, koska ne ovat kosteusteknisesti haastavia rakenteita ja ohjeistuksen kehittäminen niiden kosteudenhallintaan koettiin näin ollen tarpeelliseksi.</p> <p>Opinnäytetyö jakautui kolmeen vaiheeseen, joita olivat tietoperustan rakentaminen, laskennalliset tarkastelut ja ohjekortin laatiminen. Työ aloitettiin perehtymällä aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja laadittiin tämän pohjalta tietoperusta. Tietoperustassa käsiteltiin massiivisia betonirakenteita, betonirakenteen kuivumista sekä väestönsuojan kattorakenteita ja niiden kosteudenhallinnan menetelmiä. Laskennallisissa tarkasteluissa tehtiin kolme eri tarkastelua, joissa arvioitiin runkolaatan ja pintalaatan kuivumisaikaa sekä täyttökerroksen suhteellista kosteutta. Laskennalliset tarkastelut toteutettiin by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio-ohjelmalla. Tietoperusta, laskennalliset tarkastelut ja tilaajayrityksen aiheeseen liittyvät raportit toimivat pohjana ohjekortin laatimiseen, joka toteutettiin työn viimeisenä vaiheena. Ohjekortissa käsiteltiin kosteudenhallinnan periaatteet ja vertailtiin eri kosteudenhallinnan menetelmiä.</p> <p>Työn tuloksena saatiin laadittua tilaajayrityksen suunnittelijoiden käyttöön ohjekortti, joka käsittelee väestönsuojan kattorakenteiden kosteudenhallintaa. Työn laskennallisista tarkasteluista saatiin hyödyllistä tietoa väestönsuojan kattorakenteen toteuttamiseen kuluva ajasta menetelmässä, jossa odotetaan betonivalujen riittävää kuivumista. Työn tuloksena saatua ohjekorttia pystytään hyödyntämään apuvälineenä kosteudenhallinnan huomioimisessa suunnitteluvaiheessa.</p>	
Avainsanat betonirakenne, kosteudenhallinta, väestönsuojan kattorakenne, kuivumisaika	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering	
Author(s) Jesse Väänänen	
Title of Thesis Moisture Control of Massive Cast-in-situ Concrete Structures	
Date 2 May 2021	Pages/Appendices 62/1
Client Organisation /Partners Sweco Rakennetekniikka Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this final project was to survey moisture control of massive cast-in-situ concrete structures and to draw up an instruction card which deals with the moisture control of air raid shelter's roof structures. The work was commissioned by Sweco Rakennetekniikka Oy. The subject was defined to involve especially the roof structures of air raid shelters because they are moisture technically challenging structures and therefore the development of the instructions for their moisture control was found necessary.</p> <p>The project was carried out in three phases which were creating an information base, computational reviews and drawing up the instruction card. The project was started by getting acquainted with the literature on the subject and then the information base was created based on this. The information base dealt with massive concrete structures, drying of a concrete structure along with the roof structures of air raid shelters and the moisture control methods used in them. In the computational reviews three different reviews were carried out where the drying time of frame slab and surface slab along with relative humidity of filling layer were estimated. The computational reviews were done by using the by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio software. The information base, computational reviews and related reports of the client organisation serve as a basis for drawing up the instruction card which was done as the final phase of the project. The instruction card dealt with the principles of moisture control and comparison of different moisture control methods.</p> <p>As a result of the thesis, the instruction card for the moisture control of the roof structures of air raid shelters was drawn up to be used by the designers of the client organisation. The computational reviews provided useful information about the time required for building a roof structure in an air raid shelter by using a method which allows the concrete dry sufficiently. The instruction card created in the project can be used when taking moisture control into account at the design phase.</p>	
<p><b>Keywords</b> concrete structure, moisture control, roof structure of air raid shelter, drying time</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	MASSIIVINEN BETONIRAKENNE .....	7
2.1	Rakenteen paksuuden vaikutus lämpötilaeroon .....	7
2.2	Sideaineen vaikutus lämmöntuottoon .....	8
2.3	Betonoinnin vaatimukset .....	10
2.4	Käyttökohteet .....	11
3	BETONIRAKENTEEN KUIVUMINEN .....	12
3.1	Sitoutumiskuivuminen .....	12
3.2	Haihtumiskuivuminen .....	13
3.3	Kuivumiseen vaikuttavat tekijät.....	14
3.3.1	Rakeneratkaisu .....	15
3.3.2	Betonilaatu .....	15
3.3.3	Kuivumisolosuhteet .....	16
3.3.4	Betonipinnan hionta ja siisteys .....	17
4	VÄESTÖNSUOJAN KATTORAKENNETYYPIT JA NIIDEN TOTEUTUSTAVAT .....	19
4.1	Leca-kevytsorakerros .....	19
4.2	Vaahtolasikerros .....	21
4.3	EPS-eristekerros .....	22
4.4	Sepelikerros.....	24
4.5	Kuivumisen tehostaminen.....	25
4.5.1	Rakenteen lämmitys.....	25
4.5.2	Kosteudenkeruukanavisto .....	27
5	VÄESTONSUOJAN PÄÄLLE ASENNETTAVAT RAKENTEET .....	30
5.1	Betonialustaan liimattavat päällysteet.....	30
5.1.1	Muovi-, kumi-, linoleum- ja tekstiilipäällysteet .....	30
5.1.2	Alustaan liimattavat lautaparketit .....	32
5.1.3	Sauva- ja mosaiikkiparketit .....	33
5.1.4	Matto- ja parkettiliimat .....	34
5.2	Kelluvat päällysteet.....	36
5.2.1	Kelluvat lautaparketit.....	36
5.2.2	Laminaattilattiat .....	38

5.3	Keraamiset laatat.....	39
5.4	Pinnoitteet.....	41
5.5	Kosteudesta aiheutuvat päällyste- ja pinnoitevauriot .....	42
5.5.1	Kriittinen kosteuspitoisuus .....	42
5.5.2	Mikrobivaurioituminen .....	43
5.5.3	Betonin ja päällystemateriaalin muodonmuutokset .....	44
5.5.4	Sisäilmaan emittoituvat kemialliset yhdisteet.....	44
5.5.5	Päällysteen tai pinnoitteen irtoaminen ja kupruilu.....	45
6	KOSTEUDENHALLINNAN KEINOT SUUNNITTELUVAIHEESSA .....	47
6.1	Täyttökerroksen tuuletus.....	47
6.2	Höyrinsulku .....	47
6.3	Runkolaatan riittävän kuivumisen odottaminen .....	47
6.3.1	Kuivumisen arviointi .....	48
6.3.2	By 2020 Betonin kuivumisaika-arvio -ohjelma .....	49
7	LASKENNALLISET TARKASTELUT .....	51
7.1	Runkolaatan kuivumisajan arviointi eri vesi-sementtisuhteilla .....	51
7.2	Täyttökerroksen suhteellisen kosteuden arviointi .....	53
7.3	Pintalaatan kuivumisajan arviointi eri kuivumisolosuhteissa.....	56
8	POHDINTA.....	58
	LÄHTEET .....	59
	LIITE 1: OHJEKORTTI VÄESTÖNSUOJAN KATTORAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTAAN.....	62

## 1 JOHDANTO

Liiallinen kosteuspitoisuus aiheuttaa merkittävän osan rakennuksissa havaituista vaurioista. Betoni sisältää valuvaiheessa suuren määrän ylimääräistä kosteutta eli niin sanottua rakennekosteutta, jonka tulee poistua rakenteesta riittävän nopeasti. Jos betonirakenteen ei anneta kuivua riittävästi ennen päällystämistä, seurauksena voi olla päällystemateriaalin vahingoittuminen ja jopa terveydelle haitallisten aineiden emittoituminen sisäilmaan. (Lumme & Merikallio 1997, 5.) Rakennepaksuudella on merkittävä vaikutus betonirakenteen kuivumisaikaan, joten massiivisten betonirakenteiden kosteudenhallintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Massiiviset betonirakenteet usein vaativatkin erityistoimenpiteitä mahdollistaakseen rakenteen päällystämisen nykyisten kireiden rakentamisaikataulujen puitteissa ja varmistaakseen rakenteen ja siihen liittyvien rakennekerrosten rakennusfysikaalisen toimivuuden ja turvallisuuden.

Tämän opinnäytetyön aihe sai alkunsa tilaajayrityksen Sweco Rakennetekniikka Oy:n tarpeesta tutkia massiivisten paikallavalettujen betonirakenteiden kosteudenhallintaa osana sen kehittämistyötä. Tilaajayrityksessä on tehty aiheeseen liittyviä tarkasteluja asiakasprojekteissa, joiden tuloksia hyödynnetään opinnäytetyössä.

Opinnäytetyössä tarkastellaan erityisesti väestönsuojan kattorakenteita, joissa käytetään kantavana rakenteena massiivista teräsbetoni-laattaa. Väestönsuojan kattorakenteet ovat kosteusteknisestä näkökulmasta haastavia rakenteita ja niitä on aikojen saatossa jouduttu korjaamaan kosteusvaurioiden ja homekasvustojen takia.

Työ toteutetaan luomalla tietoperusta aiheesta ja tekemällä laskennallisia tarkasteluja by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio -ohjelmalla. Näiden menetelmien sekä tilaajayrityksen aiheeseen liittyvien raporttien pohjalta tuotetaan työn tuloksena saatava ohjekortti väestönsuojan kattorakenteiden kosteudenhallintaan. Työn teoriaosassa perehdytään massiivisiin betonirakenteisiin, betonirakenteen kuivumiseen sekä väestönsuojan kattorakenteisiin ja niiden kosteudenhallinnan menetelmiin. Laskennallisissa tarkasteluissa arvioidaan väestönsuojan katon runkolaatan kuivumista eri vesi-sementtisuhteilla, täyttökerroksen suhteellista kosteutta ja pintalaatan kuivumista eri kuivumisolosuhteissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia tilaajayrityksen suunnittelijoiden käyttöön ohjekortti, joka käsittelee väestönsuojan kattorakenteiden kosteudenhallintaa. Ohjekortissa kuvataan kosteudenhallinnan periaatteet ja vertaillaan eri kosteudenhallintamenetelmiä. Ohjekortin on tarkoitus toimia apuvälineenä yrityksen suunnittelijoille kosteudenhallinnan huomioimisessa suunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Sweco Rakennetekniikka Oy, joka on rakennesuunnittelun selkeä markkinajohtaja Suomessa ja työllistää maanlaajuisesti yli 800 rakennesuunnittelijaa. Yritys on osa Sweco-konsernia, joka työllistää yhteensä 17 500 asiantuntijaa ja tarjoaa laadukkaita suunnittelu- ja konsultointipalveluja kaiken kokoisiin hankkeisiin.

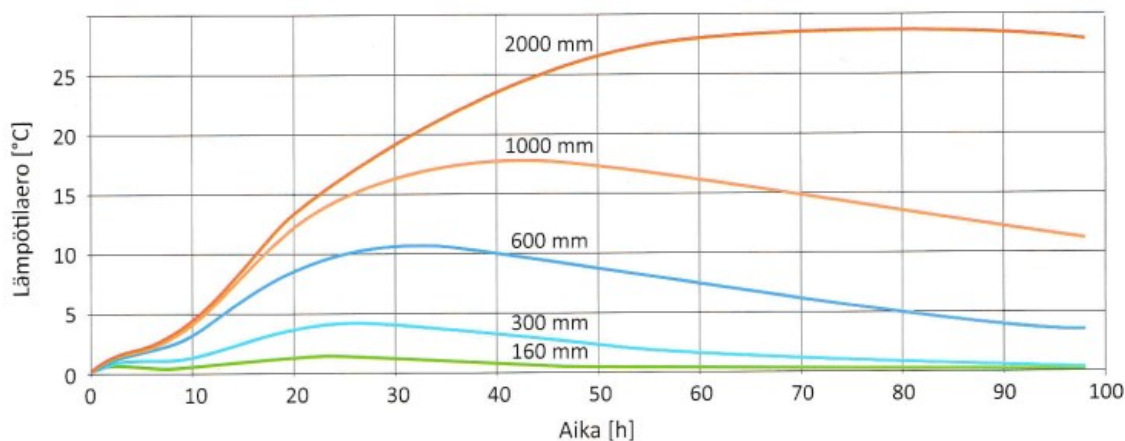
## 2 MASSIIVINEN BETONIRAKENNE

Massiivisesta betonirakenteesta puhutaan silloin, kun rakenne on mitoiltaan niin suuri, että joudutaan ryhtymään erityistoimenpiteisiin betonin hydrataatiolämmön aiheuttamista lämpömuodonmuutoksista syntyvän halkeiluvaaran tai korkeasta kovettumislämpötilasta aiheutuvan lujuuskadon rajoittamiseksi. Massiivisen ja tavanomaisen betonirakenteen välille ei voida määrittää täysin tarkkoja mittojen raja-arvoja, vaan rakenteen massiivisuus on tarkasteltava kussakin tapauksessa erikseen, koska syntyviin lämpötilakenttiin vaikuttavat rakenteen mittojen lisäksi myös useat muut tekijät. Käytännön ohjeena voidaan kuitenkin pitää, että jos betonirakenteen pienin sivumitta on vähintään 1000 mm, tulee rakennetta tarkastella massiivisena betonirakenteena. Kuitenkin sivumitaltaan tätäkin huomattavasti pienemmissä rakenteissa lämpötilaerot, maksimilämpötilat ja lämpötilanmuutokset voivat nousta kriittisen korkeaksi, jos betonissa on lujuus- ja säilyvyysominaisuuksien takia käytetty suurta sideainemäärää. (RIL 149-1995. Betonityöohjeet 1995, 85.)

Massiivisten betonirakenteiden suunnittelussa betonin lujuus ei ole yleensä ensisijainen huolenaihe, vaan suunnittelu perustuu tavallisesti rakenteen lämpövaikutukseen, säilyvyyteen ja taloudellisuuteen. Näiden lisäksi kosteudenhallinta vaatii usein erityishuomiota massiivisten betonirakenteiden suunnittelussa. Suurin erottava ominaisuus massiivisen ja tavanomaisen betonirakenteen välillä on niiden lämpökäyttäytyminen. Massiivisissa betonirakenteissa täytyy kiinnittää erityistä huomiota betonimassan koostumukseen, betonivaluun ja jälkihoitoon, jotta betonin korkean lämpötilan aiheuttama lujuuskatoa tai lämpötilan muutoksista ja lämpötilaeroista aiheutuvaa halkeilua ei pääse tapahtumaan. (ACI 207.1R-05. Guide to Mass Concrete 2005, 2; Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 376-377.)

### 2.1 Rakenteen paksuuden vaikutus lämpötilaeroon

Sekoitettaessa sementti veteen saadaan aikaan hydrataatioreaktio, joka aiheuttaa seoksen kovettumisen yhtenäiseksi sementtiliimaksi. Tämä reaktio vapauttaa lämpöä ja nostaa siten betonirakenteen lämpötilaa. Normaaleissa betonirakenteissa hydrataatiosta aiheutunut lämpö pääsee poistumaan helposti johtamalla rakenteen keskiosasta rakenteen pinnalle ja siitä muotin kautta ulkoilmaan. Massiivisten rakenteiden kohdalla rakennepaksuus kasvaa merkittävästi, mikä puolestaan hidastaa lämmön siirtymistä aiheuttaen lämpötilaeron rakenteen pinnan ja keskiosan välille. Mitä suurempi rakennepaksuus on kyseessä, sitä suuremmaksi rakenteen pinnan ja keskiosan välinen lämpötilaero muodostuu. Yleisesti lämpötilaeron rajana voidaan pitää 20 °C, jonka ylittyessä rakenteeseen aiheutuu halkeilua. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 377.) Kuvassa 1 on havainnollistettu eri rakennepaksuuksien aiheuttamia lämpötilaeroja rakenteen keski- ja pintaosan välille, kun ulkoilman lämpötilan on 10 °C.

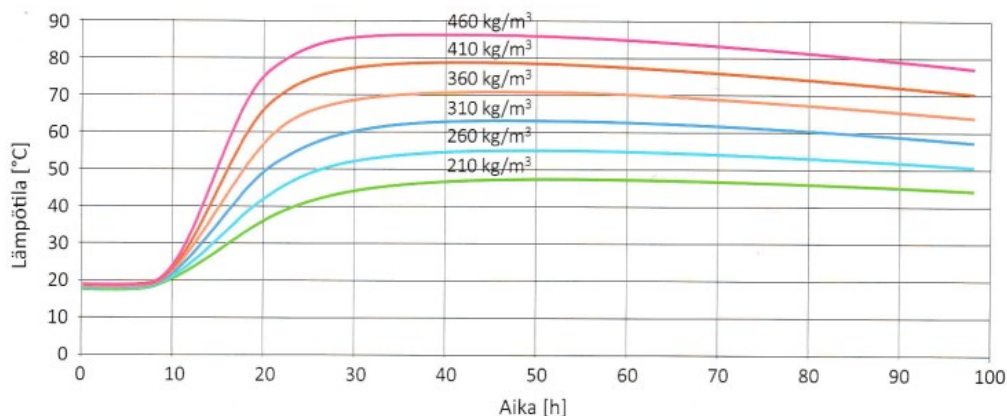


KUVA 1. Rakennepaksuuden vaikutus keski- ja pintaosan väliseen lämpötilaeroon (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 377)

Suuren lämpötilaeron ongelmana ovat siitä aiheutuvat vetojännitykset rakenteen pintaosiin. Vetojännitysten ylittäessä betonin vetolujuuden tapahtuu rakenteessa halkeilua. Pintaosiin syntyy vetojännityksiä jäähtymisestä aiheutuvan kutistumisen seurauksena, kun betonin muodonmuutos estyy rakenteen sisemmän osan korkeamman lämpötilan takia. Lämpötilaeroista aiheutuvat halkeamat muodostuvat suunnilleen vajaan vuorokauden tai viimeistään kolmen vuorokauden kuluttua betonin valusta. Ne ovat tavallisesti muutamasta millimetristä muutamaan senttimetriin syviä verkkomaisia pintahalkeamia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 105.) Halkeamat ovat betonille ongelmallisia, koska ne kasvattavat betonin läpäisevyyttä, joka aiheuttaa betonin säilyvyysominaisuuksien heikentymisen. Läpäisevyyden kasvaminen mahdollistaa haitallisten aineiden kulkeutumisen vaivattomasti betoniin ja aiheuttaa betonin raudoitusta fysikaalisesti ja kemiallisesti suojaavan vaikutuksen vähenemisen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 102.)

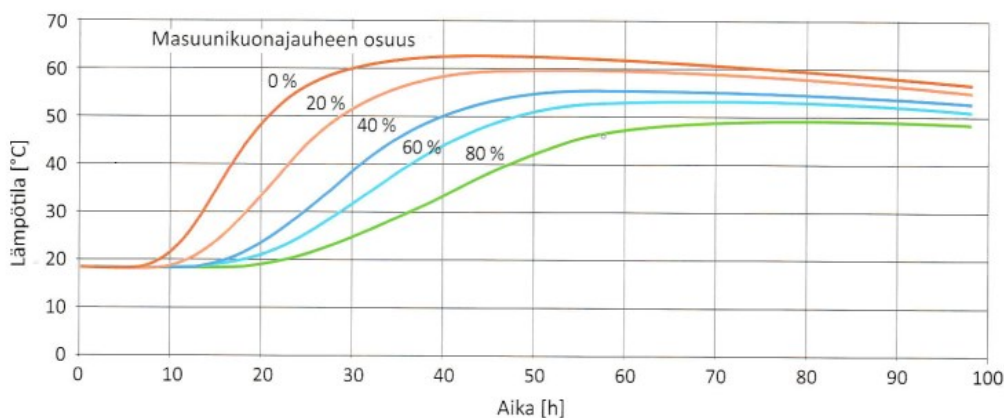
## 2.2 Sideaineen vaikutus lämmöntuottoon

Sementin reagoiessa veden kanssa betonin lujuus kasvaa ja hydrataatiolämpöä vapautuu. Lujuuden kasvun ja lämpömäärän nousun nopeus on riippuvainen reaktion etenemisnopeudesta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2005, 546.) Reaktion etenemisnopeuteen ja sen myötä myös lämmöntuottoon eniten vaikuttava tekijä on sementtimäärä, minkä takia sitä kannattaa aina pyrkiä minimoimaan massiivisissa betonirakenteissa. Lämmöntuottoon vaikuttavat lisäksi sementtityyppi sekä sementin kemiallinen koostumus ja hienous. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 377-378.) Kuvassa 2 on esitetty eri sementtimäärien vaikutusta 2000 mm paksun seinämäisen rakenteen keskiosan lämpötilaan valun jälkeen, kun ulkoilman lämpötila on 10 °C.



KUVA 2. Sementtimäärän vaikutus lämmöntuottoon (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 378)

Sementtimäärän ohella lämmöntuottoa pystytään vähentämään karkealla sementillä sekä masuunikuonajauheella tai lentotuhkalla. Masuunikuonajauheella voidaan korvata osa sementistä, koska sen reaktiolämpö on merkittävästi pienempi sementtiin nähden. Sen avulla pystytään pienentämään betonirakenteen maksimilämpötilaa ja lämpötilaeroja huomattavasti. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 378.) Kuvassa 3 on esitetty 2000 mm paksun seinämäisen rakenteen keskiosan lämpötiloja valun jälkeen, kun nopeasti kovettuvaa sementtiä on korvattu eri osuuksilla masuunikuonajauhetta ja ulkoilman lämpötila on 10 °C.



KUVA 3. Masuunikuonajauheen osuuden vaikutus lämmöntuottoon (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 378)

Sementtityypin osalta alhaisimpiin lämmöntuottoihin päästään suomalaisista sementeistä Plus-sementillä ja SR-sementillä. Massiivisiin rakenteisiin eivät sovellu nopeasti kovettuvat sementit kuten Pika-sementti. Lisäksi Rapid-sementtiä käytettäessä on noudatettava erityistä varovaisuutta sen korkeamman lämmöntuoton takia tavallisiin sementteihin nähden. Sementtityypin valintaan vaikuttavat aina olennaisesti myös rakenteen rasitusluokat ja säilyvyysvaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 379.)

Sementtiklinkkerien sisältämät  $C_3A$ - ja  $C_3S$ -komponentit ovat pääosassa betonin alkuvaiheen lämmöntuotossa. Tämän takia klinkkerimäärän minimoinnilla voidaan alentaa maksimilämpötilaa. Klinkkerimäärän minimointi onnistuu välttämällä alhaista vesi-sementtisuhdetta ja korkeita lujuusluokkia, käyttämällä seossementtejä sekä käyttämällä seosaineita kuten masuunikuonajauhetta tai lentotuhkaa sideaineena. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 379.)

Muita keinoja alhaisemman lämmöntuoton saavuttamiseen ovat sementin määrän alentaminen lisäaineilla ja käyttämällä mahdollisimman suurta raekokoa sekä jäykkää betonimassaa huomioiden samalla, että betoni pystytään kuitenkin valamaan ja tiivistämään valituilla työmenetelmillä. Lisäksi varsinkin lämpiminä vuodenaikoina lämmön nousua pystytään rajoittamaan käyttämällä seosvetenä mahdollisimman kylmää vettä ja jäähdyttämällä betoniin tulevia kiviaineksia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 379.)

Varjopuolena betonin alhaisen lämmöntuoton tavoittelussa on tavallisesti hitaampi lujuudenkehitys betonin varhaisvaiheessa. Lämmöntuoton haasteita pystytään kuitenkin ratkaisemaan käyttämällä betonin arvosteluikäinä 91:tä vuorokautta, kun se tavallisesti paikallavalettavilla rakenteilla on 28 vuorokautta. Tällä tavalla pystytään paremmin hyödyntämään seosaineiden alhaisempaa lämmöntuottoa eikä hitaammasta lujuudenkehityksestä ole haittaa arvosteluikänsä ollessa huomattavasti pidempi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 379.) Hitaammin lujittuva betonimassa kuitenkin kuivuu myös hitaammin, mikä on haitallinen asia kosteudenhallinnan näkökulmasta.

### 2.3 Betonoinnin vaatimukset

Massiivisten rakenteiden betonointia varten tulee aina tehdä huolelliset ennakkosuunnitelmat ja betonointityön johtamiseen vaaditaan vähintään vaativan luokan betonityönjohtaja, joka tekee ennen valua yksityiskohtaisen betonointisuunnitelman. Ennakkosuunnitelmiin kuuluvat lämmön- ja lujuudenkehityslaskelmat, jotka tulee tehdä erikseen kullekin geometrialtaan ja mitoiltaan toisistaan poikkeavalle rakenteelle, koska raaka-ainekoostumuksen ohella rakenteen tilavuuden ja pinta-alan suhteella on vaikutus lämmönkehitykseen. Näiden laskelmien perusteella suunnitellaan tarpeelliset suojaus- ja jäähdytystoimenpiteet sekä lämmönmittauspisteet. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 379.)

Lämmönmittauspisteiden sijoittamisessa olennaista on, että rakenneosasta saadaan mitattua kuumiin ja kylmiin kohti. Täten vähintäänkin yksi mittauspisteistä tulee sijoittaa kauimmaiseen nurkkaan tai reunaan rakenteen kuumimpaan osaan nähden. Lisäksi eri liittyvien rakenneosien väliset lämpötilaerot tulee saada mitattua sekä huomiota tulee kiinnittää varsinkin niihin osiin rakenteesta, joista lämpö pystyy siirtymään kolmeen eri suuntaan normaalin kahden suunnan sijaan. Massiivisten rakenteiden valuissa lämmönmittauspisteitä on tavallisesti tarpeen sijoittaa useita huomioiden rakenteiden geometria, valutilavuudet sekä liittyvät rakenneosat tai valupohjat. (Paukku 2016, 97.)

Massiivisen rakenteen valun jälkeen lämmönkehitystä on seurattava tiiviisti. Ensimmäisen 48 tunnin aikana seuranta tulisi suorittaa vähintään tunnin välein, minkä jälkeen noin 3-4 tunnin välein aina 7 vuorokauden ikään saakka. Halkeiluriskin takia betonin kovettumisen aikainen lämpötilaero saisi olla enintään 20 °C ja kriittisissä rakenteissa sen tulisi pysyä alle 15 °C:ssa. Puolestaan lämmön nousu kovettumisen aikana saisi olla enintään 25 °C. Mikäli rakenteessa ei voida käyttää sellaista betonin koostumusta, jolla lämpötilaero pysyisi näissä rajoissa, voidaan ongelma ratkaista eristämällä betoni

tai asentamalla betonin sisään jäädytysputket. Jos rakenne eristetään täysin, lämpötilaero jää nol- laan, mutta keskiosan maksimilämpötila nousee hieman korkeammaksi. Maksimilämpötilan nousulla syvällä betonissa ei kuitenkaan ole merkittävää vaikutusta. Eristeet on annettava olla paikoillaan niin kauan, että rakenteen kuumimman sisäosan ja kylmimmän ulko-osan välinen lämpötilaero on 10 °C. Poistettaessa eristeet liian aikaisessa vaiheessa rakenteen pinta jäähtyy nopeasti, jolloin lämpötila- erot voivat kasvaa jopa eristämätöntä tilannetta suuremmiksi. (Paukku 2016, 97; Suomen Betoniyh- distys ry 2018, 380.)

Massiivisia rakenteita ei pystytä tavallisesti valamaan yhtenä valukerroksena suurien rakennepak- suuksien takia. Valukerroksen enimmäispaksuutena massiivisissa rakenteissa pidetään yleisesti 300 millimetriä, koska valukerroksen paksuuden kasvaminen heikentää muun muassa jälkitiivistyksen tehokkuutta. Jälkitiivistämisen onnistumiseen vaikuttavat myös sääolosuhteet sekä betonimassan notkeus ja kiviaineksen koko. (Paukku 2016, 97.)

Massiivisissa rakenteissa jälkihoitoaika on merkittävästi pidempi normaaleihin betonirakenteisiin ver- rattuna. Rakenteen lämmönkehitys ja sen tasoittuminen, sallittu lämpötilaero ja sallitut jäähtymisno- peudet huomioon ottaen valumuottien purkaminen ei ole mahdollista vielä betoninormien määritte- lemien vähimmäisjälkihoitoaikojen jälkeen. Betoninormien vähimmäisjälkihoitoajat on määritelty lu- juudenkehitystason ja ympäristön lämpötilan pohjalta. Esimerkiksi C35/45-lujuusluokan betonin vä- himmäishoitoaika 70 % nimellislajuuden saavuttamiseksi 20 °C:n lämpötilassa on ainoastaan 6,5 vuorokautta. Massiivisten rakenteiden osalta sen sijaan on ohjeistettu, että jälkihoidon vähimmäis- kestoajan tulisi aina olla 14 vuorokautta. Lisäksi jälkihoidon aikana tulee säännöllisin väliajoin löysätä valumuotteja ja kostuttaa myös muottipintojen alle jääviä betonipintoja vesisumutuksella. (Paukku 2016, 97-98.)

## 2.4 Käyttökohteet

Paikallavalurakentaminen on väistynyt hyvin vahvasti elementtirakentamisen tieltä, mutta massiiviset betonirakenteet valetaan edelleenkin työmailla niiden suuren painon ja koon takia. Massiivisten ra- kenteiden tekoa elementtitehtailla estää tehtaiden kapasiteetin riittämättömyys ja kuljetusten haas- tavuus. Myöskään massiivisen betonirakenteen kasaaminen osista ei nykytietämyksen mukaan ole mahdollista saumojen lisääntymisestä aiheutuvien haasteiden takia. (Lahtinen 2017, 6-7.)

Massiivisten betonirakenteiden yleisiä käyttökohteita ovat teollisuusrakennukset, joiden raskaat ko- neet ja laitteet vaativat suuren kuormituksensa takia massiivisia ja yhtenäisiä perustuksia. Eri voima- laitokset kuten sähkövoimalat, tuulivoimalat ja ydinvoimalat tarvitsevat suuria määriä massiivisia be- tonirakenteita ja ovat täten yksi merkittävimmistä käyttökohteista. (Lahtinen 2017, 7.) Betonin läm- pötilaan liittyvä halkeilu tunnistettiin alun perin patorakentamisessa, jossa massiivisia betoniraken- teita on käytetty jo hyvin pitkän aikaa. Näiden lisäksi massiivisia betonirakenteita käytetään muun muassa silta- ja tunnelirakenteisiin, korkeiden rakennusten perustuksiin sekä paaluanturoihin. (ACI 207.1R-05. Guide to Mass Concrete 2005, 2; Zhu 2014, 19.) Myös erilaisten paksujen laattarakentei- den kuten kuormien siirtoon käytettävien siirtolaattojen ja tässä työssä käsiteltävien väestönsuojan kattorakenteiden kohdalla voidaan puhua massiivisista betonirakenteista.

### 3 BETONIRAKENTEEN KUIVUMINEN

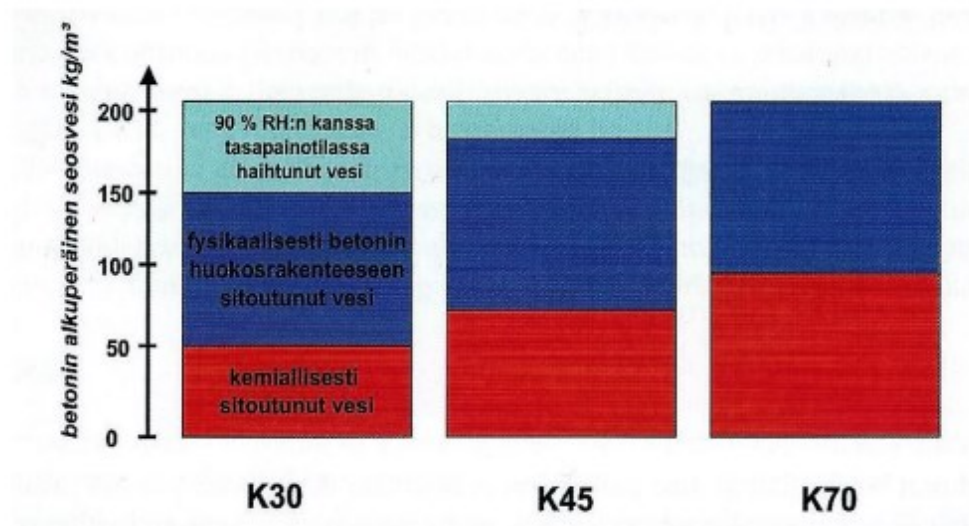
Betoni kuivuu muihin rakennusmateriaaleihin nähden suhteellisen hitaasti ja sillä on usein merkittävä vaikutus rakennuskohteen sisävalmistusvaiheeseen ja sen myötä myös kohteen rakentamisaikatauluun. Betonirakenteen kuivumisen asettamat vaatimukset tulee aina huomioida ajoissa, jotta vältetään rakentamisaikataulun viivästyksiltä ja liian kostean betonin päällystämisestä aiheutuville kosteusvaurioilta. (Merikallio 2015, 32.)

Betonirakenteiden päällystäminen tai pinnoittaminen edellyttää betonirakenteen riittävää kuivumista. Riittävän kuivumisen määrittää eri päällyste- tai pinnoitemateriaalien kuten muovimaton, parketin, laattojen tai maalin materiaalikohtaiset raja-arvot, jotka ilmoitetaan betonin suhteellisena kosteutenä. Päällystettävyyden osalta betonirakenteen ei kuitenkaan tarvitse kuivua koko rakenteen syvyydeltä vaatimuksena olevaan suhteellisen kosteuden arvoon, vaan raja-arvokosteuden tulee alittaa rakenteen paksuudesta riippuvalla arviointisyvyydellä. Betonin kuivuminen tapahtuu kahden erilaisen kuivumisilmiön kautta. Nämä ovat sitoutumiskuivuminen ja haihtumiskuivuminen. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 20.)

#### 3.1 Sitoutumiskuivuminen

Betonin suhteellinen kosteus valuvaiheessa on noin 100 %. Betonin kovettumisreaktiossa eli hydrataatiossa osa betonin valmistukseen käytettävästä seosvedestä sitoutuu kemiallisesti betoniin, jolloin betonissa tapahtuu kuivumista. Tätä kemiallista kuivumista kutsutaan myös sitoutumiskuivumiseksi. Sitoutumiskuivumista alkaa tapahtua muutaman tunnin kuluttua betonimassan sekoittamisesta. Kuivuminen on reaktion alkaessa nopeinta ja se hidastuu ajan myötä. Normaaleilla sementeillä sitoutumiskuivuminen tapahtuu enimmäkseen noin 15 vuorokauden aikana, jonka jälkeen kuivumista tapahtuu enää erittäin hitaasti. (Merikallio 2015, 33.)

Sitoutumiskuivumisen osuus betonin kokonaiskuivumisesta riippuu betonin vesi-sementtisuhteesta. Kun sementin määrä betonissa kasvaa, myös sitoutumiskuivumisen osuudesta tulee suurempi. Tavanomaisilla rakennebetoneilla sitoutumiskuivumisen jälkeen suhteellinen kosteus on noin 98 %, mutta käytettäessä alhaisen vesi-sideainesuhteen omaavia betoneita, voidaan päästä jopa 90 %:n suhteelliseen kosteuteen pelkän sitoutumiskuivumisen seurauksena. Näitä alhaisen vesi-sementtisuhteen omaavia betoneita kutsutaan usein "itsestään kuivuviksi betoneiksi". (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 535.) Kuvassa 4 on havainnollistettu betonin lujuusluokan vaikutusta kemiallisesti sitoutuneen veden osuuteen.



KUVA 4. Seosveden jakautuminen kolmessa eri lujuusluokassa, kun betonin suhteellinen kosteus on 90 % (Merikallio ym. 2007, 14).

### 3.2 Haihtumiskuihuminen

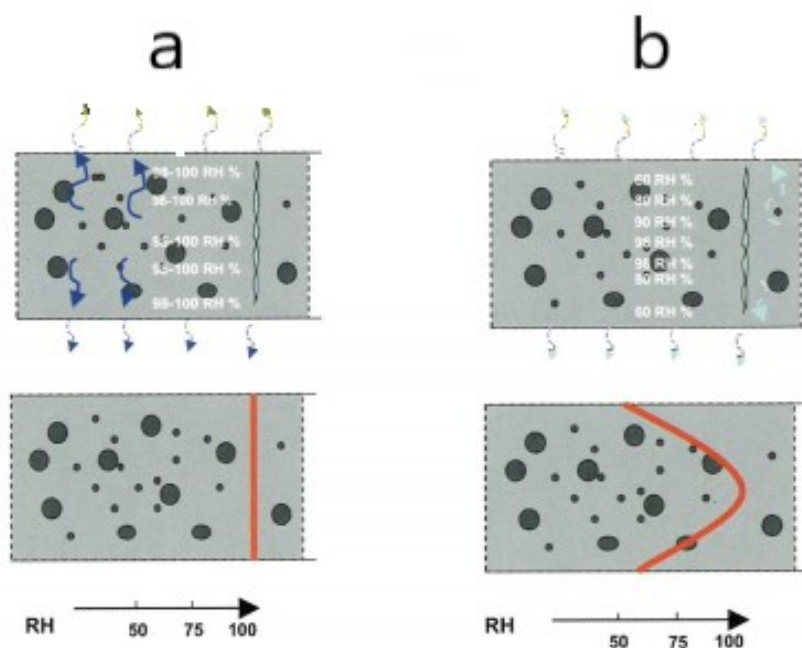
Betonin kovettumisreaktiossa vain osa seosvedestä sitoutuu kemiallisesti, joten betoniin jää vielä paljon haihtumiskykyistä vettä. Haihtumiskuihumisessa tämä jäljelle jäänyt, fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen sitoutunut vesi, liikkuu rakenteen sisältä kohti pintaa, mistä vesi poistuu haihtamalla ympäristöön ilman suhteellisen kosteuden ollessa betonia alhaisempi. Haihtumiskuihumista tapahtuu niin kauan, kunnes betonirakenne on saavuttanut hygroskooppisen tasapainon ympäröivän ilman kanssa eli kunnes betonin huokosten tilan ja rakennetta ympäröivän ilman välillä ei ole enää kosteuspuutoseroa. (Merikallio 2015, 33; Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 535-536.)

Betonirakenteen haihtumiskuihuminen alkaa betonin jälkihoidon jälkeen eli noin 1-2 viikon kuluttua valamisesta. Haihtumiskuihuminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa betonin suhteellinen kosteus on koko rakenteen läpi yli 97 %, jolloin kosteus siirtyy kapillaarisen imun ja diffuusion yhteisvaikutuksella kohti rakenteen pintaa, mistä se haihtuu ympäröivään ilmaan. Kosteuden siirtyminen kapillaarisesti edellyttää sitä, että betonissa on yhtenäinen vedellä täytetty huokosverkosto. Alkuvaiheessa kosteutta haihtuu nopeasti ja kuivumisnopeus on riippuvainen pääasiassa haihtumismahdollisuuksista. (Merikallio 2015, 33-34; Timlin 2019, 15.)

Haihtumisen seurauksena rakenteen pintaosat kuivuvat kapillaarisen alueen alapuolelle, mikä estää kosteuden siirtymisen kapillaarisesti rakenteen pintaosissa. Toisessa vaiheessa kuivuminen siirtyy syvemmälle rakenteeseen, missä kosteuden siirtyminen tapahtuu ensin rakenteen sisältä kapillaarisesti kapillaarialueen rajalle ja siitä eteenpäin diffuusiolla kohti rakenteen pintaosia. Diffuusio perustuu siihen, että betonirakenteen eri osien välillä vallitsevat vesihöyryn osapaine-erot pyrkivät saavuttamaan tasapainon. Kosteuden siirtymis-suunta on suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempää kohti. Haihtumisen seurauksena rakenteen pintaosien huokosten vesihöyryn osapaine laskee, jolloin vesihöyry siirtyy diffuusion kautta syvemmältä rakenteesta pintaosiin ja haihtuu siitä ympäröivään ilmaan. Kosteuden siirtyminen diffuusion välityksellä on selvästi hitaampaa verrattuna kapillaariseen

siirtymiseen, joten kuivuminen hidastuu koko ajan kapillaarialueen rajan siirtyessä syvemmälle rakenteeseen. Kuivumista hidastaa lisäksi hydrataatioreaktion eteneminen, jonka seurauksena betonin huokosverkostosta tulee osittain sementtikiveä ja betonin vesihöyrynläpäisevyys laskee. Tässä kuivumisen vaiheessa rakenteeseen syntyy selkeä kosteusjakauma niin, että suhteellinen kosteus rakenteen sisäosissa on korkeampi kuin rakenteen pintaosissa. (Merikallio 2015, 34; Timlin 2019, 15-16.)

Haihtumiskuivumisen viimeisessä vaiheessa rakenteen haihduttavan pinnan pintaosat ovat kuivuneet hygroskooppiseen tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa, joten pintaosien kosteuspitoisuus ei enää laske. Tämän seurauksena kosteuden poistumista tapahtuu vain syvemmältä rakenteesta. Mikäli rakenteen sisäosat ovat jo hygroskooppisella alueella (suhteellinen kosteus alle 97 %), kosteus siirtyy rakenteen sisäosista pelkästään diffuusiolla. Kuivumista tapahtuu niin kauan, kunnes rakenteen sisällä ei ole enää kosteuspitoisuuseroa. Kosteuspitoisuuserojen tasaantuminen kestää tavallisesti useita vuosia. (Timlin 2019, 16.) Kuvassa 5 on esitetty haihtumiskuivumisen vaiheita ja niiden kosteusjakaumaa. A-kohta kuvastaa ensimmäistä vaihetta, jossa kosteutta siirtyy sekä kapillaarisesti että diffuusiolla, tehden kuivumisesta nopeaa. B-kohta kuvastaa viimeistä vaihetta, jossa kosteutta siirtyy enää pelkästään diffuusiolla ja kuivuminen on hidasta.



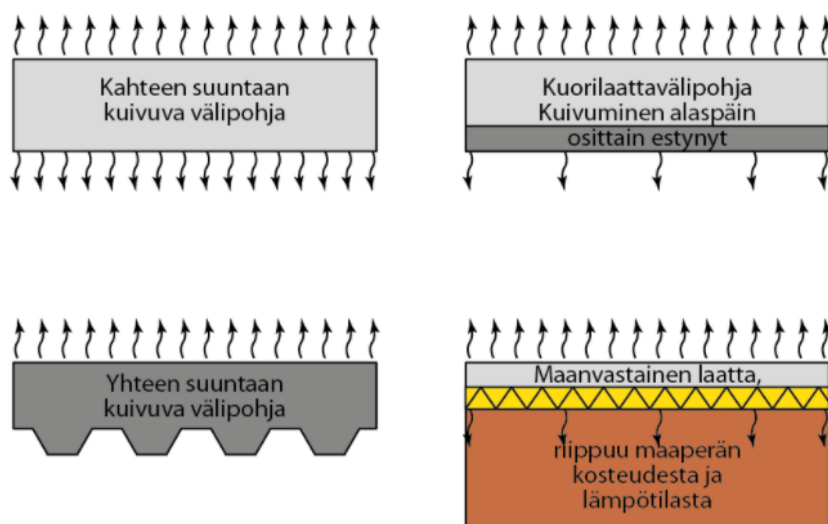
KUVA 5. Betonin kuivumisen vaiheet (Merikallio ym. 2007, 21)

### 3.3 Kuivumiseen vaikuttavat tekijät

Betonin kuivumisnopeuteen vaikuttavat merkittävästi rakenneratkaisu, betonilaatu ja kuivumisolosuhteet. Oikeanlaisen betonilaadun ja rakennetyypin valinnalla sekä ylläpitämällä suotuisia kuivumisolosuhteita voidaan saavuttaa suuriakin parannuksia rakenteiden kuivumisajoissa. (Merikallio 2015, 35.)

### 3.3.1 Rakeneratkaisu

Rakeneratkaisun osalta kuivumiselle olennaisia asioita ovat rakennepaksuus ja kuivumissuunnat. Rakennepaksuuden kasvaessa rakenteen sisällä olevalla kosteudella on pidempi matka siirtyä haihtumiskykyiseen pintaan, joten rakenteen kuivuminen hidastuu merkittävästi. Jos rakennepaksuutta esimerkiksi kasvatetaan kaksinkertaiseksi, voi siitä aiheutua kuivumisajan piteneminen jopa nelinkertaiseksi riippuen kuivumisolosuhteista. Kuivumissuuntien lukumäärällä on myös vaikutus siihen, kuinka pitkä matka kosteudella on siirtyä rakenteen sisältä haihduttavalle pinnalle. Kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa, esimerkiksi välipohjassa, kosteus haihtuu sekä rakenteen ylä- että alapinnan kautta, jolloin kosteus joutuu siirtymään pisimmillään puolet betonirakenteen paksuudesta. Yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa käytetään vesihöyrytiivistä ainekerrosta joko rakenteen ylä- tai alapinnassa, jolloin kosteus joutuu pisimmillään siirtymään koko betonirakenteen paksuuden päästäkseen haihduttavalle pinnalle. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi liittolevyrakenteet ja muovin päälle valettavat betonit. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 537; Timlin 2019, 17.) Kuvassa 6 on havainnollistettu rakeneratkaisun vaikutusta rakenteen kuivumismahdollisuuksiin.



KUVA 6. Rakeneratkaisun vaikutus kuivumiseen (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 537)

### 3.3.2 Betonilaatu

Betonilaadun osalta kuivumiseen voidaan vaikuttaa vesi-sementtisuhteella, runkoaineksella, ilmamäärällä ja lisäaineilla. Vesi-sementtisuhteella vaikuttaa sitoutumiskuivumisen osuuteen, massaankäyttävään seosveden määrään sekä betonin kapillaarisuuteen ja vesihöyrynläpäisevyyteen. Alhaisemmalla vesi-sementtisuhteella betonin kapillaarinen verkosto katkeaa nopeammin ja kosteuden siirtyminen rakenteen sisältä kohti pintaosia hidastuu. Toisaalta tällaisella betonilla haihdutettavaksi jäävä veden määrä on pienempi johtuen alhaisemmasta seosvesimäärästä, minkä takia alhaisempaa vesi-sementtisuhdetta käytetään yleensä tavoiteltaessa betonin nopeampaa kuivumista. Alhaisen vesi-

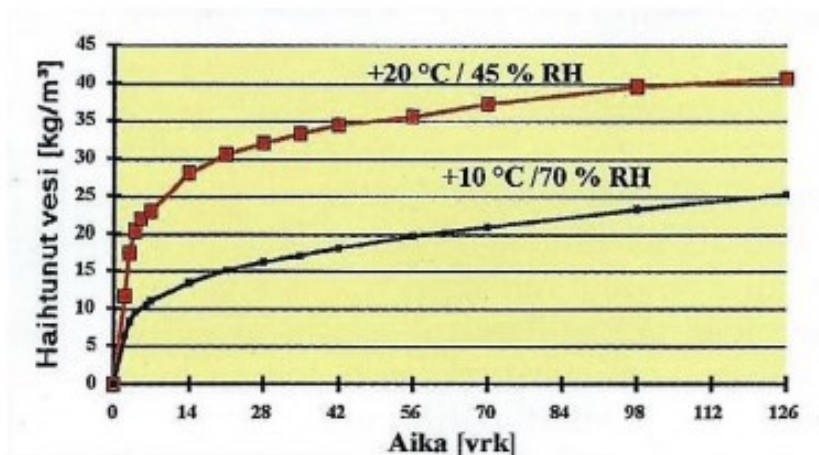
sementtisuhteen betoneissa rakennepaksuuden ja kuivumisolosuhteiden vaikutus kuivumisnopeuteen on pienempi kuin tavanomaisissa betoneissa. (Merikallio 2015, 36; Timlin 2019, 17.)

Betonirakenteen vesihöyrynläpäisevyyteen vaikuttavat myös runkoaineksen määrä ja laatu siten, että runkoaineksen osuuden tai maksimiraekoon kasvaessa kosteuden siirtyminen diffuusion välityksellä rakenteen sisältä kohti haihduttavaa pintaa nopeutuu. Niin ikään suurempi ilmamäärä betonissa kasvattaa rakenteen vesihöyrynläpäisevyyttä ja siten nopeuttaa kosteuden siirtymistä. Alhaisen vesiseментtisuhteen betoneilla päästään sitoutumiskuivumisen ansiosta nopeasti 90 %:n suhteelliseen kosteuteen, mutta tavoiteltaessa vielä alhaisempia kosteuspitoisuuksia nopealla aikataululla, tarvitaan kuivumista edistäviä lisäaineita kuten notkistimia ja huokostimia. (Merikallio 2015, 36; Timlin 2019, 17.)

### 3.3.3 Kuivumisolosuhteet

Kuivumisolosuhteiden osalta betonin kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat suhteellinen kosteuspitoisuus, lämpötila ja ilmanvaihtuvuus. Ympäröivän ilman suhteellinen kosteuspitoisuus vaikuttaa sekä ilman kykyyn ottaa vastaan rakenteen pintaosista haihtuvaa kosteutta että rakenteen sisäosan ja pintaosan väliseen kosteuseroon ja sen myötä kosteutta siirtävän voiman suuruuteen. Alhaisempi suhteellinen kosteus nopeuttaa kosteuden haihtumista rakenteen pintaosista ja aiheuttaa suuremman kosteuseron rakenteen sisäosan ja pinnan välille. Suuremman kosteuseron ansiosta diffuusion välityksellä tapahtuva kosteuden siirtyminen kohti haihduttavaa pintaa nopeutuu. Betonin suhteellisen kosteuden laskemisen seurauksena sen vesihöyrynläpäisevyys kuitenkin laskee merkittävästi hidastaen näin kosteuden siirtymistä pintaosista. Ympäröivän ilman optimaalisena kosteuspitoisuutena kuivumisen suhteen pidetään noin 50 %:n suhteellista kosteutta. (Merikallio 2015, 35; Timlin 2019, 18.)

Lämpötilan nousu nopeuttaa merkittävästi betonin kuivumista. Rakennetta ympäröivän ilman lämpötila vaikuttaa ilman suhteelliseen kosteuspitoisuuteen siten, että lämpötilan nousun myötä suhteellinen kosteuspitoisuus laskee, joka taas kasvattaa ilman kykyä vastaanottaa haihtuvaa kosteutta. Betonin lämpötilan nouseminen puolestaan kasvattaa vesihöyryn osapainetta betonin huokosrakenteessa nopeuttaen samalla diffuusiolla tapahtuvaa kosteuden siirtymistä. Tavallisesti vaaditaan vähintään 20 °C:n lämpötilaa varmistaakseen betonirakenteen riittävän nopea kuivuminen, mutta kuivumista saadaan nopeutettua huomattavasti nostamalla lämpötilaa lähelle 30 °C. Tätä korkeampien lämpötilojen käyttöä kuivatuksessa pyritään välttämään betonin halkeiluriskin ja lujuudenkadon takia. (Merikallio 2015, 35-36; Timlin 2019, 18.) Kuvassa 7 on esitetty ympäristöolosuhteiden vaikutusta betonin kuivumisnopeuteen.



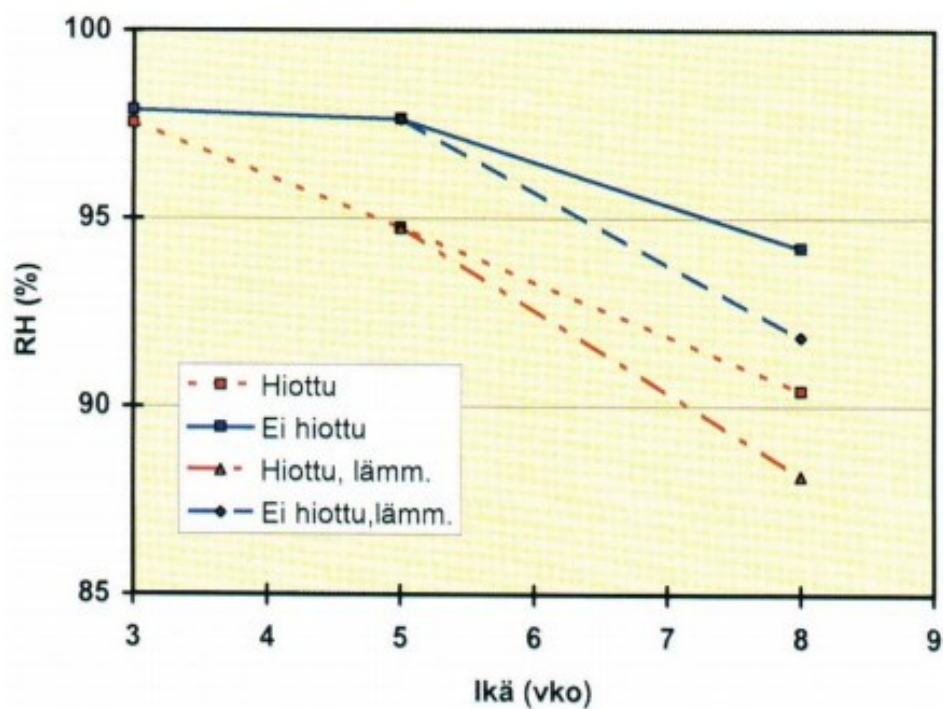
KUVA 7. Ympäröivän ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutus veden haihtumiseen betonissa K30 (Merikallio 2015, 35)

Ilmanvaihtuvuudella on vaikutus huoneilman lämpötilaan, suhteelliseen kosteuspitoisuuteen ja kosteuslisän suuruuteen. Huonetilan tuulettuvuuden parantamisella pystytään poistamaan tehokkaasti betonista haihtunutta kosteutta ja nopeuttamalla ilmvirtaa betonirakenteen pinnan läheisyydessä voidaan tehostaa rakenteen pintaosien kuivumista. (Timlin 2019, 18.)

Lisäksi yhtenä tekijänä kuivumisolosuhteissa tulee huomioida kastumiselle altistuminen. Tavanomaisilla betoneilla kapillaariverkosto pysyy pitkään avoimena ja siten ne imevät vettä hyvinkin nopeasti. Korkealla vesi-sementtisuhteella kastumisen vaikutus on merkittävämpi, koska silloin kapillaarinen verkosto säilyy avoimena pidempään. Alhaisella vesi-sementtisuhteella betonista tulee tiiviimpää, jolloin se kykenee imemään huonommin vettä. Kosteuden poistuminen betonirakenteesta on kosteuden imeytymiseen nähden selvästi hitaampaa, koska sadevedet ja muut kosteuslähteet imeytyvät rakenteeseen pääasiassa kapillaarisesti, mutta poistuvat diffuusiolla. Mitä myöhemässä vaiheessa betoni pääsee kastumaan, sitä enemmän se aiheuttaa kuivumisajan pidentymistä. Näin ollen sadevesien pääsy betonirakenteeseen tulisikin estää suojaamalla eikä kuivumisen voida olettaa alkavan ennen kuin ylimääräisen kosteuden pääsy betoniin on estetty ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on riittävän alhaisella tasolla. (Merikallio 2015, 36; Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 537-538.)

### 3.3.4 Betonipinnan hionta ja siisteys

Valun yhteydessä betonilaatan pintaan nousee vettä ja sementtiä, joiden seos muodostaa pintaan tiiviin sementtiliimakerroksen. Sementtiliimakerros hidastaa betonin haihtumiskuivumista, koska kosteus ei pääse nousemaan tiiviin kerroksen läpi tehokkaasti. Betonirakenteen haihtumiskuivumista voidaan täten nopeuttaa hiomalla sementtiliimakerros pois varhaisessa vaiheessa. (Lumme & Merikallio 1997, 19; Hartikainen 2017, 16.) Kuvassa 8 on esitetty sementtiliimakerroksen hionnan vaikutusta lujuusluokan K30 betonin kuivumiseen.



KUVA 8. Betonipinnan hionnan ja lankalämmityksen vaikutus K30 betonin kuivumiseen kylpyhuoneen kaatolattioissa (Lumme & Merikallio 1997, 20)

Haihtumiskuivumista edistää myös betonipinnan pitäminen puhtaana ja paljaana, koska kaikenlainen pöly ja lika laatan pinnassa haittaavat betonista haihtuvan kosteuden siirtymistä huoneilmaan. Kuvattavan laatan päällä ei tulisi myöskään varastoida mitään tavaroita, koska ne estävät kosteuden siirtymistä näiltä alueilta ja hidastavat näin betonin kuivumista. (Merikallio 2015, 37; Hartikainen 2017, 17.)

## 4 VÄESTÖNSUOJAN KATTORAKENNETYYBIT JA NIIDEN TOTEUTUSTAVAT

Väestönsuojan kattorakenne on kerroksellinen rakenne, joka tavanomaisesti koostuu kantavasta runkobetonilaatasta, täyttökerroksesta, pintabetonilaatasta ja pintamateriaalista. Väestönsuojan katto tulee mitoittaa paineallostaa aiheutuvalle kuormitukselle, joten teräsbetonisen runkolaatan rakennepaksuutta määrittää eri väestönsuojan suojaluokille asetetut vaatimukset (Sisäasiainministeriön asetus väestönsuojien teknisistä vaatimuksista ja väestönsuojien laitteiden kunnossapidosta 2011/506, 12 §). Väestönsuojan suojaluokat määräytyvät väestönsuojan koon perusteella siten, että S1-luokkaan kuuluvat enintään 135 m<sup>2</sup>:n suojatilat ja S2-luokkaan enintään 900 m<sup>2</sup>:n suojatilat (Valtioneuvoston asetus väestönsuojista 2011/408, 2 §). Väestönsuojan katon tulee olla S1-luokassa vähintään 300 mm paksua teräsbetonia ja S2-luokassa vähintään 400 mm paksua teräsbetonia (Valtioneuvoston asetus väestönsuojista 2011/408, 5 §).

Väestönsuojan kattorakenteet toteutetaan aina hyvin samankaltaisella tavalla ja rakennetyypit poikkeavat toisistaan lähinnä täyttökerroksessa käytettävän materiaalin osalta. Väestönsuojan kattorakenteiden täyttökerrokset on tehty tyypillisesti kevytsorasta, hiekasta tai pestystä sepelistä. Nykyisin käytettäviä täyttömateriaalivaihtoehtoja ovat lisäksi vaahtolasi ja EPS-eriste. Täyttökerrokseen asennetaan tavallisesti tuuletusputkisto, jolla rakennusaikainen vesi saadaan poistettua täyttökerroksesta runkolaatan kuivumisen aikana. Tuuletusputkistoon liitetään koneellista poistoa varten kanavapuhallin ja poistoilma johdetaan riittävän kauaksi rakennuksen ulkopuolelle. (Weijo ym. 2019, 226-227.)

Väestönsuojan kattorakenteet ovat kosteudenhallinnan näkökulmasta haasteellisia rakenteita, koska niiden paksut runkolaatat kuivuvat erittäin hitaasti ja niiden täyttökerrokset voivat sisältää pieniä määriä mikrobivaurioituvaa ainesta. Ennen pintamateriaalin asentamista tulee huolehtia sekä runkolaatan että pintalaatan riittävästä kuivumisesta. Runkolaatan hitaan kuivumisen aiheuttamia ongelmia voidaan kuitenkin ratkaista käyttämällä erilaisia kuivatusmenetelmiä, jotka tehostavat betonin kuivumista. (Weijo ym. 2019, 226-227.)

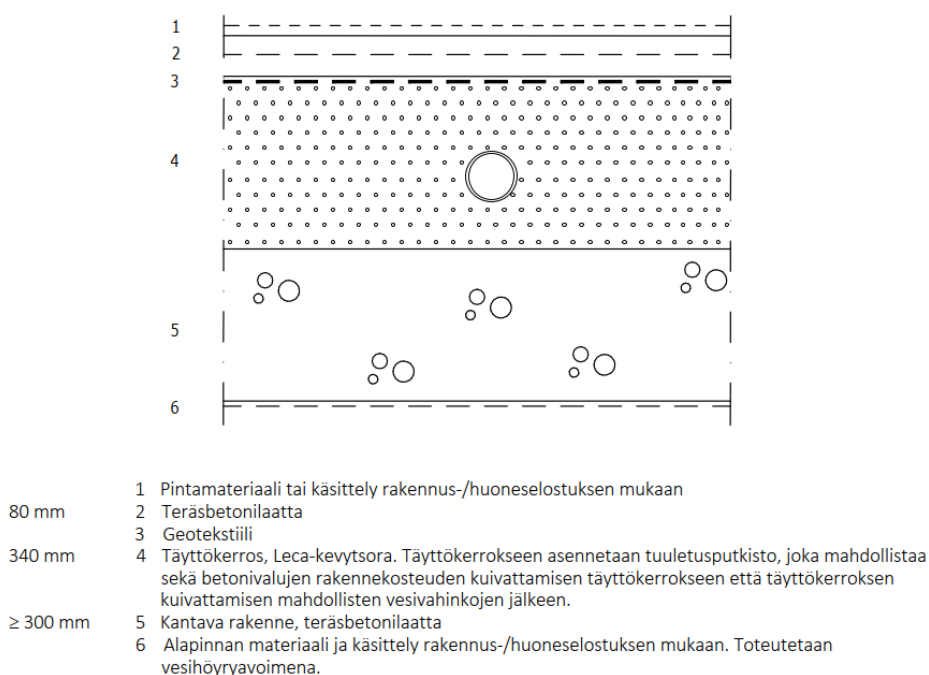
### 4.1 Leca-kevytsorakerros

Kevytsora on hyvin perinteinen väestönsuojan kattorakenteissa käytetty täyttömateriaali. Leca-kevytsora on kotimaisesta savesta polttamalla paisutettu rakeinen rakennusmateriaali (kuva 9). Sen etuihin kuuluvat keveys, lämmöneristävyys sekä kestävyys kosteutta ja mekaanista rasitusta vastaan. Kevytsora valmistetaan polttamalla luonnonsavea pyörivässä polttouunissa korkeassa, 1100-1200 °C:n lämpötilassa. Kevytsorarae on sisältään huokoinen ja pinnaltaan melko tiivis. Kevytsora toimii suuren vedenläpäisevyytensä ansiosta rakennetta kuivattavana materiaalina. Täyttökerrosten ohella kevytsoraa käytetään esimerkiksi routasuojaukseen ja lämmöneristävyttä vaativissa rakenteissa sekä kevennysrakenteissa. (Jaakkola 2018, 9; Leca Finland Oy 2019, 3-4.)



KUVA 9. Leca-kevytsora (Leca Finland Oy 2020)

Kevytsora voidaan puhalttaa joko kuivana tai märkänä. Valmistuksen jälkeen kevytsora on täysin kuivaa, mutta pölyämisen estämiseksi kevytsora on usein kasteltava ja puhallettava märkänä, jotta vältetään terveys- ja siisteyshaitoilta. Märkäpuhallus kuitenkin vaikeuttaa rakenteen kuivatusta, koska pölyn sitomiseen käytetty vesi lisää täyttökerroksen kosteutta. Kevytsoran huokostilassa vesi voi olla vapaana vetenä tai tiivistyneenä rakeiden ulkopintaan. Lisäksi vesi voi imeytyä myös rakeiden sisäisiin huokosiin. Kevytsorarakkeiden sisällä olevat huokokset ovat tilavuudeltaan suuria, joten rakeet pystyvät adsorboimaan merkittäviä vesimääriä. Ollessaan kosketuksissa veden kanssa kevytsora voi sitoa itseensä vettä jopa 80 % kuivapainostaan. Sitoutuneella vesimäärällä ei ole vaikutusta kevytsoran kestävyysominaisuuksiin, mutta sen sijaan se vaikuttaa materiaalin lämmönjohtavuuteen. (Halonen 2014, 34-35; Leca Finland Oy 2019, 8.) Kuvassa 10 on esitetty esimerkki Leca-kevytsorakerroksella varustetusta väestönsuojan kattorakenteesta.



KUVA 10. Väestönsuojan kattorakenne Leca-kevytsorakerroksella

## 4.2 Vaahtolasikerros

Vaahtolasi on puhdistetusta keräyslasista valmistettu murskemateriaali (kuva 11). Vaahtolasin valmistuksessa raaka-aineena käytettävä keräyslasi puhdistetaan monipuolisesti, jonka jälkeen se jauhetaan kuulamyllyllä ja siihen sekoitetaan vaahdotusagenttia, joka yleisimmin on piikarbidia. Lasijauheen ja vaahdotusagentin sekoitus kuumennetaan uunissa 700-900 °C:n lämpötilaan, jolloin lasimassa paisuu lähes viisinkertaiseksi ja muodostaa vaahtolasille tyypillisen huokosmaisen rakenteen. (Lampainen 2020, 3-5.)

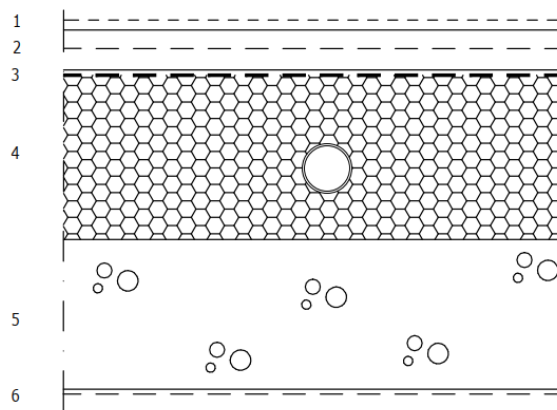


KUVA 11. Vaahtolasimurskeen tyypillinen raemuoto (Uusioaines Oy)

Vaahtolasimurskeen etuja ovat muun muassa keveys, kitkapintaisuus, kuormituskestävyys, hyvä vedenläpäisykyky sekä helppo kasattavuus ja käsiteltävyys. Vaahtolasi on ekologisesti kestävä materiaali, koska se valmistetaan täysin kierrätetyistä materiaaleista ja vaahdotuksessa käytettävät kemikaalit ovat teollisuuden sivuvirroista kerättyjä. Vaahtolasin käyttökohteita ovat täyttökerrosten lisäksi esimerkiksi tie- ja katurakenteet, piharakentaminen, talojen perustukset sekä routasuojaukset. (Uusioaines Oy, 3-4.)

Vaahtolasimurske soveltuu hyvin väestönsuojan kattorakenteiden täyttökerroksiin, koska se on kantava ja nopeasti asennettava materiaali. Vaahtolasin asennuksessa ei tarvita asennuksen aikaisia tukirakenteita kuten kävelyä helpottavia harkkoja tai levyjä, koska kitkapintainen vaahtolasi kantaa kävelyä tiivistämättömänäkin. Kitkapintaisuudesta on apua myös pintabetonilaattaa valettaessa, jolloin vaahtolasi pysyy hyvin paikallaan mahdollistaen tasaisen valukerroksen. Vaahtolasikerroksen asentaminen väestönsuojan kattorakenteisiin toteutetaan yleensä suurtehopuhaltajalla tai vaahtolasisäkeistä. (Uusioaines Oy.)

Vaahtolasi ei valmistusprosessinsa ansiosta sisällä orgaanisia haitta-aineita tai haihtuvia yhdisteitä. Vaahtolasi koostuu kuitenkin pääosin piioksidista, joka aiheuttaa pitkäaikaisessa altistumisessa siliikoozia ja keuhkosityöpää. Vaahtolasi pölyää kuivana, joten sen asennuksen pölyävissä työvaiheissa on tärkeää käyttää hiukkassuodattimilla varustettuja hengityssuojaimia, suojalaseja ja suojavaatteita, jotta vältytään piioksidipölylle altistumiselta. (Työterveyslaitos; Uusioaines Oy.) Kuvassa 12 on esitetty esimerkki vaahtolasikerroksella varustetusta väestönsuojan kattorakenteesta.



- |          |   |   |
|----------|---|---|
|          | 1 | Pintamateriaali tai käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan   |
| 80 mm    | 2 | Teräsbetonilaatta   |
|          | 3 | Geotekstiili  |
| 340 mm   | 4 | Täyttökerros, FOAMIT 20 vaahtolasimurske #4...20 mm. Täyttökerrokseen asennetaan tuuletusputkisto, joka mahdollistaa sekä betonivalujen rakennekosteuden kuivattamisen täyttökerrokseen että täyttökerroksen kuivattamisen mahdollisten vesivahinkojen jälkeen. |
| ≥ 300 mm | 5 | Kantava rakenne, teräsbetonilaatta  |
|          | 6 | Alapinnan materiaali ja käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan. Toteutetaan vesihöyryvoimana.  |

KUVA 12. Väestönsuojan kattorakenne vaahtolasikerroksella

#### 4.3 EPS-eristekerros

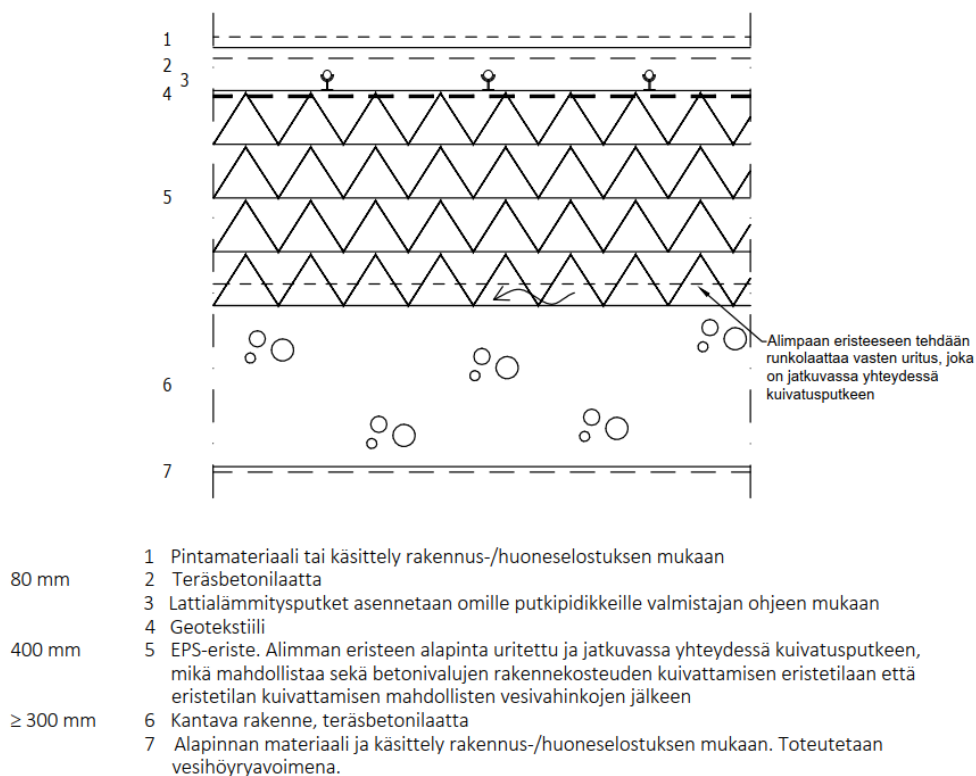
EPS-eriste on lämmöneristeenä käytettävä polystyreenistä valmistettu rakennusmateriaali (kuva 13). EPS-eriste valmistetaan muottimenetelmällä tai jatkuvatoimisella linjalla kestopuovia olevasta polystyreenistä vesihöyryn avulla paisuttamalla. Materiaalin umpisoluihin rakenteeseen saavutetaan ponneaineena käytettävän pentaanin avulla, joka korvautuu valmistuksen yhteydessä ilmalla. EPS-eristeiden käyttökohteita ovat muun muassa lattiaeristykset, kattoeristykset, seinäeristykset ja routaeristykset. (RT 36-11113 EPS-eristeet. Lämmöneristystarvikkeet. Ohje 2013, 1.)



KUVA 13. EPS-eristelevy (Finnfoam Oy)

EPS-eristeen etuja ovat keveys, helppo käsiteltävyys, kuormituskestävyys ja ympäristöystävällisyys. Toisin kuin monet murskemateriaalit, EPS-eriste ei pölyä käsiteltäessä, joten se on myös työterveydellisestä näkökulmasta turvallinen materiaali. Lisäksi EPS-eristeet ovat normaaleissa käyttöolosuhteissa hajuttomia ja myrkyttömiä eivätkä ne lahoa, mätäne tai sisällä homesienten tarvitsemia ravintoaineita. EPS-eristettä voidaan työstää tavanomaisilla työkaluilla kuten sahalla tai puukolla ja se on muotoiltavissa helposti erilaisiin muotoihin. EPS-eristeet ovat täysin kierrätettävissä, koska ne voidaan joko uusiokäyttää tai murskata rakeiksi, joita käytetään EPS-eristeiden, kevytbetonin, kevyttii-  
lien ja muurausharkkojen valmistukseen. (RT 36-11113 EPS-eristeet. Lämmöneristystarvikkeet. Ohje 2013, 3-4; Kianta & Kilpeläinen 2017, 72.)

EPS-eriste soveltuu hyvin väestönsuojan kattorakenteeseen etenkin silloin, jos pintabetonilaataan asennetaan lattialämmitys. Tällöin runko- ja pintalaatan välissä oleva hyvän lämmöneristävyyden omaava EPS-eristekerros varmistaa, että lattialämmityksen lämpö saadaan kohdistettua lattiaan eikä alapuolella olevaan runkolaataan. Betonin ja EPS-eristeen vesihöyrynläpäisevyys on samaa suuruusluokkaa, joten kosteuden tiivistymisestä rajapintoihin ei ole riskiä. Myös EPS-eristekerroksesta on mahdollista tehdä tuulettuva siten, että alimpaan eristeeseen tehdään runkolaattaa vasten uritus, joka on jatkuvassa yhteydessä kuivatusputkeen. Näin betonin kuivumisen seurauksena siirtyvä kosteus saadaan tuuletettua pois eristetilasta. (Kianta & Kilpeläinen 2017, 72; Finnfoam Oy.) Kuvassa 14 on esitetty esimerkki uritetulla EPS-eristekerroksella varustetusta väestönsuojan kattorakenteesta.



KUVA 14. Väestönsuojan kattorakenne EPS-eristekerroksella

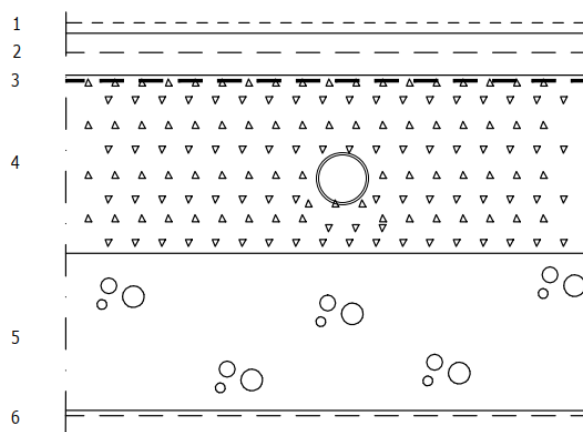
#### 4.4 Sepelikerros

Sepeli on kallioliouheesta tai luonnonkivestä murskattua kiviainesta, josta on seulottu hienempi kiviaines pois (kuva 15). Sen käyttökohteita ovat muun muassa salaojat, kapillaarikatkot sekä talon sisä- ja ulkotäytöt. Sepelin vedenläpäisevyys on kallio- ja soramursketta parempi, joten se soveltuu kohteisiin, joissa veden on tarkoitus valua kerrosten läpi. Pestyssä sepelissä hienoainesmäärä on minimoitu märkäseulonnalla. Pesty sepeli soveltuu erityisen hyvin kapillaarikatkoihin, koska siinä ei ole kuivaseulotun sepelin tavoin jäämiä hienommista kiviaineksista, jotka heikentävät kapillaarikatkokykyä. (Destia Oy; Rudus Oy.)



KUVA 15. Pesty sepeli (Rudus Oy)

Pesty sepeli on tyypillinen väestönsuojan kattorakenteissa käytetty täyttömateriaali (FISE Oy 2018). Kuitenkin sepelin käyttöä vältetään nykyään sisä- ja ulkorakenteissa materiaalin sisältämän orgaanisen aineksen sekä radonriskin vuoksi. Radonia syntyy sepelin sisältämän uraanin hajoamistuotteena (Holmgren 2015). Kuvassa 16 on esitetty esimerkki sepelikerroksella varustetusta väestönsuojan kattorakenteesta.



- |          |   |  |
|----------|---|--|
|          | 1 | Pintamateriaali tai käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan  |
| 80 mm    | 2 | Teräsbetoni-laatta   |
|          | 3 | Geotekstiili   |
| 340 mm   | 4 | Täyttökerros, pesty sepeli. Täyttökerrokseen asennetaan tuuletusputkisto, joka mahdollistaa sekä betonivalujen rakennekosteuden kuivattamisen täyttökerrokseen että täyttökerroksen kuivattamisen mahdollisten vesivahinkojen jälkeen. |
| ≥ 300 mm | 5 | Kantava rakenne, teräsbetoni-laatta  |
|          | 6 | Alapinnan materiaali ja käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan. Toteutetaan vesihöyryvoimana.   |

KUVA 16. Väestönsuojan kattorakenne sepelikerroksella

#### 4.5 Kuivumisen tehostaminen

Väestönsuojan kattorakenteen runkolaatan kuivuminen riittävän alhaiseen kosteuspitoisuuteen kestää suuren rakennepaksuuden takia erittäin pitkään. Nykyään yhä kiristyvät rakentamisajat eivät yleensä anna mahdollisuutta odottaa rakenteen kuivumista niin alhaiseen kosteuspitoisuuteen, että runkolaatan yläpuolisten rakenteiden asentaminen olisi rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta turvallista. Betonirakenteen kuivumisen haasteet voivatkin usein aiheuttaa työmaalla aikatauluviivästyksiä tai vastaavasti rakenne saatetaan päällystää liian kosteana, josta voi pahimmillaan aiheutua sisäilmaongelmia. Välttyäkseen näiltä ongelmilta voidaan käyttää erilaisia keinoja, joilla betonin kuivumista saadaan tehostettua.

Betonirakenteen kuivumista pystytään nopeuttamaan jossain määrin muun muassa käyttämällä nopeasti kuivuvia betonilaatuja, käyttämällä suuriraekokoista ja jäykkää massaa sekä minimoimalla betonirakenteen kastuminen (Merikallio 2015, 37). Välttämättä näilläkin keinoilla ei saada massiivisen runkolaatan kuivumisaikaa lyhennettyä tarpeeksi, jotta yläpuoliset rakenteet päästäisiin asentamaan tavoiteltujen aikataulujen puitteissa. Tällöin voidaan ottaa lisäksi käyttöön erilaisia tehokkaita betonin kuivatusmenetelmiä, joita ovat betonirakenteen lämmitys ja valun sisään asennettava kosteudenkeruukanavisto.

##### 4.5.1 Rakenteen lämmitys

Kosteuden siirtyminen vesihöyrynä vaikuttaa merkittävästi betonin kuivumisnopeuteen. Betonin lämpötilan nousun myötä betonin huokosten ilmatilan vesihöyrynpaine kasvaa ja samalla betonin vesihöyrynläpäisevyys lisääntyy, jolloin kosteuden siirtyminen tehostuu ja rakenne kuivuu nopeammin.

Kuivumista edistää lisäksi merkittävästi betonin ja ympäröivän ilman välinen riittävän suuri lämpötilaero. Betonirakenteen kuivumista voidaan tehostaa lämmön avulla joko lämmittämällä rakennetta ympäröivää ilmaa tai lämmittämällä itse betonirakennetta esimerkiksi lämmityskaapeleilla tai säteilylämmittimillä. Näistä kuivatustavoista huomattavasti tehokkaampi on betonin lämpötilan nostaminen siten, että lämmönlähde sijaitsee rakenteen sisällä. (Lumme & Merikallio 1997, 19.)

Betonin lämmityskaapeleita käytetään monesti talvivaluissa rakenteen lämmitykseen ja lujuudenkehityksen varmistamiseen, mutta niitä pystytään hyödyntämään myös betonirakenteen kuivumisen tehostamisessa. Betonin lämmityskaapeli on valun sisään asennettava vastuskaapeli, joka nostaa betonin lämpötilaa kaapelin läheisyydessä noin 20 °C rakennetta ympäröivän ilman lämpötilaa korkeammaksi. Koska kaapelit sijaitsevat betonivalun sisässä, niiden lämmitysteho kohdistuu suoraan kuivatettavaan rakenteeseen. Lämmityskaapelit ovat helposti asennettavia ja ne pystytään kiinnittämään betonirakenteen raudoitukseen. Kaapelit kytketään sähköverkkoon valovirtapistotulpalla, mikä tekee kaapeleiden asennuksesta ja käyttöönotosta nopeaa. Kahteen suuntaan kuivuvilla massiivisilla betonirakenteilla valun keskelle sijoitetut lämmityskaapelit ovat optimaalinen menetelmä kuivumisen tehostamiseen. Betonin lämmityskaapelin etuja ovat muun muassa kuivumisen tehostuminen, nopeamman rakennusaikataulun mahdollistaminen, muottikierron nopeutuminen, kustannustehokkuus, helppo asennettavuus sekä rakenteen jäätyksen estäminen kylmänä aikana tapahtuvassa valussa. (Pistesarjat Oy 2018, 17.)

Perinteinen menetelmä kuivattaa rakennetta on lämmittää ympäröivää ilmaa, jolloin myös rakenne lämpenee sekä ympäröivän ilman suhteellinen kosteuspitoisuus laskee. Ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden laskeminen kasvattaa sen kykyä vastaanottaa kosteutta. Tällä menetelmällä rakenteen lämmittäminen yli 20 °C on kuitenkin usein haastavaa ja työtekniisten syiden takia jopa mahdotonta. Sen sijaan, kun lämmitetään betonia rakenteen sisäisellä lämmönlähteellä, saadaan betonirakenteen lämpötila nostettua kuivumisen kannalta optimaalisen korkeaksi ilman että lämmitetään tarpeettomasti rakennetta ympäröivää työmaata liian lämpimäksi. (Pistesarjat Oy 2018, 18; Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 548.)

Eryteisesti talviaikaan rakenteen lämmittäminen on erittäin tehokas kuivatusmenetelmä, koska ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on silloin erittäin alhainen, joten se kykenee vastaanottamaan betonin pintaosista haihtuvaa kosteutta hyvin. Tällöin kuivumista rajoittavana tekijänä on kosteuden siirtyminen betonin sisältä pintaosiin. Lämmittämällä rakennetta lämmityskaapeleilla kosteuden siirtyminen betonin sisältä pintaosiin nopeutuu ja siten kuivuminen tehostuu. Lämmityksen ohella tärkeää on huolehtia riittävästä ilmanvaihdosta, jotta betonirakenteesta haihtuva kosteus pääsee siirtymään rakennuksen ulkopuolelle. (Pistesarjat Oy 2018, 18.)

Suunniteltaessa betonin lämmityskaapeleiden käyttöä tulee huomioida sähkön riittävyys, koska niiden sähkönkulutus ja tehontarve on merkittävä. Lisähyötynä lämmityskaapeleiden kuluttumassa energiassa on kuitenkin niiden lämmittävä vaikutus rakenteita ja rakennuskohdetta kohtaan, minkä takia esimerkiksi työmaan lämmitystarve lämmityskaudella vähenee. (Pistesarjat Oy 2018, 21.)

Betonin lämmityskaapeleiden vaikutusta kuivumisaikoihin on tutkittu testivalujen avulla valvotuissa olosuhteissa sekä työmaaolosuhteissa. Betonirakenteen lämmittämällä voidaan parhaimmillaan lyhentää kuivumisaikaa jopa kymmeniä viikkoja. (Pistesarjat Oy 2018, 18.) Tutkimusten perusteella suurin kuivumista nopeuttava vaikutus lämmityskaapeleiden käytöstä saadaan paksuilla yhteen suuntaan kuivuvilla rakenteilla kuten liittolaatoilla, joilla kuivumisaika voi lyhentyä useamman kauden verran. Kuitenkin myös kahteen suuntaan kuivuvilla paksuilla välipohjalaatoilla voidaan saavuttaa useamman viikon hyöty kuivumisajassa. (Pistesarjat Oy 2018, 30.)

#### 4.5.2 Kosteudenkeruukanavisto

Kosteudenkeruukanavisto on tehokas kuivatusjärjestelmä, jonka toiminta perustuu betonilaatan sisällä kiertävään lämmitysputkistoon, joka kierrättää virtaavaa lämmitysilmää. Putkena toimii erikoisvalmisteinen jäykkä betonivalun sisään asennettava rei'itetty muoviputki, joka mahdollistaa kosteuden siirtymisen betonilaatasta putken sisään. Putki on päällystetty vesihöyryn- ja ilmanläpäisevällä harsomaisella ainekerroksella, joka estää valettavan betonimassan tunkeutumisen reikien kautta putkeen, mutta samalla mahdollistaa betonin kosteuden siirtymisen putken sisään. (Ahvenainen, Lehtimäki & Tommola 2017, 374; Timlin 2019, 34.)

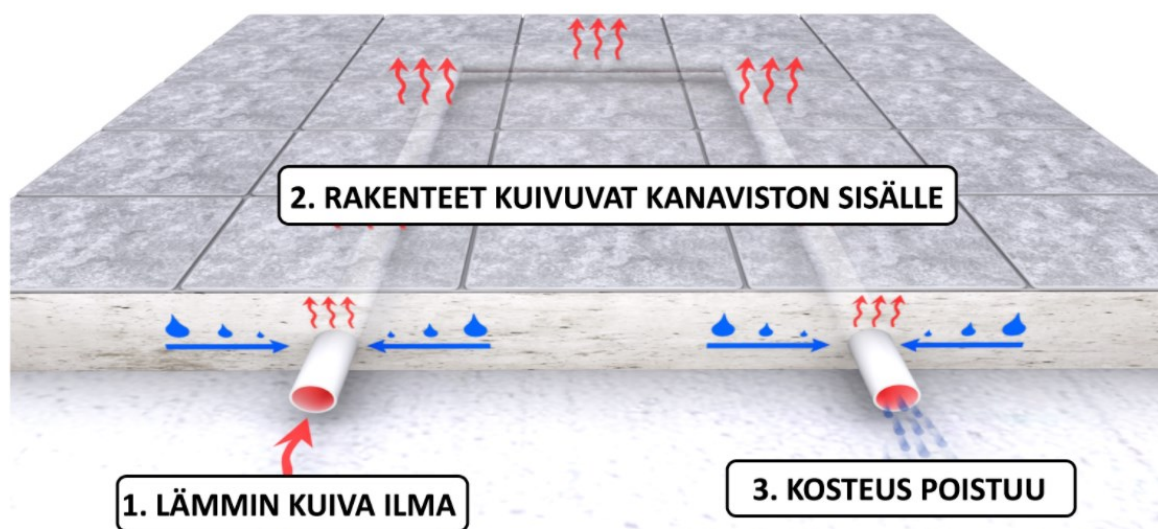
Kosteudenkeruukanavistoon liitetään kiertoilmapuhallin sekä tarvittaessa lämmönlähde ja ilman-kuivain. Kiertoilmapuhallin kierrättää ilmaa kanavistossa ja lämmönlähteellä voidaan tarvittaessa lämmittää kierrätettävää ilmaa haluttuun lämpötilaan. Lämmönlähteenä voidaan käyttää lähes mitä tahansa lämmitysmuotoa, kuten esimerkiksi suoraa sähköä, lämpöpumppua, kaukolämpöä tai takkaa. Lämmitetty ilma kiertää kanavistossa ja luovuttaa osan lämpöenergiastaan ympäröivään betoniin. Samalla betonin kosteus sitoutuu kanavistossa kiertävään ilmaan ja kulkeutuu sen mukana pois rakenteesta. Ilmankuivaimella voidaan tarvittaessa vähentää kierrätettävän ilman kosteussisältöä, minkä seurauksena betonin huokosilman ja kanaviston ilman vesihöyryn osapaine-ero kasvaa ja siten kuivuminen tehostuu. (Ahvenainen ym. 2017, 374; Timlin 2019, 34-35.)

Kosteudenkeruukanavistosta voidaan tehdä joko avoin järjestelmä tai tavallisen vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän kaltainen suljettu järjestelmä, jossa kierrätetään samaa ilmaa. Avoimessa järjestelmässä kanavistossa kierrätettävä ilma on ikään kuin kertakäyttöistä eli kostea paluuilma puhalletaan esimerkiksi rakennuksen ulkopuolelle ja kanavistoon puhalletaan ulkoilmasta tai huonetilasta otettua kuivempaa ilmaa. Suljetussa järjestelmässä lämmönlähde lämmittää kanavistosta palaavan jäähtyneen kierrätysilman jälleen haluttuun lämpötilaan ja tarvittaessa ilmankuivain poistaa osan kierrätysilman kosteussisällöstä, minkä jälkeen ilmavirta puhalletaan uudelleen kiertoon. Lämmönlähdettä ja ilmankuivainta pystytään käyttämään sekä avoimessa että suljetussa järjestelmässä. (Timlin 2019, 35.)

Luvussa 3.3.1 käsiteltiin betonirakenteen kuivumissuuntia ja todettiin niiden lukumäärällä olevan merkittävä vaikutus kuivumisnopeuteen. Tavallisesti betonilattiarakenne kuivuu pintojen kautta haihtumalla joko yhteen tai kahteen suuntaan. Kosteudenkeruukanaviston ansiosta pintojen kautta haihtumisen lisäksi kosteus pääsee haihtumaan kuivatusputkien seinämien läpi ja poistumaan konvektiolla kanavistossa kiertävän ilmavirran mukana. Näin ollen kosteudenkeruukanavisto lisää tavallaan

rakenteelle yhden uuden kuivumissuunnan, jonka kautta kuivumista pääsee tapahtumaan, vaikka kuivuminen pintojen kautta estyisi lattian päällystämisen seurauksena. (Timlin 2019, 36-37.)

Kosteudenkeruukanaviston kuivattava vaikutus perustuu kahteen eri tekijään. Nämä ovat konvektiolla kierrätysilman mukana poistuva kosteus ja betonin lämpötilan nousu, kun kierrätettävä lämmitysilmä luovuttaa osan lämpöenergiastaan betoniin. Betonin lämpötilan nousu kasvattaa betonin huokosten ilmatilan vesihöyrynpainetta ja tehostaa näin kosteuden siirtymistä rakenteessa. Näin ollen kosteudenkeruukanaviston aikaansaama betonin lämpötilan nousun kuivattava vaikutus on verrattavissa luvussa 4.5.1 käsiteltyyn rakenteen lämmitykseen betonin lämmityskaapelien avulla. Lisäksi betonin lämpötilan nousu tehostaa kosteuden poistumista kanavistossa kierrätettävän ilmavirran mukana. Rakenteen pintaosien kautta tapahtuva kuivuminen loppuu, jos rakenne päällystetään tai pinnoitetaan vesihöyrytiivillä materiaalilla ja kosteuden siirtyminen alapinnan kautta on myös estynyt. Tällöin rakenteen kuivuminen tapahtuu pelkästään kosteudenkeruukanaviston kautta. (Timlin 2019, 37-38.) Kuvassa 17 on havainnollistettu kosteudenkeruukanaviston kuivattavaa vaikutusta. Siniset pisarat kuvastavat putken suuntaan siirtyvää ja konvektiolla kanaviston ilmavirran mukana poistuvaa kosteutta, kun taas pystysuuntaiset punaiset nuolet kuvastavat kosteuden haihtumista pintojen kautta, jota betonin lämpeneminen kiihdyttää.



KUVA 17. Kosteudenkeruukanaviston toimintaperiaate (SafeDrying Oy)

Kosteudenkeruukanaviston ei ole tarkoitus olla vain rakentamisaikaista kertakuivatusta varten, vaan se asennetaan kiinteäksi osaksi rakennusta. Tämä mahdollistaa rakenteen kuivattamisen kanaviston kautta myös mahdollisessa rakennuksen käytön aikaisessa vesivahinkotilanteessa. Kanavistossa kierrätettävän ilman kosteussisältöä voidaan seurata monin tavoin ja arvot pystytään lukemaan etänä

esimerkiksi matkapuhelimelta tai tietokoneelta. Mittaustietojen saaminen auttaa merkittävästi rakentamisaikaisessa kuivatuksessa, käytön aikaisten vesivahinkotilanteiden havaitsemisessa ja rakennuksen kuivana pitämisessä sen koko elinkaaren ajan. (SafeDrying Oy.)

SafeDrying Oy (entinen Tulilattia Oy) on tutkinut kosteudenkeruukanaviston vaikutusta betonilaattarakenteen kuivumisaikaan. Kuivumiskokeessa valettiin samoihin olosuhteisiin 120 mm paksut betonilaatat, joista toiseen asennettiin ennen valua kosteudenkeruukanavisto ja toinen kuivui vain pinnoiltaan. Kuivumiskokeen tulokset osoittivat kosteudenkeruukanaviston hyödyllisyyden betonirakenteen kuivumisessa, sillä kanavistolla varustettu laatta kuivui tärkeimmistä mittauspisteistä kriittisiin kosteuspitoisuuksiin yli kuukautta ennen verrokkilaattaa. Kuivaimen ja lämmittimen käyttö kasvattivat molemmat putkien kautta poistuvan kosteusvirran suuruutta, kuivaimen vaikutuksen ollessa selvästi suurempi. Parhaaseen tulokseen kosteusvirran suhteen päästiin, kun kuivainta ja lämmitintä pidettiin jatkuvasti päällä. Kokeessa tutkittiin lisäksi lattialämmityskaapelin käyttöä kanaviston lisänä sekä tiheämpää kanaviston putkijakoa. Molemmat näistä menetelmistä lyhensivät laatan kuivumisaikaa selkeästi. (Ahvenainen ym. 2017, 374-378.)

Arvioitaessa kosteudenkeruukanaviston soveltuvuutta väestönsuojan katon runkolaatalle, tulee huomioida kanaviston vähentävä vaikutus laatan betonimassan määrään. Runkolaatan mitoituksessa on täten huomioitava kanaviston sijoittelun ja putkijaon tiheyden vaikutus laatan kestävyys. Runkolaatan paksuutta voidaan joutua hieman kasvattamaan väestönsuojan katolle asetetun vaatimuksen mukaisesta vähimmäispaksuudesta, jotta runkolaatan mitoitus olisi riittävä ottamaan vastaan siihen kohdistuvat rasitukset.

## 5 VÄESTONSUOJAN PÄÄLLE ASENNETTAVAT RAKENTEET

Väestönsuojan kattorakenteet ovat kerroksellisia rakenteita, jossa runkolaatan päälle tulee tavallisesti täyttökerros, pintalaatta ja pintalaatan päälle asennettava päällyste tai pinnoite. Tavallisimpia lattiapäällystemateriaaleja ovat muovimatot ja -laatat, parketit, laminaatit, tekstiilimatot, linoleum sekä keraamiset laatat. Puolestaan tavallisimpiin betonilattioiden pinnoitteisiin kuuluvat maalit ja laikat sekä erilaiset massapinnoitteet kuten akryylit, polyuretaanit, epoksit ja sementtipolymeerimassa. Päällyste- tai pinnoitemateriaalin valinta vaikuttaa merkittävästi lattiarakenteen kosteustekniseen toimivuuteen, koska eri materiaalit kestävät kosteutta eri tavalla ja vaikuttavat eri tavalla alustabetonissa olevan kosteuden poistumismahdollisuuksiin. (Merikallio ym. 2007, 45.) Päällyste- ja pinnoitemateriaaleille on määritetty kullekin omat suhteellisenä kosteutena ilmoitettavat kriittiset kosteuspiitoisuudet, jotka alustabetonin täytyy alittaa määrätyllä arviointisyvyydellä ennen kuin rakenne päällystetään tai pinnoitetaan (Merikallio ym. 2007, 32). Kerroksellisissa rakenteissa päällystettävyysskos-teus määritetään pintalaatasta. Tämän lisäksi mitataan kosteus eristetilasta, jonka suhteellinen kos-teuspitoisuus täytyy olla alle 90 %. Eristetilan kosteuspitoisuusvaatimus täyttyy tavallisesti, kun runkobetonin annetaan kuivua alle 90 %:n suhteelliseen kosteuteen ennen eristekerroksen asennusta. (Merikallio ym. 2007, 28.) Useiden materiaalien homehtuminen mahdollistuu kuitenkin jo 85 %:n suhteellisessa kosteudessa, jolloin tätä korkeammalla pitkään pysyvä kosteuspitoisuus voi riittävän ajan kuluessa aiheuttaa mikrobivaurioita.

### 5.1 Betonialustaan liimattavat päällysteet

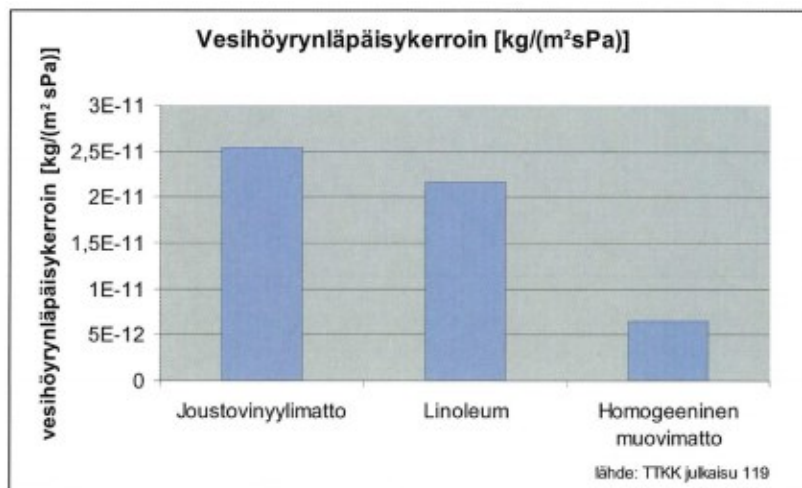
Suurin osa lattiapäällystemateriaaleista kiinnitetään betonialustaan liimaamalla. Tällaisia päällyste-materiaaleja ovat muovi-, kumi-, linoleum ja tekstiilipäällysteet sekä lauta-, sauva- ja mosaiikkipar-keit. Alustaan liimattavien materiaalien kohdalla tulee päällystemateriaalin kosteuskestävyyden li-säksi huomioida käytettävän liiman kosteudenkestävyys sekä liiman vaikutus alustabetonin pinta-osien kosteuspitoisuuden nousuun. (Merikallio ym. 2007, 56-57.)

#### 5.1.1 Muovi-, kumi-, linoleum- ja tekstiilipäällysteet

Muovia alettiin käyttämään lattian päällystemateriaalina 1950-luvulla. Ennen muovin tuloa markki-noille linoleum toimi eniten käytettynä mattotyypinä, mutta muovin useat hyvät ominaisuudet pääl-lystemateriaalina ovat tehneet siitä nykyisin yleisimmin käytettävän lattiamateriaalin. Muovipäälly-steitä tehdään sekä mattoina että laattoina. (SIT 42-610071 Lattianpäällysteet. Muovi, linoleum, kumi ja korkki. Ohje 2010, 2.)

Muovimatot voidaan jakaa rakenteen mukaan yksiaineisiin (homogeenisiin) muovimattoihin ja peh-meisiin kerroksellisiin joustovinyylimattoihin. Kosteudenkestävyydeltään yksiaineiset muovimatot ovat joustovinyylimattoja parempia, mutta toisaalta niiden vesihöyrynläpäisevyys on alhaisempi, jo-ten ne mahdollistavat paremmin alustabetonin kosteuden kerääntymisen maton alle. Yksiaineiset muovimatot kestävät jopa 90 %:n suhteellista kosteuspitoisuutta, kun taas joustovinyylimattojen kriittisenä suhteellisen kosteuden arvona pidetään 85 %. Paremman kulutuksenkestävyytensä ansi-osta yksiaineisia muovimattoja käytetään enemmän julkisissa tiloissa, kun taas joustovinyylimattoja

käytetään tavallisesti asuinhuoneissa. (Merikallio ym. 2007, 48.) Kuvassa 18 on esitetty muovimattojen ja linoleumin vesihöyrynläpäisevyyskertoimia. Kuvasta voidaan havaita, että yksiaineiset muovimatot ovat huomattavasti tiiviimpiä joustovinyylimattoihin verrattuna.



KUVA 18. Muovimattojen ja linoleumin vesihöyrynläpäisykerroimet (Merikallio ym. 2007, 48)

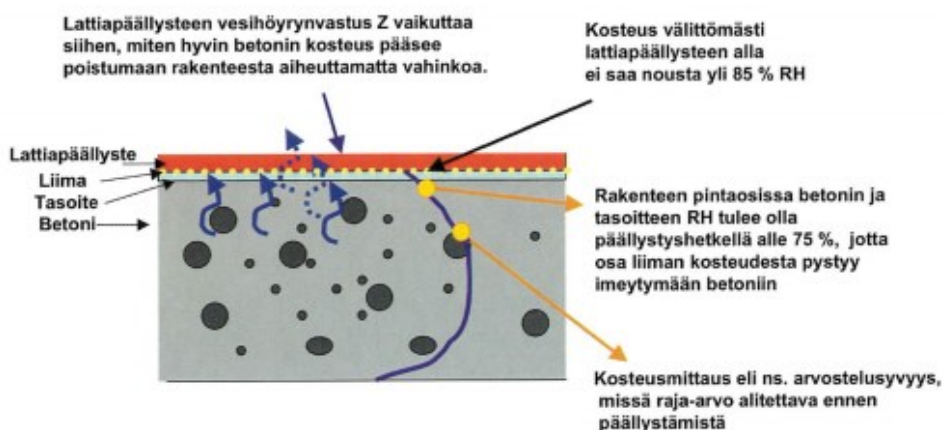
Linoleumia alettiin käyttää lattiapäällystemateriaalina 1880-luvulla ja sitä käytettiin yleisesti aina 1960-luvulle asti, jolloin sen käyttö väheni muovipäällysteiden yleistymisen seurauksena. Linoleumia valmistetaan keittämällä pellavaöljyä ja hartsia sekä lisäämällä seokseen puu- tai korkkijauhetta, kalkkikiveä ja väriaineita. Sen pohjakerroksena toimii tavallisesti juuttikangas. (SIT 42-610071 Lattianpäällysteet. Muovi, linoleum, kumi ja korkki. Ohje 2010, 5.)

Linoleum on muovimattoihin nähden herkempi mikrobivaurioitumaan, koska se valmistetaan osin orgaanisesta materiaalista. Mikrobikasvua ei kuitenkaan pääse syntymään ilman pitkäkestoista ja tarpeeksi korkeaa kosteuspitoisuutta. Muutaman kuukauden ajan vaikuttava 90 %:n suhteellinen kosteuspitoisuus päällysteen alla ei vielä riitä aikaansaamaan mikrobikasvua, koska betonin alkalisuus, päällysteen alapuolisen tilan puutteellinen happimäärä ja päällysteen alapinnan suojäkäsittely heikentävät mikrobikasvun mahdollisuuksia. Linoleumpäällysteissä havaitut mikrobivauriot ovatkin olleet pääosin peräisin ulkopuolisista kosteuslähteistä kuten putkivuodoista tai maaperän kosteudesta. Linoleum läpäisee joustovinyylimaton tavoin hyvin vesihöyryä, mutta se kutistuu ja turpoaa kosteus- ja lämpötilamuutoksien mukaan. Linoleumilla päällystettäessä voidaan alustabetonilta sallia määrättyllä arviointisyvyydellä 85 %:n suhteellinen kosteuspitoisuus. (Merikallio ym. 2007, 49.)

Kumipäällysteitä tehdään sekä mattoina että laattoina. Yleensä rakenne on homogeeninen, mutta erityisiä tarkoituksia varten valmistetaan lisäksi monikerroksisia tai eriaineisia kumipäällysteitä. Kumipäällysteiden hyviin ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa kulutuksenkestävyys, pitkäikäisyys ja askelääntä vaimentavat ominaisuudet. Käyttökohteita kumipäällysteillä ovat esimerkiksi urheilutilat, kulkuvälineet ja julkiset tilat. (SIT 42-610071 Lattianpäällysteet. Muovi, linoleum, kumi ja korkki. Ohje 2010, 6.) Kumimatot ovat vesihöyrynläpäisevyydeltään tiiviitä ja niitä voidaan verrata yksiainei-

siin muovimattoihin vesihöyrynläpäisevyyssominaisuuksiltaan. Kumimatolla päällystettäessä alustabetonin sallittu suhteellinen kosteuspitoisuus määrätyllä arviointisyvyydellä on 85 %. (Merikallio ym. 2007, 49-50.)

Tekstiilipäällysteitä valmistetaan sekä mattoina että laattoina. Ne voidaan jakaa valmistustavan ja rakenteen mukaan kudottuihin, flokattuihin ja tuftattuihin tekstiilipäällysteisiin sekä neulahuopamattoihin ja kudottuihin vinyylimattoihin. (Vänskä 2019, 36-40.) Tekstiilipäällysteen rakenteeseen kuuluu tavallisesti kulutuspinna, välikerros ja alusta. Kulutuspinna on tyypillisesti polyamidia tai esimerkiksi villan ja polyamidin tai polyesterin sekoituksia. Välikerros on yleensä polyesteriä tai polyesterin ja polyamidin sekoitusta. Alustana voi toimia lasikuituverkko, muovi, huopakangas tai modifioitu bitumi, jonka alla on polyesterikangasta. (Kinnunen 2020, 24.) Tekstiilipäällysteiden kosteudensietokyky vaihtelee sen mukaan, mistä materiaalista ne on valmistettu. Päällystettävyyssosteuden arvona pidetään 85 %:n suhteellista kosteutta, jos tekstiilipäällyste on luonnonmateriaalia tai matossa on alusrakenne. Puolestaan täyssynteettisillä tekstiilipäällysteillä ilman alusrakennetta päällystettävyyssosteuden arvo on 90 % RH. (Merikallio ym. 2007, 50.) Kuvassa 19 on havainnollistettu huomioon otettavia asioita, kun päällystetään betonilattia muovi-, kumi-, linoleum- tai tekstiilipäällysteellä.



KUVA 19. Muovi-, kumi-, linoleum- tai tekstiilimatolla päällystettäessä huomioitavat kosteustekniset tekijät (Merikallio ym. 2007, 50)

### 5.1.2 Alustaan liimattavat lautaparketit

Lautaparketti on nykyisin yleisimmin käytetty parkettimalli. Lautaparketti koostuu tavallisesti kolmesta ristiin liimatusta kerroksesta, pintakerroksesta, välikerroksesta ja pohjakerroksesta. Pintakerroksena on useimmiten 3,5-5 mm paksu kokopuinen kulutuspinna. Välikerroksena käytetään tavallisesti edullisesta puumateriaalista kuten havupuusta valmistettuja lamelleja, joiden syysuunta on vastakkainen pinta- ja pohjakerrokseen nähden. Alimmaisena rakenteessa on pintakerroksen suuntainen, yleisimmin puurimoista koottu pohjakerros. (SIT 42-610074 Parkettilattiat. Ohje 2010, 2.) Lautaparketin poikittainen välikerros vähentää kosteusvaihteluista aiheutuvaa puun elämistä. Lautaparketti soveltuu muiden täyspuisten lattioiden tavoin pelkästään kuiviin tiloihin. Sen kulutuskestävyys

on huonompi kuin massiivipuisten, joten sitä käytetään pääasiassa asuintiloihin ja kevyeen julkiseen käyttöön kuten toimistoihin. (Vänskä 2019, 34.)

Alustaan liimattava lautaparketin kosteus riippuu sekä alustabetonin kosteudesta että sisäilman kosteudesta. Kosteuspitoisuuden nouseminen aiheuttaa parketin turpoamista ja puolestaan kosteuden laskemisesta seuraa parketin kutistuminen. Parketille optimaalinen sisäilman suhteellinen kosteus on 35-60 %, mutta talvella sisäilman suhteellinen kosteus on monesti tätä pienempi, aiheuttaen mahdollisesti parketin kutistumista ja sen myötä lautaparketin rakoilua. Kutistumisesta aiheutuvat raot umpeutuvat, kun ilman kosteus jälleen nousee ja parketti turpoaa. Ilman kosteuden voimakas nousminen voi saada aikaan lautaparketin irtoamisen alustastaan turvotessaan. Muita mahdollisia lautaparketin vaurioita ovat liiallisesta kosteudesta aiheutuvat mikrobivauriot sekä kutistuma- ja turpoamisliikkeistä aiheutuva tartunnan heikentyminen alustabetoniin. (Merikallio ym. 2007, 54.)

Parketin kriittisenä kosteuspitoisuutena pidetään 75 %:n suhteellista kosteutta yleisimpien parkettilajien osalta, mutta osalla puulajeista raja-arvo on vielä merkittävästi alhaisempi. Lautaparketeissa tulee huomioida myös, että kosteuspitoisuusero rakenteen ylä- ja alapuolen välillä ei saa kasvaa liian suureksi. Lautaparketti läpäisee hyvin vesihöyryä, joten tärkeintä on alustabetonin pintaosan riittävä kuivuus. Hyvä vesihöyrynläpäisevyys mahdollistaa syvemmältä alustabetonista siirtyvän kosteuden haihtumisen lautaparketin läpi ilman, että kosteus kerääntyy lautaparketin alle ja vaurioittaa sitä. Tämän vuoksi alustabetonin määrättyllä arviointisyvyydellä voidaan sallia korkeampi kosteuspitoisuus kuin pinnassa. Tavanomaisella betonilla arviointisyvyyden suhteellisen kosteuspitoisuuden tulee olla alle 85 % ja erikoisbetonilla (v/s-suhde < 0,5) alle 90 %. Betonilaadusta riippumatta pintaosien suhteellinen kosteuspitoisuus 1-3 cm:n syvyydellä tulee olla alle 75 %. (Merikallio ym. 2007, 54-55.)

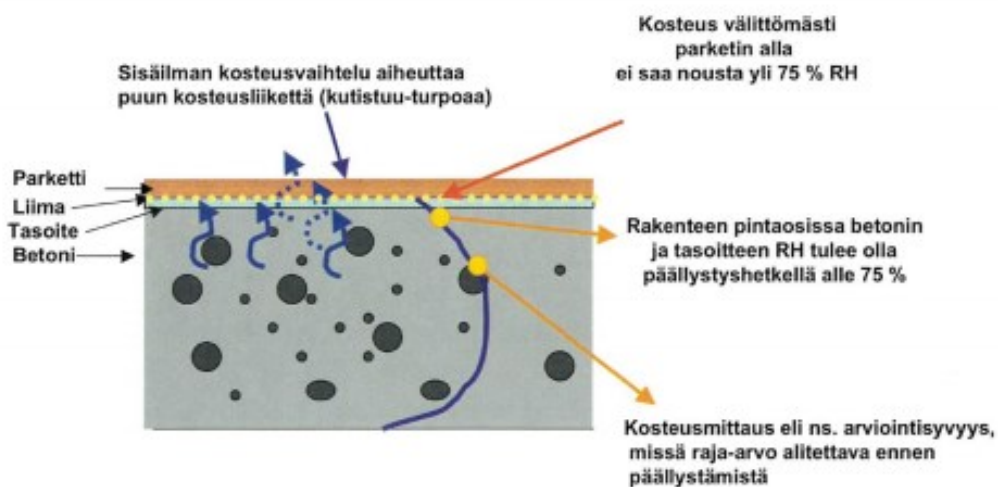
### 5.1.3 Sauva- ja mosaiikkiparketit

Sauva- ja mosaiikkiparketit ovat koko paksuudeltaan massiivipuuta. Tammi on yleisin parketeissa käytetty puulaji, mutta sen lisäksi käytetään myös esimerkiksi pyökkiä, saarnia, koivua ja vaahteraa. Sauva- ja mosaiikkiparketit ovat pitkäikäisiä ja niiden kulutuksenkesto on hyvä. Sauva- ja mosaiikkiparketeilla kosteusvaihteluista johtuva eläminen on tavallisesti suurempaa kuin lautaparketilla, koska massiivipuussa ei ole lautaparketin tapaan poikittaista välikerrosta, joka vähentäisi puun elämistä. Mosaiikkiparketti koostuu sauvaparkettiin nähden pienemmistä puokappaleista, joten kosteusvaihteluista johtuva eläminen on sillä yleensä vähäisempää kuin sauvaparketilla. Mosaiikkiparkettia käytetään asuintilojen lattioissa ja myös usein tanssilattioissa. Kalliimman sauvaparketin käyttökohteita ovat sen sijaan hienot ravintolat sekä edustus- ja juhlatilat. (SIT 42-610074 Parketilattiat. Ohje 2010, 2-3; Vänskä 2019, 33.)

Mosaiikkiparketti voidaan liimata joko suoraan betonin pintaan tai vanerilevyalustaan. Liiman ominaisuudet sekä parketin ja alustan välinen tartunta vaikuttavat merkittävästi parketin kykyyn sietää kosteusvaihteluista aiheutuvaa elämistä. Hyvän tartunnan edellytyksiä ovat betonipinnan riittävä lujuus, suoruus ja pölyttömyys. Betonipinnan vaatiessa tasoitusta on käytettävä mosaiikkiparketillem soveltuvaa tasoitetta, koska kaikki tasoitteet eivät ole soveltuvia alustaan liimattavien parkettien alle. Lopputuloksen kannalta paras ratkaisu on käyttää vanerilevyalustaa, joka liimataan ja pultataan alustabetonin päälle, minkä jälkeen parketti liimataan vanerilevyn päälle. Parketin liimaamisessa on

olennaista käyttää juuri mosaiikkiparketien kiinnitykseen soveltuvaa liimaa. (Merikallio ym. 2007, 51.)

Lautaparketin tavoin sauva- ja mosaiikkiparketien kosteusrasituksien lähteitä ovat sisäilman ja alustabetonin kosteus. Kosteusvaihtelut aiheuttavat parketin turpoamista ja kutistumista. Riittävät liikuntavarat ja hyvä parketin ja alustan välinen tartunta ovat keinoja, joilla pystytään vähentämään turpoamisesta aiheutuvaa parketin irtoamista. Käytettäessä erittäin kosteusherkeistä puulajeista tehtyjä parketteja joudutaan huonetilassa käyttämään koneellista ilmankostutus- ja kuivatusjärjestelmää, jonka avulla ilman suhteellinen kosteus pysyy koko ajan 40-60 %:n välillä estäen näin suuret kosteusvaihtelut. Parketin kosteuselämiseen vaikuttaa lisäksi puun asennusaikainen kosteus, joka ollessaan liian alhainen voi aiheuttaa parketin turpoamisen heti asennuksen jälkeen ilman kosteuden ja vesiohenteisen liiman vaikutuksesta. Sauva- ja mosaiikkiparketeilla päällystettävyyksikosteuden raja-arvot alustabetonille ovat arviointisyvyydellä normaalilla betonilla 85 % RH ja erikoisbetonilla (v/suhde < 0,5) 90 % RH sekä pintaosissa 1-3 cm:n syvyydellä 75 % RH betonilaadusta riippumatta. (Merikallio ym. 2007, 51-52.) Kuvassa 20 on havainnollistettu huomioitavia asioita, kun päällystetään betonilattia alustaan liimattavalla lauta-, sauva- tai mosaiikkiparketilla.



KUVA 20. Betonialustaan liimattavalla parketilla päällystettäessä huomioitavat kosteustekniset tekijät (Merikallio ym. 2007, 52)

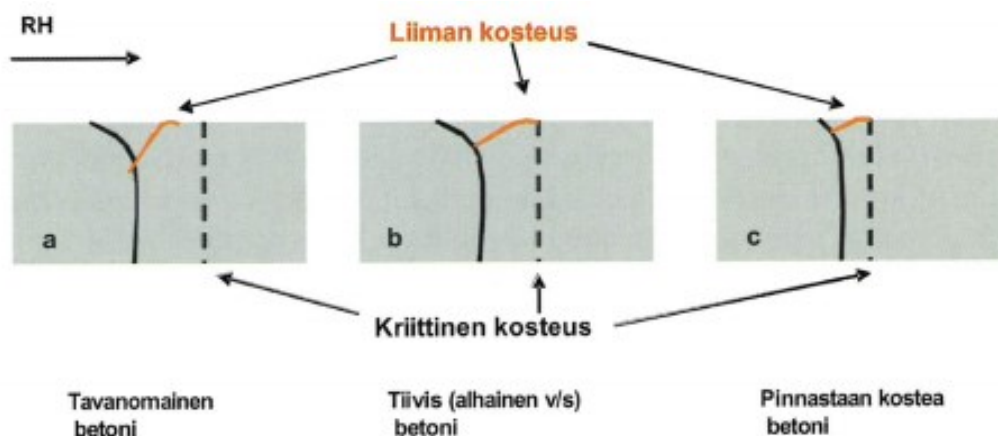
#### 5.1.4 Matto- ja parkettiliimat

Eri lattiapäällystemateriaalien kiinnityksessä käytetään omia liimatyyppejänsä, jotka eroavat toisistaan pääasiassa pääsideaineiden osalta. Nykyisin käytettävät liimat ovat yleensä yksipuolisesti alustaan levitettäviä vesiohenteisiä dispersioliimoja, mutta myös kontaktiliimoja tai kaksikomponenttisiä reaktioliimoja käytetään joissakin tapauksissa. (Merikallio ym. 2007, 56.)

Liimausmenetelmät jaetaan tarra- ja märkäliimaukseen. Tarraliimauksessa liiman annetaan ilmottua ennen kuin päällyste asennetaan. Päällyste lasketaan aluksi levitetyn liiman päälle ja hierretään kevyesti, jonka jälkeen se nostetaan ylös ja odotetaan liimapintojen ilmottumista olosuhteista ja liimatyypistä riippuen noin 10-30 minuuttia. Lopuksi päällyste painetaan kiinni ja hierretään kunnolla. Tarraliimauksen valintaperusteita ovat päällysteen jäykkyys, alustan huono imukyky tai tarve tehdä taivutuksia päällysteeseen. Märkäliimauksessa puolestaan päällyste painetaan saman tien alustaan ja hierretään huolellisesti kiinni. Kontaktiliimojen tapauksessa liima levitetään molempiin pintoihin ja annetaan liimakalvon kuivua liimalaadusta ja olosuhteista riippuen noin 10-30 minuuttia, jonka jälkeen liimapinnat puristetaan yhteen. (Merikallio ym. 2007, 56.)

Päällystemateriaalien kosteuskestävyyden lisäksi tulee huomioida myös liimojen kosteudensietokyky, joka on eri materiaaleilla erilainen. Monilla vesiliukoisilla liimoilla kriittisenä kosteuspitoisuutena pidetään 85 %:n suhteellista kosteutta, kun taas toiset kestävät jopa 90 %:n suhteellista kosteutta. Kaksi-komponenttiliimojen kosteudensietokyky on vielä tätäkin parempi. Haasteena matto- ja parkettiliimoissa on liiman mahdollinen reagointi betonin korkeaan alkalisuuteen, joka voi aiheuttaa päällysteen irtoamisen alustasta ja terveydelle haitallisten yhdisteiden emittoitumisen sisäilmaan. (Merikallio ym. 2007, 57.)

Liiman levittäminen alustabetonin pintaan nostaa merkittävästi betonirakenteen pintaosien kosteuspitoisuutta liiman sisältämän vesimäärän vuoksi. Kasvun suuruus on riippuvainen betonipinnan imukykyä ja kosteuspitoisuudesta ennen liimausta. Pahimmassa tapauksessa suhteellinen kosteuspitoisuus päällysteen alla voi nousta jopa 100 %:iin suuren liimamäärän ja betonipinnan huonon imukyvyn seurauksena, mistä voi seurata kemiallisia päästöjä ja materiaalien vaurioitumista. Päällystemateriaalia liimattaessa tulee huomioida, että alustabetonin pintaosat ovat tarpeeksi kuivat vastaanottamaan liiman sisältämän kosteuden. Pintaosien kosteus vaikuttaa suoraan siihen, kuinka kauan liimakerroksen kosteuspitoisuus pysyy korkeana aiheuttaen herkemmin vaurioitumista päällysteeseen ja itse liimaan. Myös betonilaatu vaikuttaa liiman kosteuden aiheuttamaan betonipinnan kosteuspitoisuuden nousuun siten, että tiiviimmällä betonilla liiman kosteuden vaikutus on suurempi. Lattiarakenteen emissiomääriä pystytään vähentämään huomattavasti antamalla liiman kosteuden haihtua tarpeeksi ennen kuin päällyste asennetaan. (Merikallio ym. 2007, 57-58.) Kuvassa 21 on esitetty betonin tiivyyden vaikutusta vedenimukykyyn. Alhaisen vesi-sementtisuhteen omaava tiivis tai alun perin pinnastaan kostea betoni imee huonosti liiman kosteutta, jolloin betonirakenteen pintaosien kosteus voi nousta kriittisen korkeaksi.



KUVA 21. Betonin tiiviyden vaikutus sen kykyyn imeä liiman kosteutta (Merikallio ym. 2007, 57)

## 5.2 Kelluvat päällysteet

Osa lattiapäällystemateriaaleista asennetaan ilman liimaamista alustaan, jolloin puhutaan kelluvista päällysteistä. Kelluvissa päällysteissä alustabetonin ja päällystemateriaalin väliin asennetaan jokin vesihöyrynläpäisykyvyltään tiivis alusmateriaali, joka hidastaa kosteuden pääsyä alustabetonista päällystemateriaaliin. Tällaisia lattiapäällystemateriaaleja ovat kelluvat lautaparketit ja laminaattilattiat. (Merikallio ym. 2007, 58-61.)

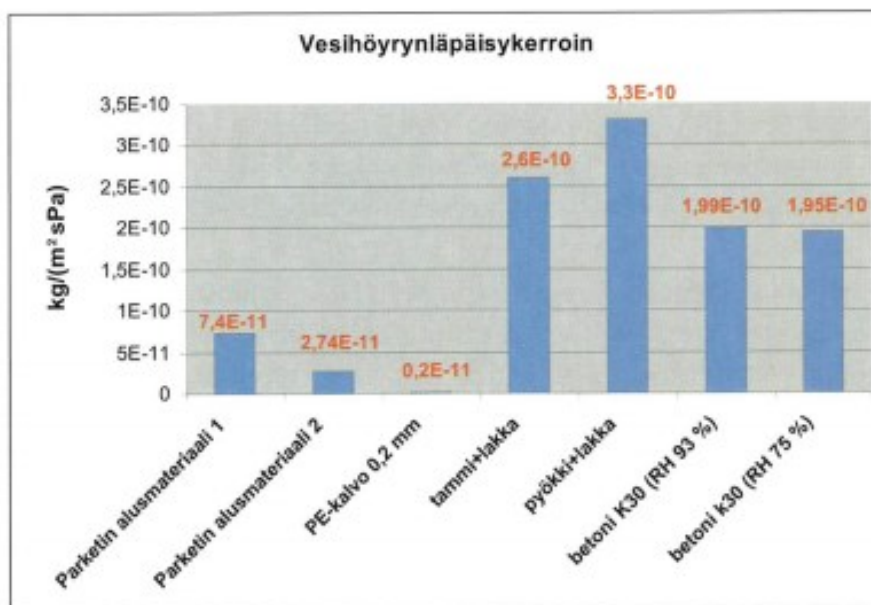
### 5.2.1 Kelluvat lautaparketit

Kelluva lautaparketti on rakenteeltaan samanlainen kuin luvussa 5.1.2 käsitelty alustaan liimattava lautaparketti, mutta niiden erona on toisistaan poikkeava asennustapa. Lautaparketti koostuu siis kolmesta toisiinsa liimatusta kerroksesta, joista poikittainen välikerros vähentää kosteusvaihteluista johtuvaa puun elämistä. Välikerroksen takia lautaparketti on kosteudenkestävyydeltään parempi verrattuna sauva- ja mosaiikkiparketteihin, mutta siitä huolimatta sisäilman kosteus ja rakennekosteus voivat aiheuttaa lautaparkettiin vaurioita. (Merikallio ym. 2007, 58.)

Kelluvassa lautaparketissa alustabetonin ja päällysteen väliin asennetaan alusmateriaali, joka toimii sekä askeläänieristeenä että kosteuseristeenä. Alusmateriaalin vesihöyrynläpäisevyydellä on merkittävä vaikutus koko lattiarakenteen kosteustekniseen toimivuuteen. Alusmateriaalina on käytetty aiemmin suhteellisen korkean vesihöyrynläpäisevyyden omaavia solumuovia ja aaltopahvia, mutta nykyiset alusmateriaalit ovat vesihöyrynläpäisevyydeltään huomattavasti tiiviimpiä. Suurin osa nykyisistä alusmateriaaleista hidastaa vesihöyryn kulkeutumista päällystemateriaaliin sen verran vahvasti, että alustabetonin kosteudella ei ole vaikutusta parkettiin, jolloin parketin eläminen aiheutuu pelkästään ilman kosteusvaihteluista. (Merikallio ym. 2007, 58.)

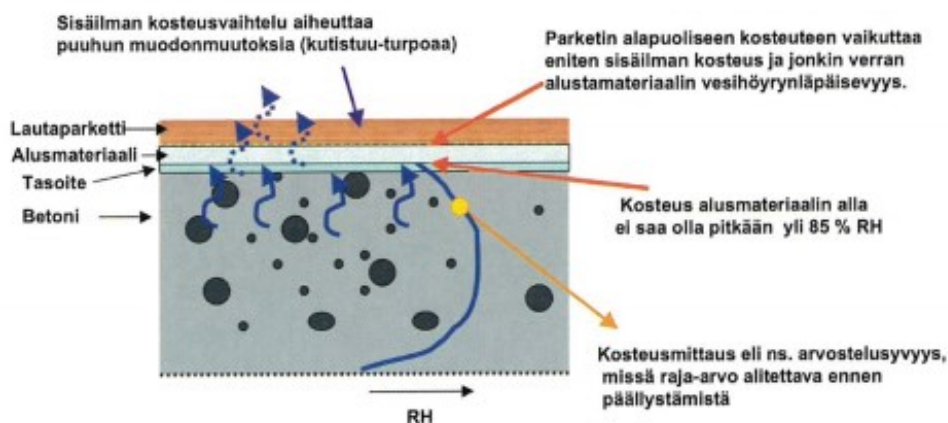
Ongelmaksi vesihöyrynläpäisevyydeltään tiiviissä alusmateriaalissa voi muodostua alustabetonin kosteuden kerääntyminen alusmateriaalin alapintaan. Tiiviin polyeteenikalvon käyttö alusmateriaalin kanssa lisää entisestään riskiä, että kosteuspitoisuus alusmateriaalin alla nousee liian korkeaksi. Liian korkeasta kosteuspitoisuudesta alusmateriaalin alla voi aiheutua esimerkiksi tasoitteiden lujuusomi-

naisuuksien heikentymistä ja betonin pinnassa mahdollisesti olevien orgaanisten aineiden mikrobi-vaurioitumista. Rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta on parasta, jos alusmateriaali läpäisee jossain määrin vesihöyryä, mutta vesihöyrynläpäisevyys on silti huomattavasti pienempi kuin itse parketilla. Suurin osa nykyisistä alusmateriaaleista ovatkin vesihöyrynläpäisevyydeltään tällaisia, joissa kosteus ei pääse kerääntymään alusmateriaalin alle. (Merikallio ym. 2007, 58-59.) Kuvassa 22 on esitetty eri materiaalien vesihöyrynläpäisykertoimia. Kuvasta voidaan havaita, että parketin alusmateriaalit läpäisevät vesihöyryä selvästi hitaammin kuin itse parketti ja puolestaan polyeteenikalvo on vesihöyrynläpäisevyydeltään erittäin tiivis.



KUVA 22. Parketin alusmateriaalien, polyeteenikalvon, parkettien ja betonin vesihöyrynläpäisykertoimia (Merikallio ym. 2007, 59)

Kelluvalla lautaparketilla päällystettäessä alustabetonin kosteuspitoisuuden tulee olla määrättyllä arviointisyvyydellä alle 85 % RH ja pintaosissa 1-3 cm:n syvyydellä alle 75 % RH, jotta kosteuspitoisuus alusmateriaalin alla ei pääse nousemaan liian korkeaksi vaurioittaen mahdollisia tasoitteita ja pinnalle jääneitä orgaanisia aineita. Kelluvan lautaparketin asennuksessa tulee kiinnittää huomioita myös parketin liikuntavaraan, koska vuodenaikojen välillä tapahtuvat suuret sisäilman kosteusvaihtelut aiheuttavat parketin rakoilua ja turpoamista. Liikuntavarojen ollessa liian pienet, parketti voi kosteusvaihtelujen seurauksena kohota alustastaan ja alkaa jopa pitämään ylimääräistä ääntä. (Merikallio ym. 2007, 59-60.) Kuvassa 23 on esitetty huomioon otettavia asioita, kun päällystetään betonilattia kelluvalla lautaparketilla.



KUVA 23. Kelluvalla lautaparketilla päällystettäessä huomioitavat kosteustekniset tekijät (Merikallio ym. 2007, 59)

### 5.2.2 Laminaattilattiat

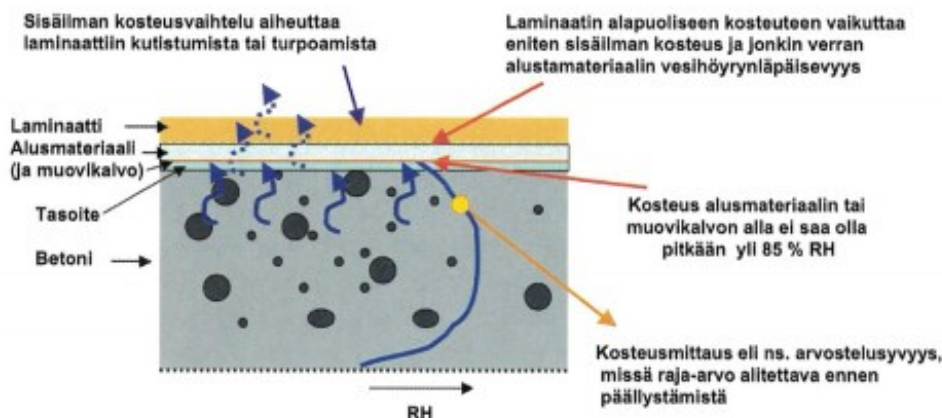
Laminaattilattian runkomateriaalina toimii puolikova (MDF) tai kova (HDF) puukuitulevy, joka pinnoitetaan eli laminoidaan hartsilla kyllästetyllä kuviopaperilla, johon pystytään tekemään aidonnäköisiä puu- ja kivikuvioita. Kuviopaperin päällä on kulutusta kestävä pinnoite, joka voi olla materiaaliltaan korkeapainelaminaatti (HPL), jatkuvapuristeinen laminaatti (CPL) tai suoralaminaatti (DPL). Pohjamateriaalina toimii laminaatti tai paperi. Laminaattilattia on kovaa ja sen kulutuksenkesto on suhteellisen hyvä. Sen käyttökohteita ovat esimerkiksi asuintilat, toimistot, hotellit ja myymälät. Hinnaltaan edullisempaa suoralaminaattia käytetään paljon asuinhuoneistoihin, kun taas kalliimpi ja kulutuksenkestoltaan parempi korkeapainelaminaatti soveltuu hyvin kovaan julkiseen käyttöön. (Merikallio ym. 2007, 61; Vänskä 2019, 35.)

Laminaattilattia asennetaan alustabetonin pintaan kelluvaksi eli betonin ja laminaatin väliin tulee jokin alusmateriaali. Alusmateriaalin on oltava vesihöyrynläpäisevyydeltään riittävän tiivis, jotta alustabetonin kosteus ei pääse vaikuttamaan laminaattiin. Laminaattilattian alusmateriaaliksi eivät sovellu liian joustavat huopa- tai kennolevyt eikä myöskään korkkiraehuopa. Laminaatin alle voidaan asentaa alusmateriaalin lisäksi 0,2 mm:n polyeteenikalvo, jos alusmateriaalin vesihöyrynläpäisevyys ei ole riittävän alhainen estämään betonin kosteuden vaikutusta laminaattiin. (Merikallio ym. 2007, 61.)

Tiiviin alusmateriaalin kanssa haasteeksi voi muodostua kuitenkin alusmateriaalin alapintaan kertyvä alustabetonin kosteus. Tämän takia alusmateriaalin on oltava ehjä läpikotaisin ja sen saumat on teipattava huolellisesti, jotta alusmateriaalin alapintaan kertynyt kosteus ei pääse vaurioittamaan laminaattia paikallisesti. Lisäksi alusmateriaalin alapintaan kohdistuvien mikrobivaurioiden estämiseksi betonin pintaan ei saa jäädä orgaanisia materiaaleja eikä suhteellinen kosteuspitoisuus alusmateriaalin alapinnassa saa olla pitkän aikaa yli 85 %. (Merikallio ym. 2007, 62.)

Parkettien tavoin laminaattilattiassa tapahtuu sisäilman kosteusvaihteluista johtuvaa elämistä, koska laminaattilattiamateriaalista yli 90 % on puuta. Laminaattilattioiden kanssa suositellaan materiaalivalmistajien toimesta 30-65 %:n suhteellista kosteuspitoisuutta huonetiloissa. Tällöin normaalissa huonelämpötilassa laminaatin muodonmuutoksen voidaan olettaa olevan noin 1 mm/m tasaisesti

jokaiseen suuntaan. Suhteellinen kosteus voi laskea talviaikaan kuitenkin selvästi suositusarvoja alemmaksi, josta voi aiheutua laminaattilattian rakoilua. Kosteusvaihteluista johtuvan elämisen takia laminaattilattian asennuksessa tulee ottaa huomioon riittävät liikuntavarat. Laminaattilattialla päällystettäessä alustabetonin suhteellisen kosteuspitoisuuden on oltava määrättyllä arviointisyvyydellä alle 85 % ja pintaosissa 1-3 cm:n syvyydellä alle 75 %. (Merikallio ym. 2007, 62.) Kuvassa 24 on esitetty huomioon otettavia asioita, kun päällystetään betonilattia laminaatilla.



KUVA 24. Laminaattilattialla päällystettäessä huomioitavat kosteustekniset tekijät (Merikallio ym. 2007, 62)

### 5.3 Keraamiset laatat

Keraamiset laatat valmistetaan pääasiassa savesta, kvartsista ja maasälvästä. Näiden lisäksi valmistuksessa voidaan käyttää esimerkiksi talkkia, wollastoniittia, kalsiittia ja dolomiittia. Kaikki keraamiset laatat valmistetaan polttamalla. Keraamisille laatoille saadaan aikaan erilaisia ominaisuuksia vaihtelemalla polttotapaa, raaka-aineita ja seossuhteita. Laattatyypit jaetaan valmistustekniikan mukaan kuivapuristettuihin, märkäpuristettuihin ja valettuihin laattoihin. Kuiva- ja märkäpuristetut laatat jaetaan vielä lisäksi alaluokkiin tuotteen vedenimukyvyyn mukaan. Kaikilla laattatyypeillä on lasitettu ja lasittamaton vaihtoehto sekä erilaisia pintakäsittelyvaihtoehtoja. Keraamisten laattojen käyttökohteet vaihtelevat asuintiloista julkisiin tiloihin ja niitä käytetään sekä kuivissa että märissä tiloissa. (Merikallio ym. 2007, 64; RT 34-10997 Keraamiset laatat. Ohje 2010, 1-6.)

Laatat kiinnitetään tavallisesti sementtipohjaisella kiinnityslaastilla, laattaliimalla tai epoksilla. Kiinnitysaineen elastisuudella on merkittävä vaikutus siihen, kuinka hyvin se kestää alustabetonin muodonmuutosten aiheuttamaa rasitusta, joka voi pahimmillaan aiheuttaa laattojen irtoamisen betonista. Laattojen kiinnipysyvyyteen vaikuttavat lisäksi alustabetonin pinnan lujuus ja puhtaus sekä laatoitustyön onnistuminen. (Merikallio ym. 2007, 64-65.)

Keraamiset laatat ovat kosteutta kestäviä päällystemateriaaleja, joten alustabetonin kosteus ei suoranaisesti vaurioita laattoja, mutta haasteeksi liian kostean alustabetonin kanssa voi muodostua be-

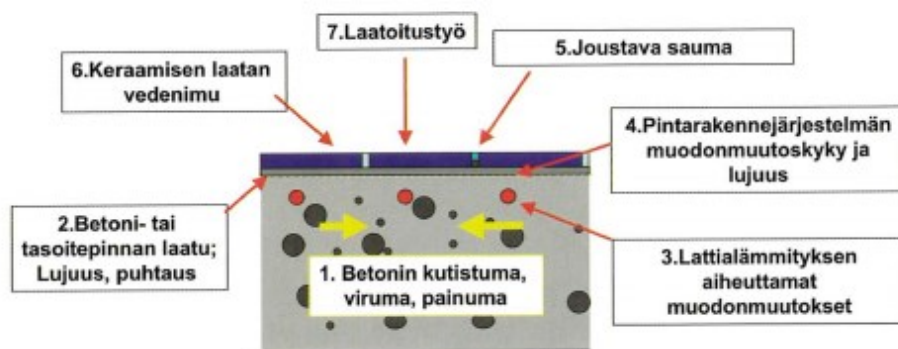
tonin kuivumiskutistuma. Laatoituksen asennuksen jälkeen alustabetonista pääsee edelleen haihtumaan kosteutta saumojen kautta ja betonin kuivuessa siinä tapahtuu kutistumista. Kutistuminen voi aiheuttaa laattojen kiinnityksen peittämisen ja sen myötä laattojen irtoamisen alustastaan. Lisäksi mahdollinen lattialämmitys vaikuttaa sekä alustabetonin että laatoituksen lämpölaajenemisen aiheuttamiin muodonmuutoksiin. Laattojen kiinnipysyvyyden edistämiseksi voidaan käyttää muodonmuutoskykyisiä kiinnitysaineita, huolehtia alustabetonin riittävästä kuivumisesta ja betonipinnan riittävästä puhtaudesta ja lujuudesta sekä noudattaa tuotekohtaisia ohjeistuksia laatoitustyössä. (Merikallio ym. 2007, 64-65.)

Mitä kuivempi alustabetoni on päällystyshetkellä, sitä parempi tilanne on laattojen kiinnipysyvyyden suhteen, koska betonin kutistumista tapahtuu silloin vähemmän laatoittamisen jälkeen. Suurimmalla osalla betonilaadusta riittävän alhainen suhteellinen kosteuspitoisuus päällystyshetkellä on 80 %, jolloin laatoituksen kiinnitykseltä ei vaadita erityistä elastisuutta. Keraamisten laattojen kanssa erityisen tärkeää onkin aina varmistaa, että pintarakennejärjestelmän muodonmuutoskyky on suurempi kuin alustabetonin päällystysten jälkeinen kutistuma. (Merikallio ym. 2007, 65-66.) Kuvassa 25 on esitetty betonin päällystyshetken suhteellisen kosteuden vaikutusta oletettuun kutistumaan laatoituksen jälkeen, kun betonirakenne kuivuu 50 %:n suhteelliseen kosteuspitoisuuteen.

<b>Keraamiset laatat, kuivat tilat</b>	<b>Betonin RH (%) arviointisyvydellä A</b>
<b>Mahdollinen oletettu kutistuma laatoituksen jälkeen (mm/m)*</b>	
0,45–0,65	95
0,35–0,55	90
0,3–0,4	85
0,2–0,3	80

KUVA 25. Oletettu betonin kutistuma laatoituksen jälkeen eri lähtökosteuksilla (Merikallio ym. 2007, 66)

Kuivumiskutistumaa ja laattojen kiinnipysyvyyttä ajatellen olisi turvallisinta, jos alustabetonin annetaan kuivua määrättyllä arviointisyvydellä 80 %:n suhteelliseen kosteuteen ennen laatoittamista, koska silloin useimpien betonilaatujen kohdalla merkittävä osa kuivumiskutistumasta on jo tapahtunut. Hyvin usein tiukkojen rakentamisaikataulujen takia betoni halutaan kuitenkin päällystää tätä aiemmin, esimerkiksi betonin suhteellisen kosteuden ollessa 90 %. Tällöinkin hyvän lopputuloksen saavuttaminen on mahdollista, kun käytetään muodonmuutoskykyistä pintarakennejärjestelmää, tehdään laatoitukseen joustavia saumoja ja saavutetaan hyvä tartuntalujuus. (Merikallio ym. 2007, 68.) Kuvassa 26 on havainnollistettu huomioon otettavia asioita, kun päällystetään betonillattia ke-raamisilla laatoilla.



KUVA 26. Keraamisilla laatoilla päällystettäessä huomioitavat tekijät (Merikallio ym. 2007, 66)

#### 5.4 Pinnoitteet

Betonilattian pinnoitteet ovat mekaanista ja kemiallista rasitusta kestäviä, yleensä vähintään kahden eri tuotteen yhdistelmiä, joissa tehdään ensin pohjustuskäsittely ja tämän päälle varsinainen pinnoitus. Pinnoitteet voidaan jakaa ominaisuuksien ja koostumuksen perusteella eri pinnoitetyyppeihin, joita ovat itsesiliävät massapinnoitteet, hierrettävät massapinnoitteet, pölynsidonta-aineet, sementti-polymerimassat, ohennettavat maalit ja lakat sekä liuotteettomat maalit, lakat ja pinnoitteet. Yleisimmin käytettäviä pinnoitemateriaaleja ovat akryylit, polyuretaanit ja epoksit. Betonilattian pinnoitteiden tavanomaisimpia käyttökohteita ovat teollisuus-, varasto- ja kellaritilat sekä autohallit. Jotkut pinnoitteista kestävät jopa kapillaarista kosteutta, mutta useimmat pinnoitteet edellyttävät, että pinnoitettaessa alustabetonin kosteus ei ole kapillaarisella alueella eli betonin suhteellinen kosteus on enimmillään 97 %. (Merikallio ym. 2007, 74-75.)

Akryyliä käytetään pääasiassa hierrettävissä massapinnoitteissa. Akryylihartsi pystytään pigmentoimaan ja käyttämään hieman kiviaineksella täytettynä itsesiliävänä massana tai telattuna ohuena pinnoitteena. Akryylimassa on nopeasti kovettuvaa, joten se voidaan ottaa käyttöön jo muutaman tunnin kuluttua levityksestä. Lisäksi sitä voidaan levittää alhaisissa lämpötiloissa. Akryylimassan kemiallisen rasituksen kestävyys ei ole yhtä hyvä kuin epoksilla ja polyuretaanilla, joten se ei kestä voimakkaita liuotteita tai emäksiä. Akryyliä levitettäessä alustabetonin pinnassa ei saa olla tiivistynyttä kosteutta, vaan betonin suhteellinen kosteuspitoisuus saa olla enimmillään 97 %. (Merikallio ym. 2007, 75; Vänskä 2019, 47.)

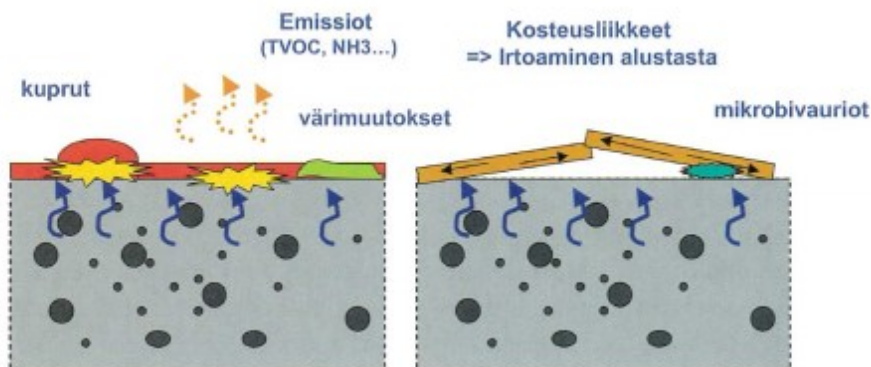
Polyuretaanipinnoitteet ovat elastisia, kulutusta kestäviä, iskunkestäviä ja vesitiiviitä pinnoitteita. Polyuretaanilla on lisäksi hyvä kemiallisen rasituksen kestävyys, joten se kestävä hyvin polttoaineita, kemikaaleja ja öljyjä. Perinteiset polyuretaanipinnoitteet ovat epoksi- ja akryylipinnoitteisiin nähden herkempiä kosteudelle ja ne edellyttävätkin alustabetonin kosteuspitoisuudelta alle 90 %:n suhteellista kosteutta. Sen sijaan sementtipolymeripinnoitteet vaativat, että alustabetonin pinta on kostea, kun sitä aletaan pinnoittaa. (Merikallio ym. 2007, 75.)

Epoksit jaetaan liuotteen perusteella liuotinhenteisiin, vesiohenteisiin ja liuotteettomiin. Liuotinhenteisiä epoksilakkoja käytetään pääasiassa hyvin betonin pintaan tarttuvina pohjustuslakkoina ja

hierrettävien epoksinnoitteiden pintalakkana. Vesiohenteisia epokseja puolestaan käytetään maa-leihin, lakkoihin, itsesiliäviin massoihin ja hierrettäviin massoihin. Vesiohenteiset pinnoitteet läpäisevät hyvin vesihöyryä, joten alustabetonin kosteus pääsee siirtymään pinnoitteen läpi. Tästä voi kuitenkin seurata betonin liiallisesta kuivumiskutistumisesta aiheutuva pinnoitteen irtoaminen. Epoksinpinnoitteet kestävät tavallisesti hyvin betonin kosteutta, mutta alustabetonin kosteus ei kuitenkaan saa olla kapillaarisella alueella eli sen suhteellinen kosteuspitoisuus saa olla enimmillään 97 %. Kapillaarisella alueella olevasta kosteudesta voi seurata pinnoitteen alle osmoottinen paine, joka aiheuttaa pinnoitteen hilseilyä ja kuplimista. (Merikallio ym. 2007, 75.)

## 5.5 Kosteudesta aiheutuvat päällyste- ja pinnoitevauriot

Alustabetonin korkea kosteuspitoisuus päällystyshetkellä tai sen jälkeen voi aiheuttaa erilaisia päällyste- ja pinnoitevaurioita. Toinen vaurioiden aiheuttaja on rakennetta ympäröivän ilman kosteuden vaihtelu. Betonin kosteuden aiheuttamia vaurioita ovat esimerkiksi päällysteen värjäytyminen ja irtoaminen alustastaan, mikrobikasvu sekä kemialliset hajoamisreaktiot, joissa sisäilmaan emittoituu haitallisia yhdisteitä (kuva 27). Sen sijaan betoni itse ei vaurioidu kosteuden vaikutuksesta, mutta kosteus saa betonissa aikaan muodonmuutoksia kuten kutistumista ja turpoamista, jotka voivat johtaa päällysteen irtoamiseen. (Merikallio ym. 2007, 32.)

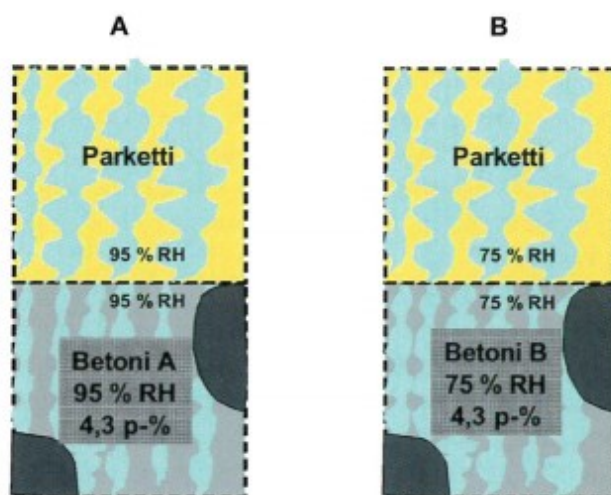


KUVA 27. Alustabetonin kosteuden aiheuttamat päällyste- ja pinnoitevauriot (Merikallio ym. 2007, 32)

### 5.5.1 Kriittinen kosteuspitoisuus

Päällyste- ja pinnoitevaurioiden ehkäisyssä tärkein asia on alustabetonin riittävä kuivattaminen ennen päällystämistä tai pinnoittamista. Tämän takia kullekin päällyste- ja pinnoitemateriaalille on määritetty suhteellisena kosteutena ilmoitettava kriittinen kosteuspitoisuus, jonka arvo riippuu materiaalin kosteudensietokyvystä ja vesihöyrynläpäisevyydestä. Suhteellinen kosteuspitoisuus mitataan betonirakenteesta aina ennen päällystämistä tai pinnoittamista. Kosteusvaurioituminen on kuitenkin monen tekijän summa, joten tarkkoja raja-arvoja vaurioitumiselle on mahdoton antaa. Tästä syystä kriittisen kosteuspitoisuuden arvoissa onkin tavallisesti otettu huomioon varmuusmarginaalit. (Merikallio ym. 2007, 32.)

Materiaalin kyky sitoa kosteutta riippuu sen huokosrakenteesta, joka on eri materiaaleilla erilainen. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi betonin ja parketin saavuttaessa tasapainokosteuden 90 %:n suhteellisessa kosteudessa, parketti voi sisältää jopa yli 20 painoprosenttia kosteutta ja betonissa sen sijaan saattaa olla vain 5 painoprosenttia kosteutta. Myös betonilaatujen välillä on eroja huokosrakenteissa, joten ne sitovat kosteutta eri tavalla. Vaikka kahdella eri betonilaadulla olisi sama kosteuspitoisuus painoprosentteina, niiden suhteellisissa kosteuspitoisuuksissa voi olla merkittävä ero (kuva 28). Suhteellinen kosteuspitoisuus kertoo painoprosenttikosteutta paremmin, kuinka haitallista betonin kosteus on päällystemateriaalille. Kun betonirakenne päällystetään esimerkiksi parketilla, betonin huokosten ilmatila pyrkii tasapainokosteuteen parketin kanssa, joten se luovuttaa kosteutta niin kauan kunnes parketin huokosrakenteessa on sama suhteellinen kosteus kuin betonin huokosrakenteessa. Tästä voi aiheutua parketin turpoaminen tai mikrobivaurioituminen. (Merikallio ym. 2007, 33.)



KUVA 28. Kahden eri betonilaadun (A ja B) kosteuspitoisuudet painoprosentteina ja suhteellisina kosteuspitoisuuksina (Merikallio ym. 2007, 33)

### 5.5.2 Mikrobivaurioituminen

Betoni on mikrobeille huono kasvualusta, koska se on epäorgaaninen materiaali ja sen alkalisuus eli korkea pH-arvo hidastaa mikrobien kasvumahdollisuuksia. Mikrobikasvun voi kuitenkin mahdollistaa betonin pinnalle jääneet orgaaniset aineet kuten sahanpuru tai pöly. Sementtimäärän lisääminen betoniin kasvattaa sen alkalisuutta, jolloin siitä tulee entistä huonompi kasvualusta mikrobeille. Mikrobikasvun riski kasvaa betonin vanhetessa, koska betonin paljaassa pinnassa tapahtuu karbonatisoitumista ilman hiilidioksidin vaikutuksesta, mikä heikentää betonin alkalisuutta. (Merikallio ym. 2007, 34.)

Päällystemateriaalien mikrobivaurioissa ei ole useinkaan syynä alustabetonin kosteus, vaan tavallisesti ulkopuolinen kosteuslähde kuten maaperän kosteus tai vesivahinko. Yleensä päällystämisen jälkeenkin alustabetoni pystyy kuivumaan riittämään nopeasti, jotta mikrobikasvun riskiä ei synny.

Kuivumisnopeus riippuu esimerkiksi päällystemateriaalin vesihöyrynläpäisykyvystä. Orgaanisia materiaaleja sisältävät päällystemateriaalit tai niiden kiinnitysaineet ovat herkempiä mikrobivaurioitumaan kuin epäorgaaniset materiaalit. Esimerkkejä orgaanisia aineita sisältävistä materiaaleista ovat parketti, parketin alusmateriaalina käytettävä paperi, linoleum, laminaatti ja korkki. Lisäksi suurin osa liimoista ja osa tasoitteista sisältää orgaanisia aineita. (Merikallio ym. 2007, 34.)

Mikrobivaurion syntyyn vaikuttaa kosteuden lisäksi myös muita tekijöitä kuten materiaaliominaisuudet, lämpötila ja aika, minkä takia mikrobivaurioitumiselle on vaikeaa määrittellä selkeää kosteuspiitoisuuden raja-arvoa. Kerroksellisissa betonilattiarakenteissa betonilaattojen välinen eristetila on mikrobivaurioitumisen kannalta riskialtis paikka etenkin, jos tilassa on orgaanista materiaalia kuten puuta tai paperia. Useimmiten näissä käytetään askeläänieristeenä lasivillaa, kivivillaa tai EPS-eristettä, jotka ovat epäorgaanisina materiaaleina huonoja kasvualustoja mikrobeille. (Merikallio ym. 2007, 34.) Orgaanisia materiaaleja saattaa kuitenkin kertyä rakenteeseen rakennustyön aikana.

### 5.5.3 Betonin ja päällystemateriaalin muodonmuutokset

Huokoisena materiaalina betoni on altis muodonmuutoksille kuten kutistumiselle ja turpoamiselle. Kuivuminen aiheuttaa betonin kutistumista, josta voi seurata esimerkiksi lattioiden halkeilua ja käyritystä. Eniten vahinkoa betonin muodonmuutoksista kuitenkin aiheutuu keraamisiin laattoihin, jotka voivat irrota alustastaan betonin kuivumiskutistumisen seurauksena. Laattojen kiinnityksen pettäminen on mahdollista, jos alustabetoni on laatoitushetkellä liian kostea, jolloin kuivumiskutistumaa tapahtuu laatoituksen jälkeen vielä merkittävästi. (Merikallio ym. 2007, 35.)

Alustabetonin kosteus voi aiheuttaa muodonmuutoksia myös joihinkin päällystemateriaaleihin kuten parkettiin ja laminaattiin, minkä seurauksena päällyste voi irrota alustastaan. Enimmäkseen puulattioiden eläminen johtuu kuitenkin sisäilman suurista kosteusvaihteluista eri vuodenaikojen välillä. Talvella sisäilman suhteellisen kosteuden ollessa hyvin alhainen, puu kutistuu ja lattiaan voi syntyä rakoja, kun taas kesällä sisäilman suhteellisen kosteuspiitoisuuden ollessa korkea, puu turpoaa ja päällyste voi irrota alustastaan. (Merikallio ym. 2007, 35-36.)

### 5.5.4 Sisäilmaan emittoituvat kemialliset yhdisteet

Näkyvien päällyste- ja pinnoitevaurioiden lisäksi kosteus vaikuttaa sisäilman laatuun. Päällystemateriaaleista emittoituu ensimmäisten kuukausien aikana sisäilmaan erilaisia kemiallisia yhdisteitä kuten VOC-yhdisteitä, ammoniakkia ja formaldehydia. Päällystemateriaalit voidaan jakaa päästöluokkiin sen mukaan, kuinka paljon niistä emittoituu erilaisia yhdisteitä. Lattiarakenteissa on suositeltavaa käyttää vähäpäästöisiä materiaaleja hyvän sisäilman laadun varmistamiseksi. Betonin kosteuden nousun on todettu kasvattavan VOC-yhdisteiden emissiomääriä, joilla uskotaan olevan osaltaan vaikutus niin kutsuttuun sairaan rakennus -oireyhtymään sekä allergioiden lisääntymiseen. (Merikallio ym. 2007, 37; Merikallio 2009, 19.)

Vähäpäästöinenkään päällystemateriaali ei välttämättä estä haitallisten yhdisteiden emittoitumista sisäilmaan. Alustabetonin alkalinen kosteus voi saada aikaan päällystemateriaaleissa ja liimoissa kemiallista hajoamista, jonka seurauksena matoissa pehmitinaineina käytettävät ftalaatit tuhoutuvat ja

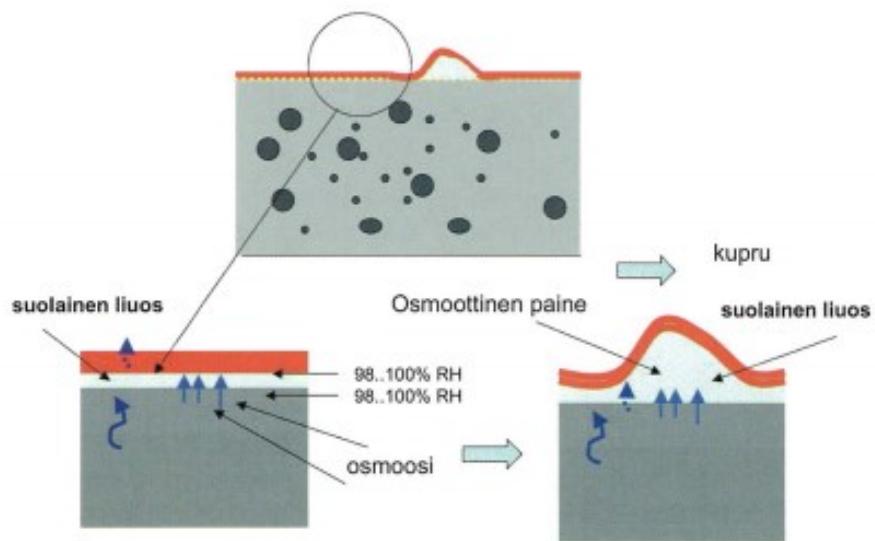
liiman tartuntaominaisuudet huononevat. Pehmitinaineiden tuhoutuminen johtaa maton kovettumiseen ja joustavuuden menettämiseen. Kemiallisen hajoamisen seurauksena syntyy hydrolyysi- ja hapettumistuotteita kuten happoja, alkoholeja, aldehydejä ja ketoneita. Parhaiten näistä tunnetaan 2-etyyliheksanoli, jota syntyy muovimattojen ftalaatti-pohjaisten pehmittimien hajotessa. Hajoamisreaktiot voivat tuntua hajuna ja näkyä tummina laikkuina muovimatossa sekä syntyneet kemialliset yhdisteet voivat emittoitua sisäilmaan aiheuttaen suurina määrinä ollessaan muun muassa iho-oireita, päänsärkyä, silmien kirvelyä ja pahoinvointia. (Merikallio ym. 2007, 37-39.)

Betonin suhteellinen kosteus vaikuttaa betonilattian emissiomääriin siten, että suhteellisen kosteuden noustessa emissiomäärät kasvavat. Kriittisenä kosteuspitoisuutena alustabetonille pidetään 85 %:n suhteellista kosteutta muovimaton alta mitattuna. Emissiomääriä pystytään pienentämään käyttämällä matala-alkalista tasoitetta, mikä on kannattavaa etenkin käytettäessä korkealujuusbetoneita, joiden alkalipitoisuus on korkea suuren sementtimäärän takia. (Merikallio ym. 2007, 38.)

#### 5.5.5 Päällysteen tai pinnoitteen irtoaminen ja kupruilu

Päällystemateriaalin irtoamiseen alustastaan voi johtaa huolimaton kiinnitystyö, alustabetonin korkeasta kosteudesta johtuva kiinnitysaineen vaurioituminen, betonipinnan huono laatu, alustabetonin muodonmuutokset sekä ilman kosteuden aiheuttamat päällystemateriaalin muodonmuutokset. Tavallisesti päällysteen irtoaminen tapahtuu useamman tekijän yhteisvaikutuksesta. Alustabetonin korkea kosteuspitoisuus voi aiheuttaa kiinnitykseen käytettävissä liimoissa kemiallista hajoamista, jonka myötä liiman tartuntavetolujuus heikkenee ja ominaisuudet muuttuvat. Liiman hajoamisessa voi syntyä myös kaasuja, jotka saavat aikaan kupruilua tiiviissä päällysteessä. (Merikallio ym. 2007, 40.)

Lisäksi osmoottinen paine voi aiheuttaa päällysteen tai pinnoitteen kupruilua. Osmoottinen paine voi syntyä, jos alustabetonin kosteus on kapillaarisella alueella ja päällyste- tai pinnoitemateriaali läpäisee vesihöyryä, muttei vettä. Tällöin suolat voivat kulkeutua kapillaarisen kosteuden mukana ja kasaantua päällysteen tai pinnoitteen alle. Päällysteen tai pinnoitteen alapuolella suolapitoisuus kasvaa ja se alkaa imeä osmoottisesti kosteutta suolapitoisuuseron tasoittamiseksi, synnyttäen näin päällysteen tai pinnoitteen alle osmoottisen paineen. (Merikallio ym. 2007, 41.) Kuvassa 29 on havainnollistettu suolojen kulkeutumista kapillaarisen kosteuden mukana ja kerääntymistä päällysteen tai pinnoitteen alle, mikä saa aikaan osmoottisen paineen ja aiheuttaa päällysteen tai pinnoitteen kupruilua.



KUVA 29. Alustabetonin korkeasta kosteudesta aiheutuva osmoottinen paine (Merikallio ym. 2007, 40)

## 6 KOSTEUDENHALLINNAN KEINOT SUUNNITTELUVAIHEESSA

Väestönsuojan kattorakenteen kosteusteknistä toimivuutta voidaan edistää jo suunnitteluvaiheessa muun muassa oikeanlaisilla rakenneratkaisuilla ja runkolaatan kuivumisen arvioinnilla. Käytännössä rakenteen kosteudenhallintamenetelmät voidaan jakaa kolmeen eri vaihtoehtoon, joita ovat täyttökerroksen tuuletus, höyrinsulku tai runkolaatan riittävän kuivumisen odottaminen.

### 6.1 Täyttökerroksen tuuletus

Hyvin yleinen tapa väestönsuojan kattorakenteiden toteutuksessa on asentaa täyttökerrokseen tuuletusputkisto, joka mahdollistaa runkolaatan rakennekosteuden kuivattamisen täyttökerrokseen. Tuuletusputkistoon liitetään tällöin koneellista poistoa varten kanavapuhallin ja poistoilma johdetaan riittävän kauaksi rakennuksen ulkopuolelle (Weijo ym. 2019, 227). Tuuletusputkisto mahdollistaa sen, että runkolaatan yläpuoliset rakennekerrokset pystytään asentamaan hyvin nopeasti runkolaatan valun jälkeen, koska betonin rakennekosteus pystytään kuivattamaan täyttökerrokseen, jolloin suhteellinen kosteus täyttökerroksessa tai lattiapäällysteen alla ei pääse nousemaan kriittisen korkeaksi. Tuuletusputkiston kuivattavan vaikutuksen tehokkuuteen voidaan vaikuttaa merkittävästi säätelämällä tuuletusilman kosteutta, tuuletuksen käyttöaikaa ja tuuletusilmamäärää. Tuuletusputkiston käytön etuna on, että sen avulla pystytään kuivattamaan täyttökerros myös mahdollisissa rakennuksen käytönaikaisissa vesivahinkotilanteissa.

Tuuletusputkistosta huolimatta pintalaatan riittävä kuivuminen ennen lattiapäällysteen asentamista tulee huomioida erikseen. Mikäli pintalaatan alapuolella käytetään eristelevykerrosta, täyttökerroksen tuuletuksella ei juurikaan ole vaikutusta pintalaatan kuivumiseen, koska pintalaatan kuivuminen ja toisaalta kosteustuotto täyttökerrokseen on silloin vähäistä. Tällöin pintalaatan päällystettävyyttä arvioidaan yhteen suuntaan kuivuvan tavanomaisen betonilaatan tapaan.

### 6.2 Höyrinsulku

Höyrinsulun asentaminen runkolaatan yläpintaan on tuuletusputkiston ohella toinen vaihtoehto, jolla runkolaatan yläpuoliset rakennekerrokset voidaan asentaa hyvin nopeasti runkolaatan valun jälkeen. Höyrinsulku estää runkolaatan rakennekosteuden siirtymisen yläpuolisiin rakennekerroksiin ja pakottaa runkolaatan kuivumaan lähes täysin alaspäin. Höyrinsulkuja on saatavilla eri suuruisilla vesihöyrinvastuksilla ja näitä vaihtoehtoja ovat muun muassa epoksihöyrinsulku, 1-komponenttinen höyrinsulku ja vesihöyrinvastukseltaan pienempi kosteussulku. Höyrinsulkua käytettäessä on huomioitava, että suhteellinen kosteus runkolaatan alapinnassa pysyy korkeana hyvin pitkän aikaa, jonka takia homehtumisherkkien materiaalien asentamista runkolaatan alapintaan tulee välttää.

### 6.3 Runkolaatan riittävän kuivumisen odottaminen

Jos rakenteessa ei käytetä tuuletusputkistoa tai höyrinsulkua, runkolaatan on annettava kuivua riittävän kuivaksi ennen yläpuolisten rakennekerrosten asentamista, jotta suhteellinen kosteus täyttökerroksessa tai lattiapäällysteen alla ei nouse kriittisen korkeaksi. Tässä menetelmässä on tarpeen kiinnittää erityistä huomioita käytettävään betonilaatuun, koska suuren vesi-sementtisuhteen omaavalla betonilla on hyvin vaikeaa saada massiivista runkolaattaa kuivatettua riittävän kuivaksi työmaa-

aikataulujen puitteissa. Suosituksena riittävän kuivumisen osalta pidetään, että runkolaatan annetaan kuivua alle 90 %:n suhteelliseen kosteuteen ennen ylempien rakennekerrosten asentamista (Merikallio 2015, 27).

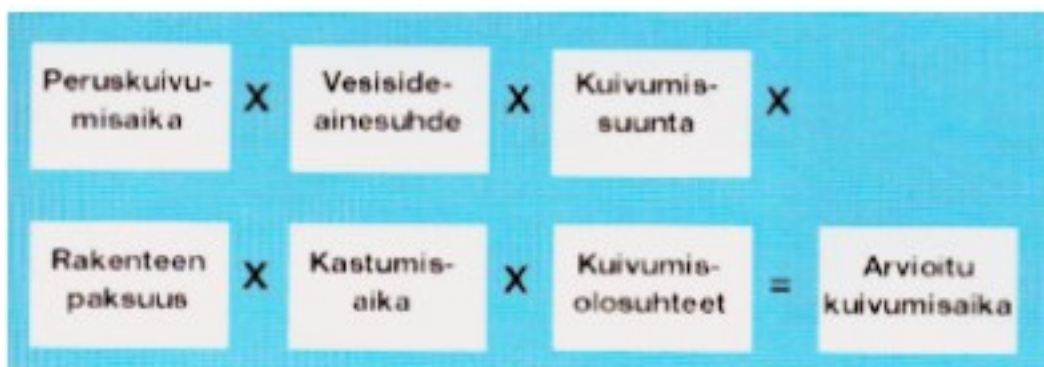
Tämän työn laskennallisissa tarkasteluissa (ks. luku 7) tutkittiin, kuinka alhaiseen suhteelliseen kosteuteen runkolaatan tulee todellisuudessa kuivua ennen ylempien rakennekerrosten asentamista, jotta suhteellinen kosteus täyttökerroksessa pysyisi alle kriittisen rajan eikä homehtumisriskiä synnyisi. Lisäksi vertailtiin eri betonilaatujen kuivumisaikoja kyseiseen suhteelliseen kosteuteen ja arvioitiin, millaisella vesi-sementtisuhteella se olisi mahdollista saavuttaa tavanomaisen työmaa-aikataulun puitteissa.

### 6.3.1 Kuivumisen arviointi

Betonirakenteen kuivumisajan arviointi on tärkeä osa työmaalle laadittavaa kosteudenhallintasuunnitelmaa. Kuivumisaika-arvioita verrataan suunniteltuun toteutusajankäyttöön, jolloin pystytään tarpeen mukaan tekemään toimenpiteitä kuivumisajan nopeuttamiseksi esimerkiksi käyttämällä nopeammin kuivuvaa betonilaatua, suojaamalla rakenne työmaa-aikaiselta kastumiselta ja luomalla hyvät kuivumisolosuhteet. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 544-545.)

Tavallisimmille betonirakenteille pystytään laatimaan kuivumisaika-arviot, kun tiedetään rakenneratkaisu ja tavoiteltava suhteellinen kosteus. Muuttujina laskennassa käytetään kuivumiseen oleellisin vaikuttavista tekijöistä eli betonin vesi-sementtisuhdetta, rakenneratkaisua ja kuivumisolosuhteita. Kuivumisolosuhteiden osalta otetaan huomioon kastumisaika, lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Kuivumisaika-arvioiden laskennassa tulee huomioida, että ne ovat suuntaa antavia arvioita ja tarkoitettu lähinnä rakentamisaikataulujen, työmaan kosteudenhallinnan ja kuivatuksen suunnitteluun. Tästä syystä rakenteen riittävä kuivuminen tulee aina varmistaa betonin kosteusmittauksilla. (Merikallio 2015, 32.)

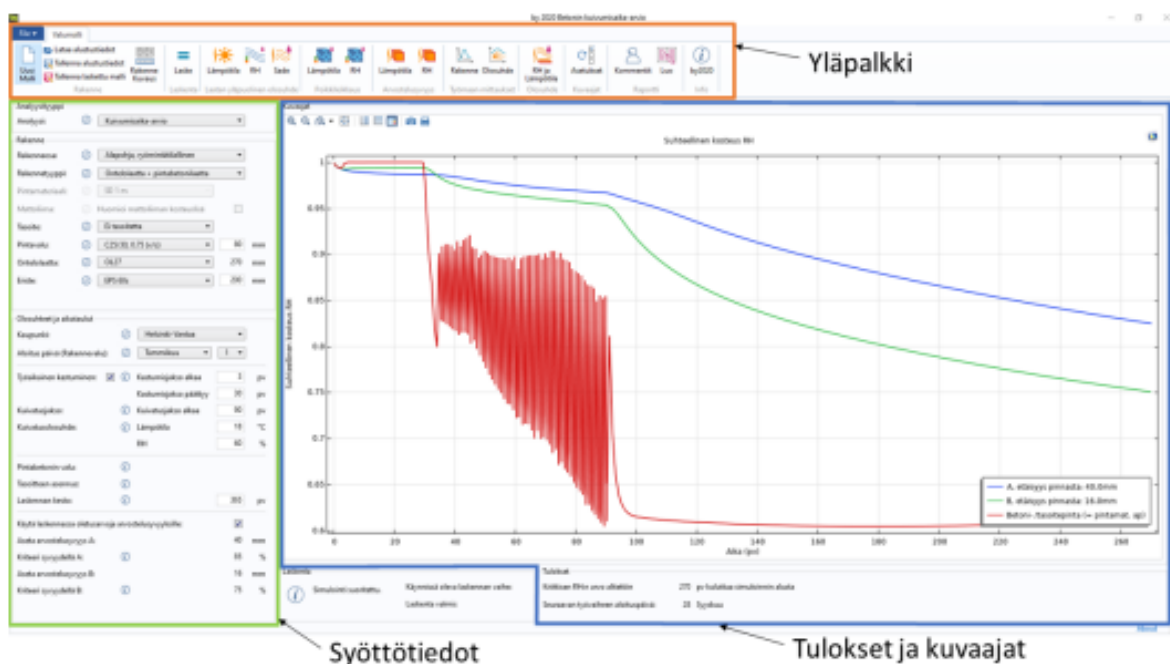
Kuivumisaika-arvioita voidaan laatia sekä käsin laskentana että laskentaohjelmalla. Suomen Betoniyhdistys ry on julkaissut uuden FEM-pohjaisen by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio -laskentaohjelman, joka on korvannut Betoniyhdistyksen aiemman Excel-pohjaisen by 1021 kuivumisaika-arviolaskurin (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 4). Käsin laskennan osalta betonirakenteiden kuivumisen arviointiohjeisto on julkaistu Tarja Merikallion kirjoittamassa teoksessa Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Ohjeisto sisältää peruskuivumiskäyrät ja muunnoskertoimet maanvastaisille teräsbetonilaatoille, massiivisille teräsbetonirakenteille, liittolaattarakenteille, kuorilaattarakenteille, ontelolaattaväli- ja kerroksellisille betonilaatoille. Kuvassa 30 on esitetty paikallavalehtun massiivisen teräsbetonilaatan kuivumisaika-arvion laskentakaava, jossa peruskuivumisaika luetaan peruskuivumiskäyrästä ja muut kertoimet saadaan ohjeistosta löytyvistä taulukoista.



KUVA 30. Massiivisen teräsbetonilaatan kuivumisaika-arvion laskentakaava (Merikallio 2015, 41)

### 6.3.2 By 2020 Betonin kuivumisaika-arvio -ohjelma

By 2020 Betonin kuivumisaika-arvio on talonrakentamisen rakennusprojektien kosteudenhallinnan suunnitteluun suunnattu laskentaohjelma, jonka tarkoitus on ohjata työmaan aikataulutusta ja olosuhteidenhallintaa sekä betoni- ja päällystemateriaalivalintoja (kuva 31). Ohjelmalla voidaan laatia betonirakenteiden kuivumisaika-arvioita ja päällystettävien rakenteiden riskiarvioita. (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 4.)



KUVA 31. By 2020 Betonin kuivumisaika-arvio -ohjelma (Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 6)

Ohjelma on FEM-pohjainen ja se mahdollistaa huomattavasti monipuolisemman arvioinnin verrattuna Betoniyhdistyksen aiempaan Excel-pohjaiseen by 1021 kuivumisaika-arviolaskuriin. Kuivumisaika-arvio voidaan tehdä valusta todellisen aikataulun mukaisesti ja ottaa huomioon mahdolliset pin-

tavalut ja tasoitukset. Päälystettävyyden riskiarviossa voidaan tarkastella päälysteen alapuolelle ta-  
saantuvaa suhteellista kosteutta verrattuna pintamateriaalin kosteudensietokykyyn ja arvioida, millä  
vaihtoehdoilla kosteus voi nousta päälysteen välittömässä läheisyydessä vaurioitumisen kannalta  
kriittisen korkeaksi. Lisäksi ohjelma mahdollistaa työmaalla tehtävien olosuhdemittausten ja raken-  
teiden kosteusmittausten tallennuksen, joita voidaan helposti verrata aiemmin tehtyyn arvioon.  
(Suomen Betoniyhdistys ry 2021, 4.)

Väestönsuojan kattorakenteiden osalta ohjelma soveltuu erityisen hyvin esimerkiksi runkolaatan kui-  
vumisen arviointiin, koska ohjelmalla on kätevää vertailla betonilaatan kuivumista eri vesi-sementti-  
suhteilla. Ohjelman sallima maksimipaksuus betonilaatalle on 400 mm, joka on usein riittävä pak-  
suus väestönsuojan katon runkolaatalle. Sen sijaan koko rakenteen kosteuskäyttäytymisen tarkaste-  
lua varten ohjelma on puutteellinen, koska sillä ei pystytä huomioimaan runkolaatan ja pintalaatan  
väliin tulevia kerroksia eli täyttökerrosta ja mahdollista eristekerrosta. Sillä pystytään kuitenkin arvi-  
oimaan esimerkiksi täyttökerroksen suhteellista kosteutta soveltamalla ja yksinkertaistamalla hieman  
päälystettävyyden riskiarvion tarkastelua. Puolestaan koko rakenteen kosteusteknisen käyttäytymi-  
sen arviointiin soveltuisi paremmin esimerkiksi WUFI-ohjelma.

## 7 LASKENNALLISET TARKASTELUT

By 2020 Betonin kuivumisaika-arvio -ohjelmalla tehdyissä laskennallisissa tarkasteluissa haluttiin erityisesti tutkia kosteudenhallintamenetelmää, jossa odotetaan runkolaatan riittävää kuivumista ennen ylempien rakennekerrosten asentamista. Tarkastelujen tavoitteena oli saada käsitys, onko väestönsuojan kattorakenne toteutettavissa tällä menetelmällä työmaa-aikataulujen puitteissa siten, että rakenteesta tulee kosteusteknisesti toimiva ja turvallinen. Laskennallisissa tarkasteluissa arvioitiin runkolaatan kuivumisaikoja eri vesi-sementtisuhteilla, täyttökerroksen suhteellista kosteutta ja pinta-alaan kuivumisaikoja eri olosuhteissa.

### 7.1 Runkolaatan kuivumisajan arviointi eri vesi-sementtisuhteilla

Runkolaatan paksuutena käytettiin 400 mm, joka täyttää sekä S1- että S2-luokan väestönsuojan vaatimuksen teräsbetoni-alaan paksuudesta. Vertailun kohteena käytettyjä betonimassoja olivat C32/40 NP (v/s 0,45), C30/37 (v/s 0,60) ja C25/30 (v/s 0,75). Tavoitekosteutena tarkastelussa pidettiin 90 %:n suhteellista kosteutta arvostelusyvytydellä. Arvostelusyvyys A kahteen suuntaan kuivuvalla välipohjarakenteella on  $A=0,2*d$  (maksimimitaussyvyys 70 mm), jossa d on rakenteen paksuus (RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Ohje 2010, 14). Tässä tapauksessa käytettiin siis arvostelusyvytytenä maksimimitaussyvytyttä 70 mm. Kuvassa 32 on esitetty tarkastelussa käytetty rakenne, kastumisjakso ja kuivumisolosuhteet. Kastumisjakso ja kuivumisolosuhteet pidettiin vertailussa vakiona, joten ainoa muuttuva tekijä oli rakennevalussa käytettävä betonimassa.

Analyysityyppi	
Analyysi:	<input type="text" value="Kuivumisaika-arvio"/>
Rakenne	
Rakenneosa:	<input type="text" value="Välipohja"/>
Rakennetyyppi:	<input type="text" value="Paikallavalu"/>
Pintamateriaali:	<input type="text" value="SD 1 m"/>
Mattoliima:	Huomioi mattoliiman kosteuslisä <input type="checkbox"/>
Tasoite:	<input type="text" value="Ei tasoitetta"/>
Pintavalu:	<input type="text" value="Ei Pintavalua"/>
Rakennevalu:	<input type="text" value="C32/40 NP, 0.45 (v/s)"/> <input type="text" value="400"/> mm
Eriste:	<input type="text" value="Ei eristettä"/>
Yhteensuuntaan kuivuva:	<input type="checkbox"/>
Olosuhteet ja aikataulut	
Kaupunki:	<input type="text" value="Helsinki-Vantaa"/>
Aloituspäivä (Rakennevalu):	<input type="text" value="Tammikuu"/> <input type="text" value="1"/>
Työaikainen kastuminen:	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="3"/> pv
	Kastumisjakso päättyy <input type="text" value="30"/> pv
Kuivatusjakso:	<input type="text" value="90"/> pv
Kuivatusolosuhde:	<input type="text" value="18"/> °C
	RH <input type="text" value="60"/> %

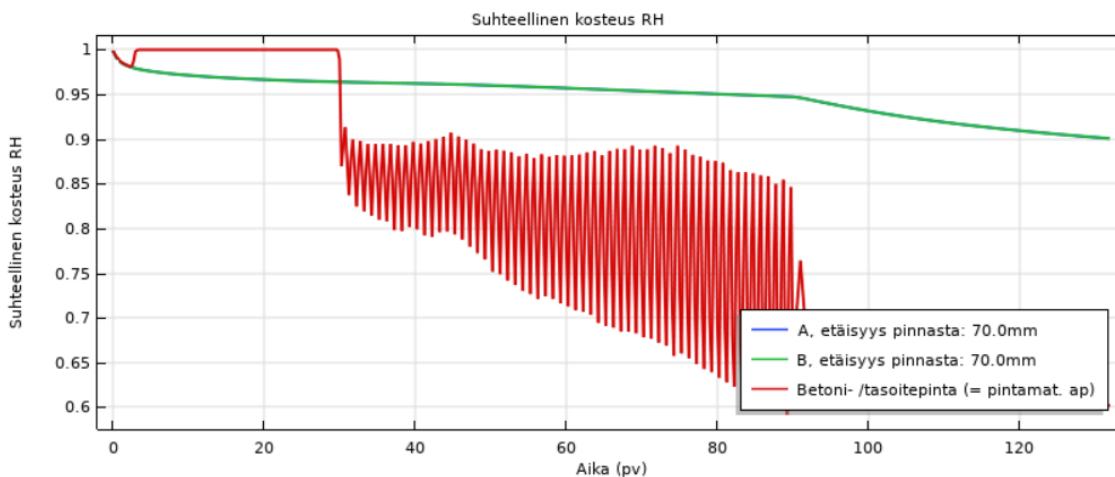
KUVA 32. Tarkasteltava rakenne, kastumisjakso ja kuivumisolosuhteet

Kuvissa 33-35 on esitetty laskennan tulokset, joista selviää, että vertailun suurimman vesi-sementti-suhteen (v/s 0,75) omaavan betonin kuivumisaika 90 %:n suhteelliseen kosteuteen on yli kaksi kertaa pidempi verrattuna pienimmän vesi-sementtisuhteen (v/s 0,45) omaavan betonin kuivumisaikaan.

#### Laskennan tulokset

Kriittisen RH:n arvo alitettiin: 132 pv kuluttua simuloinnin alusta.

Seuraavan työvaiheen aloituspäivä: 13. Toukokuu

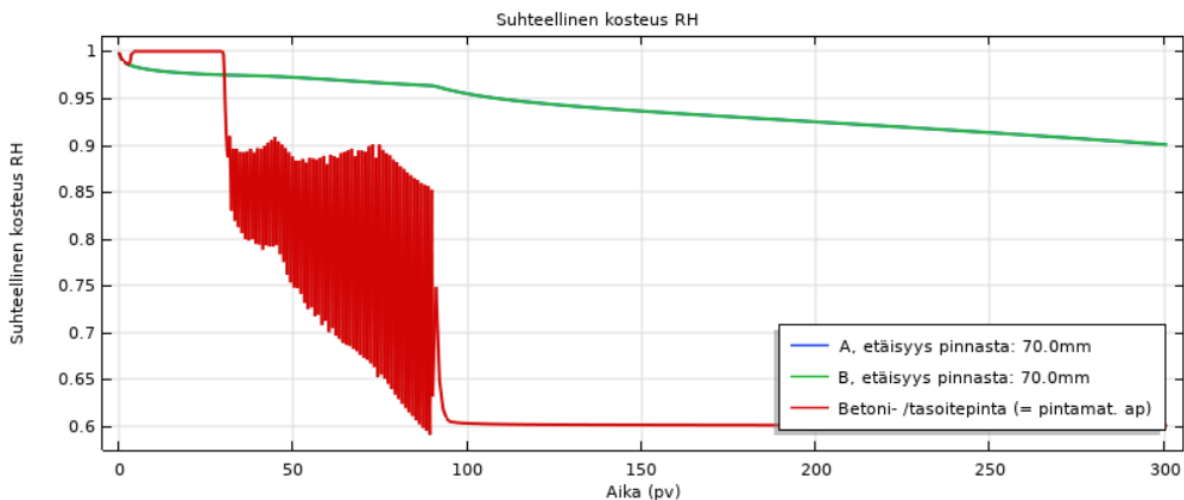


KUVA 33. Runkolaatan kuivuminen betonilla C32/40 NP (v/s 0,45). Tavoitekosteus 90 % RH arvosteluvyydellä 70 mm saavutettiin 132 päivän kuluttua.

#### Laskennan tulokset

Kriittisen RH:n arvo alitettiin: 301 pv kuluttua simuloinnin alusta.

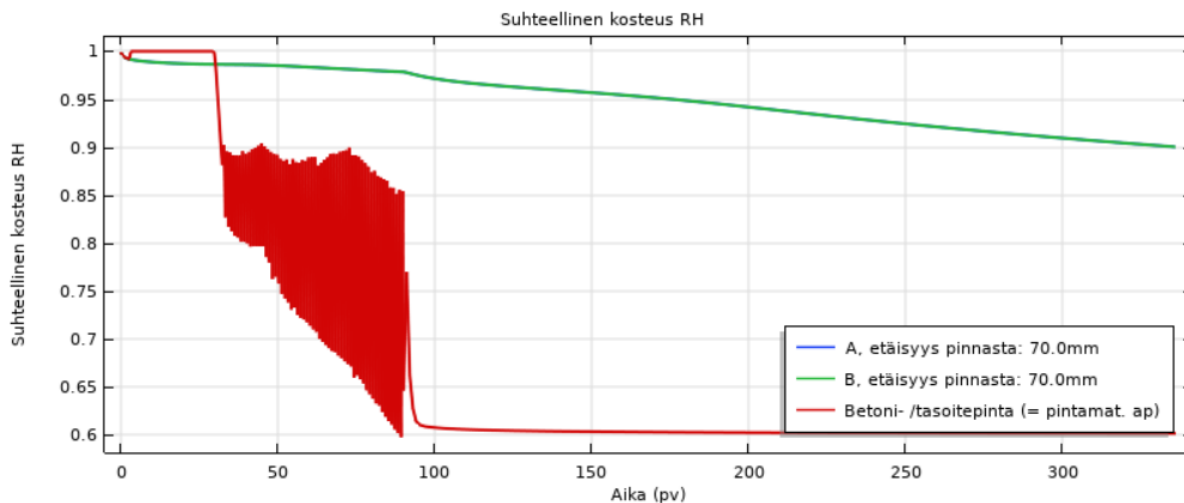
Seuraavan työvaiheen aloituspäivä: 29. Lokakuu



KUVA 34. Runkolaatan kuivuminen betonilla C30/37 (v/s 0,60). Tavoitekosteus 90 % RH arvosteluvyydellä 70 mm saavutettiin 301 päivän kuluttua.

**Laskennan tulokset**

Kriittisen RH:n arvo alitettiin: 336 pv kuluttua simuloinnin alusta.  
Seuraavan työvaiheen aloituspäivä: 3. Joulukuu



KUVA 35. Runkolaatan kuivuminen betonilla C25/30 (v/s 0,75). Tavoitekosteus 90 % RH arvostelusyvyydellä 70 mm saavutettiin 336 päivän kuluttua.

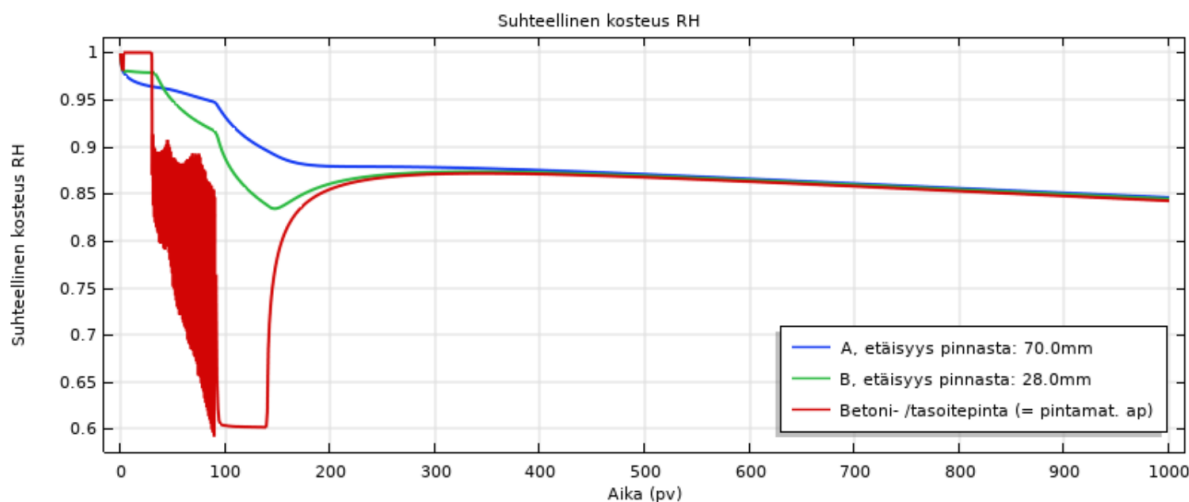
## 7.2 Täyttökerroksen suhteellisen kosteuden arviointi

Täyttökerroksen suhteellisen kosteuden arvioinnissa tavoitteena oli selvittää, kuinka alhaiseen suhteelliseen kosteuteen runkolaatan tulisi kuivua ennen ylempien rakennekerrosten asentamista, jotta suhteellinen kosteus täyttökerroksessa pysyisi alle kriittisen rajan. Homeutumisen kannalta kriittisenä rajana täyttökerroksessa käytettäville materiaaleille kuten kevytsoralle, vaahtolasille ja EPS-eristeelle voidaan pitää 85 %:n suhteellista kosteutta, jossa teoriassa homeenkasvu on mahdollista myös homeutumisherkkyyden HHL3 (kohtalaisen kestävä) materiaaleilla. Mikäli korkea kosteuspitoisuus on riittävän lyhytaikainen, ei homeenkasvua kuitenkaan muodostu. Tarkasteltavassa rakenteessa käytetään pintalaatan alla eristelevyä, jolloin pintalaatan vaikutus täyttökerroksen suhteelliseen kosteuteen on hyvin vähäinen.

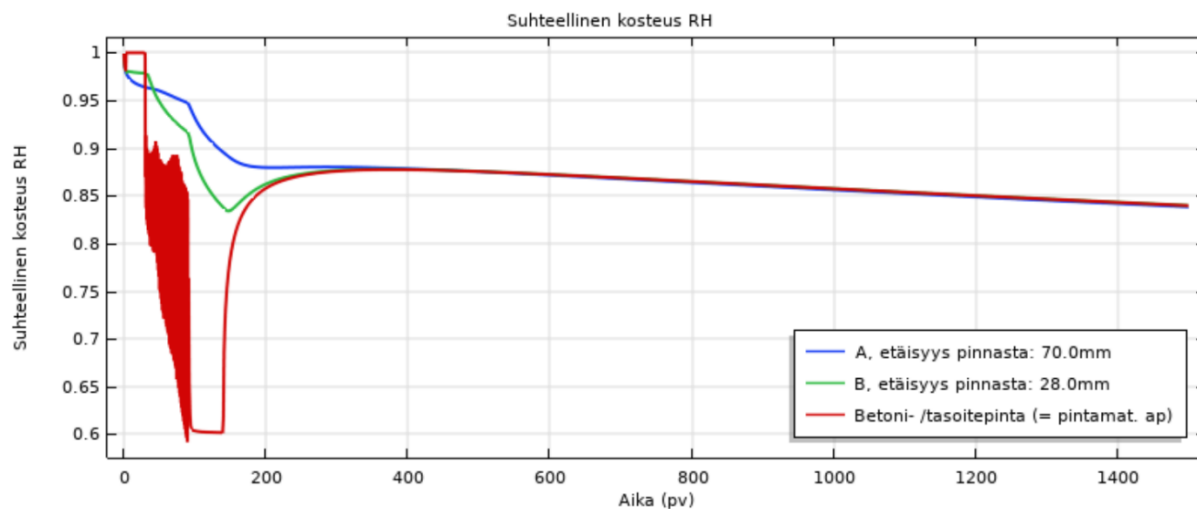
Laskentaohjelmalla ei pystytä lisäämään rakenteeseen runkolaatan ja pintalaatan välille täyttökerrosta ja eristelevyä, mutta täyttökerroksen suhteellista kosteutta voidaan arvioida hieman yksinkertaistetulla tarkastelulla. Tarkastelussa runkolaatan päälle laitettiin tietyn diffuusiovastuksen omaava pintamateriaali, jonka diffuusiovastus kuvastaa kaikkien täyttökerroksen yläpuolisten materiaalien yhteenlaskettua diffuusiovastusta. Täten tarkastelemalla pintamateriaalin ja runkolaatan rajapinnassa vallitsevaa suhteellista kosteutta saatiin arvioitua, miten korkealle suhteellinen kosteus täyttökerroksessa nousee. Tarkastelu ei huomioi täyttökerroksen paksuutta, täyttömateriaalin kosteuskapasiteettia tai huokosilman tilavuutta, joten tarkastelu on näiltä osin varmallalla puolella.

Tarkastelu tehtiin betonilla C32/40 NP (v/s 0,45), joka edellisen tarkastelun mukaan kuivui 90 %:n suhteelliseen kosteuteen 132 päivässä. Ensimmäisenä runkolaatan yläpuolisten rakennekerrosten asentaminen asetettiin 140 päivän kohdalle ja tarkasteltiin täyttökerrokseen muodostuvaa suhteel-

lista kosteutta, kun pintamateriaalin diffuusiivastuksena on  $S_d=20$  m tai  $S_d=100$  m.  $S_d$ -arvo kuvastaa tässä tapauksessa päällystemateriaalin, pintalaatan ja eristelevyn yhteenlaskettua diffuusiivastusta. Pienempi  $S_d$ -arvo kuvastaa tilannetta, jossa käytetään vesihöyryä läpäisevämpää lattiapäällystettä ja suurempi  $S_d$ -arvo tilannetta, jossa käytetään vesihöyrynläpäisevyydeltään hyvin tiivistä lattiapäällystettä. Kuvissa 36-37 on esitetty laskennan tulokset, joista selviää, että täyttökerroksen suhteellinen kosteus pysyy molemmissa tapauksissa pitkän aikaa yli 85 %:n, jota voidaan pitää kriittisenä rajana.

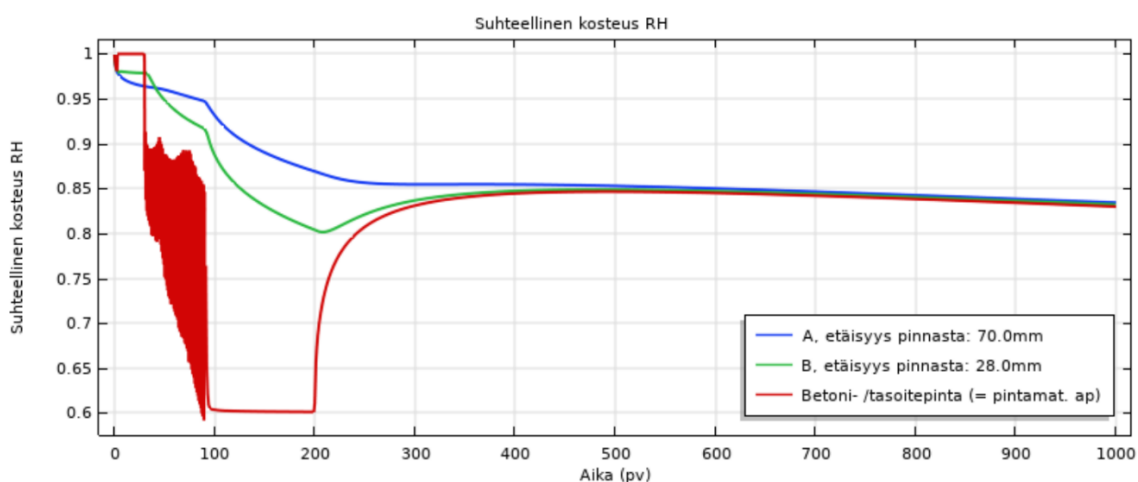


KUVA 36. Täyttökerroksen suhteellinen kosteus, kun runkolaatan yläpuoliset rakennekerrokset asennetaan 140 päivän jälkeen ja pintamateriaalin  $S_d=20$  m. Punainen käyrä kuvastaa täyttökerroksen suhteellista kosteutta.

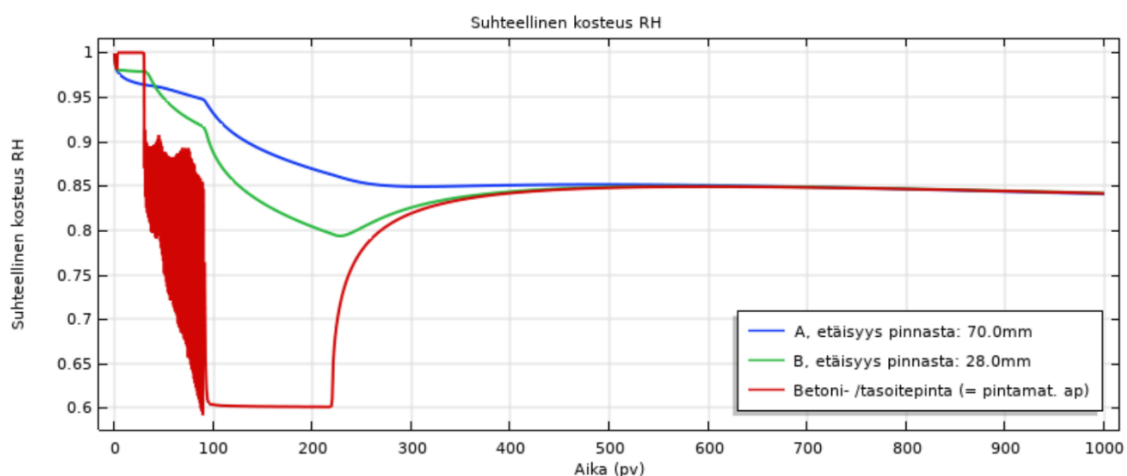


KUVA 37. Täyttökerroksen suhteellinen kosteus, kun runkolaatan yläpuoliset rakennekerrokset asennetaan 140 päivän jälkeen ja pintamateriaalin  $S_d=100$  m. Punainen käyrä kuvastaa täyttökerroksen suhteellista kosteutta.

Koska edellisessä tarkastelussa täyttökerroksen suhteellinen kosteus nousi yli kriittisen rajan, tarkasteluja tehtiin vielä siten, että runkolaatan annettiin kuivua pidemmän ajan ennen yläpuolisten kerrosten asentamista. Tarkastelujen tuloksena saatiin selville, että runkolaatan tulisi kuivua noin 86-87 %:n suhteelliseen kosteuteen riippuen käytettävän lattiapäällysteen tiivyydestä, jotta täyttökerroksen suhteellinen kosteus pysyisi alle kriittisen rajan. Edellä mainittu runkolaatan suhteellinen kosteus saavutetaan tarkastelussa käytetyllä C32/40 (v/s 0,45) -betonilla 200-220 päivässä. Kuvissa 38-39 on esitetty laskennan tulokset. Käytettäessä vesihöyryä läpäisevämpää pintamateriaalia ( $S_d=20\text{ m}$ ), runkolaatan yläpuoliset rakennekerrokset voidaan asentaa 200 päivän jälkeen, kun taas tiiviimmällä pintamateriaalilla ( $S_d=100\text{ m}$ ) sama voidaan tehdä vasta 220 päivän jälkeen, jotta täyttökerroksen suhteellinen kosteus pysyy kriittisenä rajana pidettävän 85 %:n alapuolella.



KUVA 38. Täyttökerroksen suhteellinen kosteus, kun runkolaatan yläpuoliset rakennekerrokset asennetaan 200 päivän kuluttua ja pintamateriaalin  $S_d=20\text{ m}$ . Punainen käyrä kuvastaa täyttökerroksen suhteellista kosteutta.



KUVA 39. Täyttökerroksen suhteellinen kosteus, kun runkolaatan yläpuoliset rakennekerrokset asennetaan 220 päivän kuluttua ja pintamateriaalin  $S_d=100\text{ m}$ . Punainen käyrä kuvastaa täyttökerroksen suhteellista kosteutta.

### 7.3 Pintalaatan kuivumisajan arviointi eri kuivumisolosuhteissa

Väestönsuojan kattorakenteissa runkolaatan riittävän kuivumisen lisäksi tulee huomioida pintalaatan riittävä kuivuminen ennen lattiapäällysteen asentamista. Pintalaatan kuivumisaika tuo oman merkittävän lisänsä koko rakenteen toteuttamiseen kuluvaan aikaan, joten tarkasteluissa haluttiin arvioida sekä pintalaatan kuivumisaikaa että kuivumisolosuhteiden vaikutusta siihen. Tarkastelun kohteena käytettiin 80 mm paksua pintalaattaa, jonka betonimassana oli C25/30 NP (v/s 0,55). Päällystettävyyssosteutena tarkastelussa pidettiin 85 %:n suhteellista kosteutta arvostelusyvytydellä  $A=0,4*d$  ( $d$ =rakenteen paksuus) ja 75 %:n suhteellista kosteutta arvostelusyvytydellä  $B=0,4*A$ . Arvostelusyvytyksinä olivat täten  $A=32$  mm ja  $B=12,8$  mm. Pintalaattaa tarkasteltiin yhteen suuntaan kuivuvana rakenteena, koska tarkasteltavassa rakenteessa käytetään pintalaatan alla eristelevyä, joka rajoittaa pintalaatan kuivumista alaspäin.

Ensimmäisessä tarkastelussa käytettiin tavanomaista kuivumisolosuhdetta, jossa ympäröivän ilman lämpötila on 18 °C ja suhteellinen kosteus 60 %. Kuvassa 40 on esitetty tarkasteltava rakenne ja käytettävä kuivumisolosuhde. Kuvassa 41 on esitetty laskennan tulokset.

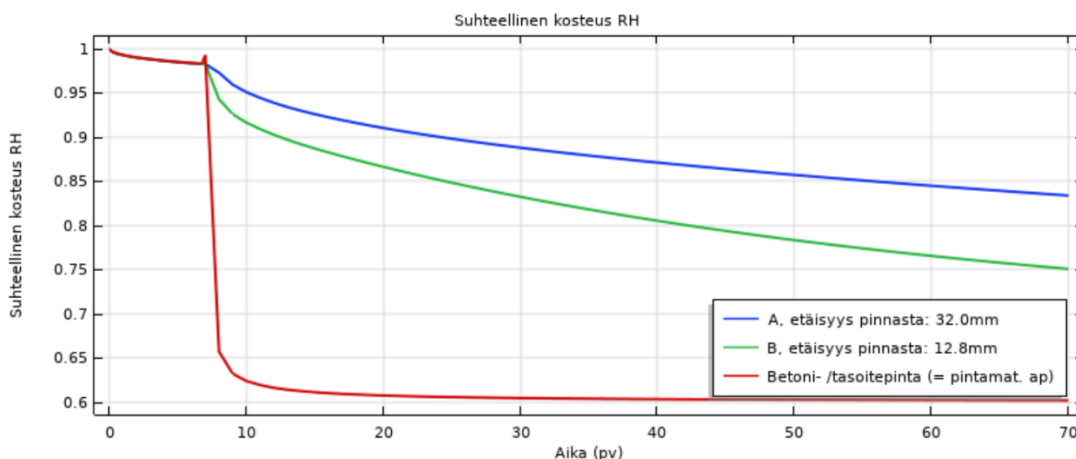
Analyysityyppi	
Analyyysi:	<i>i</i> Kuivumisaika-arvio
Rakenne	
Rakenneseosa:	<i>i</i> Välipohja
Rakennetyyppi:	<i>i</i> Paikallavalu
Pintamateriaali:	<i>i</i> SD 1 m
Mattoliima:	<i>i</i> Huomioi mattoliiman kosteuslisä <input type="checkbox"/>
Tasoite:	<i>i</i> Ei tasoitetta
Pintavalu:	<i>i</i> Ei Pintavalua
Rakennevalu:	<i>i</i> C25/30 NP, 0.55 (v/s) 80 mm
Eriste:	<i>i</i> Ei eristettä
Yhteensuuntaan kuivuva:	<i>i</i> <input checked="" type="checkbox"/>
Olosuhteet ja aikataulut	
Kaupunki:	<i>i</i> Helsinki-Vantaa
Aloituspäivä (Rakennevalu):	<i>i</i> Tammikuu 1
Työaikainen kastuminen:	<input type="checkbox"/> <i>i</i>
Kuivatusjakso:	<i>i</i> Kuivatusjakso alkaa 7 pv
Kuivatusolosuhde:	<i>i</i> Lämpötila 18 °C
	RH 60 %

KUVA 40. Tarkasteltava rakenne ja kuivumisolosuhde. Kuivatusjakso aloitetaan jälkihoitojakson (7 pv) jälkeen ja rakenne on suojassa työmaa-aikaiselta kastumiselta.

**Laskennan tulokset**

Kriittisen RH:n arvo alitettiin: 70 pv kuluttua simuloinnin alusta.

Seuraavan työvaiheen aloituspäivä: 12. Maaliskuu



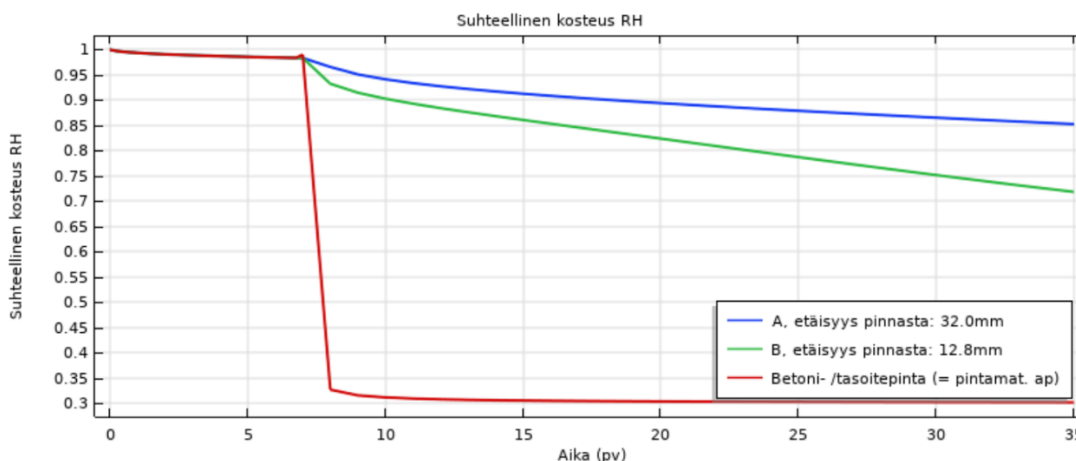
KUVA 41. Pintalaatan kuivuminen, kun kuivumisolosuhteina ovat  $T=18\text{ °C}$  ja  $RH=60\%$ . Kriittiset suhteellisen kosteuden arvot alitettiin 70 päivän kuluttua.

Toisessa tarkastelussa käytettiin parempaa kuivumisolosuhdetta, jossa ympäröivän ilman lämpötila on  $30\text{ °C}$  ja suhteellinen kosteus  $30\%$ . Tarkasteltava rakenne pysyi muilta osin täysin samana kuin ensimmäisessä tarkastelussa. Kuvassa 42 on esitetty laskennan tulokset, joista selviää, että käytetessä parempaa kuivumisolosuhdetta ( $T=30\text{ °C}$ ,  $RH=30\%$ ) kuivumisaika puolittuu verrattuna ensimmäiseen tarkasteluun, jossa käytettiin tavanomaista kuivumisolosuhdetta ( $T=18\text{ °C}$ ,  $RH=60\%$ ). Kuivumisen nopeuttaminen lämmön avulla voidaan toteuttaa joko lämmittämällä rakennetta ympäröivää ilmaa tai vaihtoehtoisesti lämmittämällä betonirakennetta sisäisellä lämmönlähteellä kuten betonin lämmityskaapeleilla, joiden kuivumista tehostavaa vaikutusta käsiteltiin luvussa 4.5.1.

**Laskennan tulokset**

Kriittisen RH:n arvo alitettiin: 35 pv kuluttua simuloinnin alusta.

Seuraavan työvaiheen aloituspäivä: 5. Helmikuu



KUVA 42. Pintalaatan kuivuminen, kun kuivumisolosuhteina ovat  $T=30\text{ °C}$  ja  $RH=30\%$ . Kriittiset suhteellisen kosteuden arvot alitettiin 35 päivän kuluttua.

## 8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä massiivisten paikallavalettujen betonirakenteiden kosteudenhallintaan ja laatia tilaajayritykselle ohjekortti, joka käsittelee väestönsuojan kattorakenteiden kosteudenhallintaa. Aihe rajattiin koskemaan erityisesti väestönsuojan kattorakenteita, koska ne ovat yleisiä ja kosteusteknisesti haastavia rakenteita ja ohjeistuksen kehittäminen niiden kosteudenhallintaan koettiin näin ollen tarpeelliseksi. Opinnäytetyö jakautui kolmeen vaiheeseen, joita olivat tietoperustan rakentaminen, laskennalliset tarkastelut ja ohjekortin laatiminen. Tietoperustassa käsitellyillä asioilla saatiin muodostettua hyvä yleiskäsitys aiheeseen ja ne toimivat yhdessä laskennallisten tarkastelujen sekä tilaajayrityksen aiheeseen liittyvien raporttien kanssa pohjana ohjekortin laatimista varten.

Aiheeseen tutustumisen perusteella on täysin ymmärrettävää, että väestönsuojan kattorakenteiden kanssa on ollut haasteita kosteudenhallinnan kanssa ja niitä on jouduttu myös korjaamaan kosteusvaurioiden ja homekasvustojen takia. Rakenteen kerroksellisuus aiheuttaa sen, että rakenne sisältää paljon muuttuvia tekijöitä, jotka tuovat oman vaikutuksensa koko rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Tämän takia näiden rakenteiden kanssa kosteudenhallintaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota jo suunnitteluvaiheessa ja suunnittelijalla on oltava ymmärrys rakenteen kosteusteknisestä toiminnasta, jotta ongelmia ei pääsisi syntymään. Kaikissa rakenneratkaisuissa on tärkeää varmistaa pintalaatan ilmatiiveys ja rakenteen puhtaus ennen täyttökerroksen asentamista ja pintalaatan valua. Pintalaatan liittymien ilmatiiveys tulee varmistaa erityisesti huokoista ja paksua eristekerrosta käytettäessä.

Opinnäytetyössä tehdyissä laskentatarkasteluissa saatiin hyödyllistä tietoa siitä, että kuivumisen odottaminen kosteudenhallintamenetelmänä voisi joissakin tapauksissa olla mahdollista työmaa-aikeakauden puitteissa. Tämä edellyttää kuitenkin nopeasti kuivuvan betonilaadun käyttöä ja huolellista suunnittelua runkolaatan yläpuolisissa rakennekerroksissa käytettävien materiaalien osalta. Kosteusteknisesti turvallisempaa ja varmempaa menetelmänä pitäisin kuitenkin täyttökerroksen tuuletuksen tai höyrynsulun käyttämistä.

Opinnäytetyön suurimmat haasteet liittyivät työn rajaukseen ja lähtötilanteen osaamistasoon aiheesta. Aihe on suhteellisen laaja ja tarkasteluja olisi ollut mahdollista tehdä paljon enemmänkin, joten työn aikana täytyi harkita mukaan otettavia asioita, jotta työn laajuus pysyisi suunnitellun mukaisena. Työn alkuvaiheessa oma tietämys aiheeseen liittyen oli vähäinen, joten aiheeseen sisälle pääseminen vei jonkin aikaa. Toisaalta tästä syystä aiheesta muodostui mielenkiintoinen ja opettavainen, kun aiheeseen perehtyessä sain paljon tietoa uusista asioista ja osaamisalueeni laajeni.

Jatkotutkimuksena aiheesta voisi syventyä tarkemmin kosteudenhallintamenetelmistä täyttökerroksen tuuletukseen ja höyrynsulkuun, joiden tarkastelu jäi tässä työssä lopulta pintapuoliseksi. Lisäksi tässä työssä ei laskentaohjelman rajallisuuden vuoksi pystytty tarkastelemaan koko rakenteen kosteuskäyttäytymistä, joten tehtyjä tarkasteluja voisi tutkia tarkemmin esimerkiksi WUFI-ohjelmalla, joka soveltuu paremmin väestönsuojan kattorakenteen eri rakennekerroksiin muodostuvan suhteellisen kosteuden arviointiin.

## LÄHTEET

ACI 207.1R-05. Guide to Mass Concrete 2005. ACI Committee.

Ahvenainen, Ville, Lehtimäki, Pasi & Tommola, Esa 2017. Uuden betonilattian kuivattaminen Tulilattian Fööni-kuivatusputkistolla. Teoksessa Juha Vinha & Henna Kivioja (toim.) Rakennusfysiikka 2017: Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, 24.-26.10.2017, Tampere, Osa 2. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, 373-378.

Destia Oy. Kiviainekset. Verkkajulkaisu. [https://www.destia.fi/palvelut/kiviaines-ja-kiertotalous/ki-  
viainekset.html](https://www.destia.fi/palvelut/kiviaines-ja-kiertotalous/ki-<br/>viainekset.html). Viitattu 17.3.2021.

Finnfoam Oy. FF-EPS 100S. Verkkajulkaisu. [https://www.finnfoam.fi/tuotteet/ff-eps/eps-levyt/ff-eps-  
100s](https://www.finnfoam.fi/tuotteet/ff-eps/eps-levyt/ff-eps-<br/>100s). Viitattu 16.3.2021.

Finnfoam Oy. Välipohja. Verkkajulkaisu. <https://www.finnfoam.fi/kayttokohteet/valipohja>. Viitattu 16.3.2021.

FISE Oy 2008. Paikallavaletun kattorakenteen (väestönsuojat tms.) kosteusvaurioriski. Pdf-tiedosto. Julkaistu 18.11.2008. Päivitetty 5.11.2018. [https://fise.fi/wp-content/uploads/2008/11/RVP-S-RF-37-  
Kattorakenne-VSS-P%C3%A4ivitetty-8.11.2018.pdf](https://fise.fi/wp-content/uploads/2008/11/RVP-S-RF-37-<br/>Kattorakenne-VSS-P%C3%A4ivitetty-8.11.2018.pdf). Viitattu 17.3.2021.

Halonen, Niko 2014. Kerrostalon rungon rakennusaikainen kosteudenhallinta. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. [http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-  
201404285169](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-<br/>201404285169) Viitattu 12.3.2021.

Hartikainen, Tero 2017. Lattiavalujen kuivattaminen asuntokohteessa. Opinnäytetyö. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. [http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-  
2017111517150](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-<br/>2017111517150) Viitattu 12.4.2021.

Holmgren, Olli 2015. Rakenna radonturvallisesti. Pdf-tiedosto. Julkaistu 12.3.2015. [https://valkea-  
koskenenergia.fi/wp-content/uploads/2016/12/Rakenna-radonturvallisesti.pdf](https://valkea-<br/>koskenenergia.fi/wp-content/uploads/2016/12/Rakenna-radonturvallisesti.pdf). Viitattu 17.3.2021.

Jaakkola, Antti 2018. Leca-kevytsoralla kevennetty tierakenne. Opinnäytetyö. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma, infrarakentaminen. Tampereen ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804305949> Viitattu 12.3.2021.

Kianta, Hanna & Kilpeläinen, Tapio 2017. Miten tehdään betonikerrostaloon turvallinen EPS-eristys? Betoni 2/2017, 72-75.

Kinnunen, Simo 2020. Viiltomittaukset kuntotutkimuksissa. Opinnäytetyö. Rakennusterveysasiantuntijan koulutusohjelma. Rakennusteollisuuden koulutuskeskus. [https://vahanen.com/wp-con-  
tent/uploads/2020/08/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6\\_Simo\\_Kinnunen.pdf](https://vahanen.com/wp-con-<br/>tent/uploads/2020/08/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6_Simo_Kinnunen.pdf). Viitattu 23.2.2021.

Lahtinen, Jani 2017. Massiivinen betonirakenne. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Kajaanin ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705056501> Viitattu 22.3.2021.

Lampainen, Leo 2020. Vaahtolasi infrarakentamisessa. Kandidaatintyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen yliopisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202005255651> Viitattu 15.3.2021.

Leca Finland Oy 2019. Leca-sora infrarakentamisessa. Pdf-tiedosto. Julkaistu 29.3.2019. <https://leca.fi/tekninen-tuki/esitteet-ja-ohjeet/suunnitteluohjeet/>. Viitattu 12.3.2021.

Leca Finland Oy 2020. Leca-kevytsorakaton suunnittelu- ja työohje. Pdf-tiedosto. Julkaistu 30.6.2020. <https://leca.fi/tekninen-tuki/esitteet-ja-ohjeet/suunnitteluohjeet/>. Viitattu 12.3.2021.

Lumme, Pentti & Merikallio, Tarja 1997. Betonin kosteuden hallinta. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Merikallio, Tarja, Niemi, Sami & Komonen, Juha 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy: Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry.

Merikallio, Tarja 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-22-9957-7> Viitattu 2.3.2021.

Merikallio, Tarja 2015. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Pauku, Elina 2016. Massiivisten betonirakenteiden perusvaatimuksia. *Betoni* 4/2016, 92-99.

Pistesarjat Oy 2018. Betonin kuivumisen nopeuttaminen betoninlämmityskaapelin avulla. Pdf-tiedosto. [https://pistesarjat.fi/media/wysiwyg/Luettelot/Bet\\_Dry\\_ohjevihko.pdf](https://pistesarjat.fi/media/wysiwyg/Luettelot/Bet_Dry_ohjevihko.pdf). Viitattu 4.3.2021.

RIL 149-1995. Betonityöohjeet 1995. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Ohje 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2014-10984>. Viitattu 14.4.2021.

RT 36-11113 EPS-eristeet. Lämmöneristystarvikkeet. Ohje 2013. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. [https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11113?external\\_system=Juha&page=1](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11113?external_system=Juha&page=1). Viitattu 16.3.2021.

RT 34-10997 Keraamiset laatat. Ohje 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. [https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2034-10997?external\\_system=Juha&page=1](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2034-10997?external_system=Juha&page=1). Viitattu 26.2.2021.

Rudus Oy. Sepelit. Verkojulkaisu. <https://www.rudus.fi/tuotteet/kiviainekset/sepelit>. Viitattu 17.3.2021.

Safedrying Oy. Toimintaperiaate. Verkojulkaisu. <https://www.safedrying.fi/safedrying/toimintaperiaate1>. Viitattu 9.3.2021.

Sisäasiainministeriön asetus väestönsuojien teknisistä vaatimuksista ja väestönsuojien laitteiden kunnossapidosta 2011/506. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110506>. Viitattu 11.3.2021.

SIT 42-610071 Lattianpäällysteet. Muovi, linoleum, kumi ja korkki. Ohje 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. [https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/SIT%2042-610071?external\\_system=Juha&page=1](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/SIT%2042-610071?external_system=Juha&page=1). Viitattu 22.2.2021.

SIT 42-610074 Parkettilattiat. Ohje 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. [https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/SIT%2042-610074?external\\_system=Juha&page=1](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/SIT%2042-610074?external_system=Juha&page=1). Viitattu 24.2.2021.

Suomen Betoniyhdistys ry 2005. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 5. uudistettu painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 2018. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 6. painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 2021. By 2020 Betonin kuivumisaika-arvio. Pdf-tiedosto. Julkaistu 4.1.2021. [http://www.betoniyhdistys.fi/media/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio-ohjelma/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio\\_manuaali\\_4.1.2021.pdf](http://www.betoniyhdistys.fi/media/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio-ohjelma/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio_manuaali_4.1.2021.pdf). Viitattu 8.4.2021.

Timlin, Hannes 2019. Betonin rakennuskosteuden kuivatus valuun asennetulla kosteudenkeruukanavistolla. Diplomityö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen yliopisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201905311808> Viitattu 9.2.2021.

Työterveyslaitos. Kvartsi (Kiteinen piidioksidi). Verkkojulkaisu. <https://www.ttl.fi/kemikaalit-ja-tyo/kvartsi/>. Viitattu 15.3.2021.

Uusioaines Oy. Foamit suunnitteluohje infrarakentamiseen. Pdf-tiedosto. [https://foamit.fi/wp-content/uploads/2019/06/Suunnitteluohje\\_30s\\_lr.pdf](https://foamit.fi/wp-content/uploads/2019/06/Suunnitteluohje_30s_lr.pdf). Viitattu 15.3.2021.

Uusioaines Oy. Foamit suunnitteluohje talonrakentamiseen. Pdf-tiedosto. [https://foamit.fi/wp-content/uploads/2020/04/foamit-suunnitteluohjeistus-talonrakentamiseen\\_lowres.pdf](https://foamit.fi/wp-content/uploads/2020/04/foamit-suunnitteluohjeistus-talonrakentamiseen_lowres.pdf). Viitattu 15.3.2021.

Uusioaines Oy. Väestönsuojan päällisen täyttö. Verkkojulkaisu. <https://foamit.fi/kayttokohteet/talonrakentaminen/vaestonsuojan-paallisen-taytto/>. Viitattu 15.3.2021.

Valtioneuvoston asetus väestönsuojista 2011/408. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110408#a408-2011>. Viitattu 11.3.2021.

Vänskä, Saara 2019. Lattianpäällysteiden elinkaarikustannukset. Diplomityö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen yliopisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-201906242181> Viitattu 23.2.2021.

Weijo, Inari, Lahdensivu, Jukka, Turunen, Timo, Ahola, Susanna, Sistonen, Esko, Vornanen-Winqvist, Camilla & Annila, Petri 2019. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Zhu, Bofang 2014. Thermal stresses and temperature control of mass concrete. First edition. Amsterdam; Boston: Elsevier/BH, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier.

## LIITE 1: OHJEKORTTI VÄESTÖNSUOJAN KATTORAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTAAN

Liitettä ei julkaista.