

MASUUNIHIEKKATÄYTÖN VAIKUTUS MAAN-
VASTAISEN BETONILAATAN KUIVUMISEEN

Mikko Siekkinen

2011

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

MASUUNIHIEKKATÄYTÖN VAIKUTUS MAAN-
VASTAISEN BETONILAATAN KUIVUMISEEN

Mikko Siekinen

Opinnäytetyö

7.5.2011

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Rakennustekniikka		82	+	
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Talo- ja korjaustekniikka	7.5.2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Rautaruukki Oyj	Mikko Siekinen			
Työn nimi	Masuunihiekkatäytön vaikutus maanvastaisen betonilaatan kuivumiseen			
Avainsanat	Masuunihiekka, betonin kuivuminen, maanvastainen alapohja			

Paksujen maanvastaisten betonilattioiden hidas kuivuminen tuottaa työmaille aikatauluongelmia. Muutamassa työkohteessa on havaittu paksujen maanvastaisten lattioiden kuivuvan nopeasti, jos betonilaatta on valettu masuunihiekkatäytön päälle. Työn tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako masuunihiekkatäyttö nopeuttavasti maanvastaisen betonilaatan kuivumiseen.

Työ aloitettiin laboratorionkokeella, jossa vertailtiin normaalin alapohjarakenteen ja masuunihiekkatäytön päälle valettujen betonilaattojen kuivumista. Betonilaattojen ja alapuolisen masuunihiekkatäytön kosteutta mitattiin jatkuvana seurannana sekä porareikämenetelmän avulla. Jatkuvan seurannan mittauksessa oli ongelmia koehallin lämpötilan vaihtelun sekä kovien mittausolosuhteiden antureille aiheuttamien rasitusten vuoksi.

Kokeissa masuunihiekkatäytön päälle valetut betonilaatat eivät kuivuneet normaalin alapohjarakenteen päälle valettua betonilaatta nopeammin, toisin kuin oli oletettu. Koelaatat kuivuivat huomattavasti hitaammin kuin työssä käsitellyn työmaakohteen lattiat. Työmaakohteen lattian nopean kuivumisen oletetaan johtuvan veden siirtymisestä betonista masuunihiekkatäyttöön valun aikana. Tällöin betoni kuivuu nopeasti veden kemiallisen sitoutumisen vuoksi. Jostain syystä koelaatoissa ei tapahtunut samanlaista nopeaa kuivumista, vaikka viitteitä betonissa olevan veden siirtymisestä masuunihiekkaan olikin havaittavissa.

Degreeprogramme	Thesis	Pages	+	Appendices
Civil Engineering	B.Sc	82	+	

Line	Date
Housebuilding and Renovating	7.5.2011

Comissioned by	Author
Rautaruukki Plc	Mikko Siekkinen

Thesis title

The influence of the granulated blast furnace slag filling on the drying of ground slab

Keywords

blast furnace slag sand, drying of concrete, ground slab

Organic drying of massive ground slabs cause problems to the schedules of construction sites. In a few projects it has been observed fast drying of massive ground slabs, when concrete have casted on top of the granulated blast furnace slag filling. The objective of this Bachelor's thesis was to clarify if the granulated blast furnace slag filling accelerates the drying of the ground slab.

This research was begun with a laboratory test in which the drying of the concrete slabs was compared over by using a normal base floor structure and granulated blast furnace slag filling. The relative humidity of the concrete slabs and of the lower granulated blast furnace slag filling was measured as a constant follow-up and with the help of the borehole method. There were problems with the measuring of the constant follow-up because of the variation of the temperature of the test hall and the stresses caused by the hard measuring conditions to the sensors.

In the tests the concrete slabs which had casted on top of the granulated blast furnace slag filling did not dry faster than the concrete slab which had casted on top of the normal base floor structure unlike it had been supposed. The concrete slabs in tests dried considerably more slowly than the concrete slabs at construction sites that has been dealt with in this Bachelor's thesis. It is supposed that the quick drying of the concrete slab on the construction site is caused by the transition of water from the concrete to granulated blast furnace slag filling during the casting. In that case concrete will dry fast because of a chemical setting of water. For some reason similar quick drying did not take place in the concrete slabs of the test even though there were perceived badges from the transmission of the water from concrete to the granulated blast furnace slag filling.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLTÖ.....	5
KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	9
2 MATERIAALIN TEOREETTINEN KOSTEUSKÄYTTÄYTYMINEN	11
2.1 Kosteuden sitoutuminen	11
2.2 Kosteuden siirtymismuodot	12
2.3 Materiaalien tasapainokosteuskäyrät	14
3 MAANVASTAISEN ALAPOHJAN KOSTEUSKENINEN TOIMIVUUS	15
3.1 Maanvastaisen alapohjarakenteen kosteustekniset vaiheet.....	16
3.2 Maanvastaisen alapohjarakenteen kuivumisvaiheen olosuhteet	18
3.3 Maanvastaisen alapohjarakenteen normaalit käyttöolosuhteet	20
4 BETONIN KOSTEUS.....	22
4.1 Rakennuskosteus.....	22
4.2 Betonin suhteellinen kosteus.....	23
4.3 Betonirakenteen kuivuminen	24
5 BETONILATTIAN KOSTEUDEN ENIMMÄISARVOT.....	30
6 KUIVUMISAIKA-ARVIOT	32
7 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAAMINEN	34
7.1 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä	34
7.2 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä.....	35
7.3 Betonin suhteellisen kosteuden pitkäaikainen seuranta	36
7.4 Mittauskohtien valinta	36
8 MASUUNIHIEKKA	38
8.1 Masuunihiekan ominaisuudet	38
8.2 Masuunihiekan käyttökohteet	39

9 VALION HALLIN LATTIA	42
9.1 Betonirakenteen AP1 kuivumisaika-arviointi 90 %:n suhteelliseen kosteuteen.....	43
9.2 Betonirakenteen AP2 kuivumisaika-arviointi 90 %:n suhteelliseen kosteuteen.....	44
9.3 Mittaustulokset	44
9.4 Johtopäätökset	47
10 LABORATORIOKOKKEET JA KOEMENETELMÄT	49
10.1 Koeolosuhteet	57
10.2 Koebetonirakenteiden kuivumisaika-arvio	58
11 KOKEESSA KÄYTETYT KOSTEUDEN MITTAUSLAITTEET	60
12 KOKEIDEN TULOKSET.....	61
12.1 Jatkuvan seurannan tulokset.....	61
12.1.1 Masuunihiekan kosteus ja lämpötila.....	61
12.1.2 Jatkuvan seurannan antureiden toiminta.....	64
12.2 Porareikämenetelmällä mitatut tulokset.....	71
12.3 Tulosten analysointi ja johtopäätökset.....	74
13 YHTEENVETO.....	78
LÄHTEET	81

KÄSITTEET

- Diffuusio** tarkoittaa kaasuseoksessa (esimerkiksi ilma) tapahtuvaa vesihöyryn liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrypitoisuus- tai höyryn osapaine-erot. Diffuusiossa vesihöyry siirtyy korkeammasta pitoisuudesta alempaan pitoisuuteen. (Leivo - Rantala 2000, 3.)
- Hygroσκοoppisuus** on huokoisen aineen kykyä sitoa itseensä kosteutta ilmasta, ja luovuttaa sitä takaisin (Leivo - Rantala 2000, 3).
- Hygroσκοoppinen** tasapainokosteus on kosteusmäärä, joka tasaisten olosuhteiden jatkuvuustilassa sitoutuu huokoiseen aineeseen ympäristön tietyssä suhteellisessa kosteudessa ja lämpötilassa. Sitoutumismekanismi voi olla adsorptio tai kapillaarikondenssi. (Leivo - Rantala 2000, 3.)
- Kapillaarikondenssi** on ilmiö, jossa vesimolekyylit tiivistyvät aineen huokosten muodostaman kapillaariputkiston reunoille, kunnes yhtenäinen huokosputkisto katkeaa (Leivo - Rantala 2000, 3).
- Kapillaarisuus** tarkoittaa huokoisen aineen kykyä imeä nestettä vapaan nestepinnan yläpuolelle ja pitää se siellä (Leivo - Rantala 2000, 3).
- Kapillaarinen** tasapainokosteus tarkoittaa vesipitoisuutta, jonka huokoinen aine saavuttaa kapillaarivoimien avulla ollessaan kosketuksessa vapaaseen nestepintaan. Kapillaarinen tasapainokosteus ilmaistaan joko kapillaarisen nousukorkeuden tai huokosalipaineen avulla. (Leivo - Rantala 2000, 3.)

Kapillaarivirtaus on huokosalipaineen paikallisten erojen aiheuttamaa nesteen siirtymistä huokosissa (Leivo - Rantala 2000, 3).

Kondensoituminen on vesihöyryn tiivistymistä rakenteissa vedeksi tai jääksi, kun ilman vesihöyrypitoisuus on saavuttanut kyseisessä kohdassa kyllästyskosteuden ($RH = 100\%$). Kondensoitumista tapahtuu yleensä materiaalien rajapinnoissa ja kylmäsilloissa. (Leivo - Rantala 2000, 3.)

Kosteus tarkoittaa kemiallisesti sitoutunutta vettä kaasumaisessa, neste-mäisessä tai kiinteässä muodossa (Leivo - Rantala 2000, 3).

Kosteuskonvektio on vesihöyryn siirtymistä ilman paine-erojen aiheuttaman ilmavirran mukana (Leivo - Rantala 2000, 3).

Kyllästyskosteus on vesihöyrypitoisuus, joka mahtuu ilmaan tietyssä lämpötilassa, juuri ennen kuin se tiivistyy vedeksi (Leivo - Rantala 2000, 4).

Suhteellinen kosteus

(RH) ilmoittaa, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä verrattuna kyllästyspitoisuuteen tietyssä lämpötilassa. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan prosentteina %. (Leivo - Rantala 2000, 4.)

Vesihöyrypitoisuus ilmoittaa ilmassa olevan vesihöyryn määrän (Leivo - Rantala 2000, 5).

Vesipitoisuus tarkoittaa materiaalissa olevan veden massan ja kuivan materiaalin massan suhdetta prosentteina ilmaistuna (Leivo - Rantala 2000, 5).

1 JOHDANTO

Paksut maanvastaiset betonilaatat, joita käytetään yleisesti teollisuustilojen lattioina, ovat hitaita kuivumaan. Tämän vuoksi joudutaan odottamaan kuu-kausia, ennen kuin betonilaatat voidaan pinnoittaa. Liian kostean betonin pinnoitus voi aiheuttaa pinnoitteen vaurioitumisen ja kosteusvaurioita, minkä vuoksi on jouduttu uusimaan lattian pinnoituksia. Betonilaatan kuivumisen odottaminen aiheuttaa työmaalle aikatauluongelmia.

Betonin kuivumisen nopeuttamiseksi on käytetty imubetonointimenetelmää, sekä NP–betonia (nopeasti pinnoitettava betoni), joka kuivuu nopeasti. Imubetonointi lisää työmäärää ja kustannuksia sekä aiheuttaa laatuongelmia. NP–betonin huonot puolet verrattaessa normaaliin betoniin ovat sen kalliimpi hinta sekä huonompi työstettävyys. (Betonilattiat 2000, 165 - 166.)

Paksun maanvastaisen betonilaatan hidas kuivuminen johtuu pääasiassa laatan suuresta vahvuudesta sekä siitä, että laatta pääsee kuivumaan ainoastaan yhteen suuntaan eli ylöspäin. Koska betonilaatan alapuolella on yleensä tiivis eristekerros tai kostea maa, ei betonin rakennekosteus voi siirtyä alaspäin. (Leivo - Rantala 2002b, 14 - 15.)

Tämän työn päätavoite on selvittää, voidaanko maanvastaisen betonilaatan kuivumiseen vaikuttaa sillä, että tavanomaisen betonilaatan alapuolisen rakenteen (murske, eriste) tilalle vaihdetaankin masuunihiekkatäyttö. Masuunihiekka läpäisee hyvin vettä tasalaatuisen kiderakenteensa vuoksi ja sillä on myös suuri ominaispinta-ala, johon voi sitoutua paljon vettä. Luonnonkosteassa tilassa tiivistettynä masuunihiekassa tapahtuu hydraulinen sitoutumisreaktio (Masuunihiekka MaHk. 2006). Masuunihiekan ominaisuuksista johtuen kokeen perusidea ja oletamus on, että masuunihiekan päälle valettu betonilaatta kuivuu nopeasti, koska ylimääräinen vesi betonilaatasta valuu masuunihiekkatäyttöön. Myös masuunihiekassa tapahtuvan sitoutumisreaktion oletetaan sitovan osan betonilaatan kosteudesta itseensä. Toisin sanoen oletustilanne on rinnastettavissa kahteen suuntaan kuivuvaan betonilaattaan.

Idea työn aiheeseen on saatu YIT Rakennus Oy:lla vastaavana mestarina toimivalta Tuomo Majavalta. Kesällä 2010 Oulun Valiolle rakennettiin hallin laajennus, jonka alapohja tehtiin käyttäen masuunihiekkatäyttöä. Masuunihiekan päälle valettu paksu betonilaatta kuivui verrattain nopeasti ja Majava epäili, että masuunihiekkatäyttö voisi vaikuttaa asiaan. Myös muutama aikaisemmassa kohteessa, joissa alapohjarakenne oli samanlainen, Majava oli havainnut betonilaatan nopeaa kuivumista.

Asiaa alettiin tutkia Rautaruukki Oyj:n avustuksella. Tutkimusta varten tehtiin koealapohjat, joilla vertailtiin normaalin alapohjarakenteen päälle valetun betonilaatan ja masuunihiekan päälle valetun betonilaatan kuivumista.

2 MATERIAALIN TEOREETTINEN KOSTEUSKÄYT- TÄYTYMINEN

Hygroσκοoppinen materiaali pystyy sitomaan ja luovuttamaan kosteutta. Kosteuden siirtyminen ja materiaaliin sitoutuminen voi tapahtua useammalla eritavalla. (Leivo - Rantala 2000, 10, 19.) Luvuissa 2.1 – 2.2 esitellään keskeisimmät kosteuden sitoutumis- ja siirtymismuodot.

2.1 Kosteuden sitoutuminen

Kosteus voi sitoutua huokoiseen materiaaliin kemiallisesti, hygroσκοoppisesti ja kapillaarisesti. Kemiallisesti sitoutunut vesi on sitoutunut materiaaliin joko molekyyli- tai ionisidoksella. Kemiallisen sidoksen rikkoutuminen vaatii huomattavasti suuremman määrän energiaa kuin muut sidosmuodot. Se ei poistu materiaalin normaalisti kuivuessa vaan vaatii todella suuren lämpötilan, minkä takia sitä ei oteta huomioon normaalissa kosteusteknisessä tarkastelussa. (Leivo - Rantala 2000, 10.)

Kosteuden sitoutuessa materiaaliin hygroσκοoppisesti tapahtuu kosteuden siirtyminen suoraan ilmasta, eli hygroσκοoppinen sitoutuminen tapahtuu kosteuden ollessa 0 - 100 %:n välillä. Hygroσκοoppinen sitoutuminen tapahtuu aineen huokosissa vaikuttavien vetovoimien vetäessä vesimolekyyliä huokosten pintaan ja vesihöyryä huokosten ilmatilaan. Suhteellisen kosteuden ollessa suuri syntyy huokosten pintaan paksu vesimolekyylikerros ja pienellä suhteellisella kosteudella ohut kerros. Hygroσκοoppinen sitoutuminen voi tapahtua adsorptiolla tai kapillaarikondenssilla. Adsorptio on hallitseva pienissä suhteellisissa kosteuksissa ja kapillaarikondenssi suurissa. Kosteuden sitoutumisen määrä riippuu materiaalin kemiallisista ominaisuuksista ja materiaalin kiderakenteen ominaispinta-alasta (pinta/tilavuus). Jos pinta-ala on suuri, se voi sitoa paljon kosteutta itseensä. (Leivo - Rantala 2000, 10 - 11; Leivo - Rantala 2002b, 13.)

Kapillaarinen sitoutuminen aineeseen tapahtuu aineen ja veden välisten mo-

lekyylien vetovoimien johdosta. Materiaalin huokokset muodostavat joukon kapillaariputkia, joihin vesi sitoutuu. Maalajeissa huokokset muodostuvat raekiden välisestä ilmatilasta. Raekoon kasvaessa huokosten eli kapillaariputkiston koko kasvaa. Kapillaariseen sitoutumisen määrään vaikuttavat myös materiaalin kerrostuminen, tiiviysaste ja lämpötila. Jos materiaali olisi täysin tasalaatuista eli sen huokosten koko olisi vakio, olisi materiaalissa tapahtuva nousukorkeus vakio riippumatta vallitsevasta kosteudesta. Todellisuudessa materiaalin huokosten koko vaihtelee ja sen vuoksi myös kapillaarinen nousukorkeus. Kapillaarisessa sitoutumisessa vesi on nestemäisessä muodossa eli kun materiaaliin on sitoutunut vettä kapillaarisesti, on sen suhteellinen kosteus 100 %. (Leivo - Rantala 2002a, 16.)

2.2 Kosteuden siirtymismuodot

Kosteus voi siirtyä materiaalista toiseen diffuusiolla, kapillaarisesti, diffuusion ja kapillaarisen liikkeen yhtäaikaisella vaikutuksella, veden painovoiman vaikutuksesta sekä haihtumisen ja kosteuskonvektion avulla. Diffuusio on höyrystyneiden vesimolekyylien siirtymistä suuremmasta vesihöyryn pitoisuudesta pienempään. Se voidaan ilmoittaa joko kosteus- tai osapaine-erona. Diffuusion määrään vaikuttaa höyrynpaine-erojen suuruus sekä materiaalin vesihöyrynvastus. (Leivo - Rantala 2002a, 16 - 17.)

Pienen vesihöyrynvastuksen omaavaan materiaaliin tai materiaalin läpi voi siirtyä paljon vesihöyryä ja suuren vastuksen omaavan vähän. Mitä umpisoluisempaa materiaalin solurakenne on, sitä suurempi vesihöyryn vastus sillä on. Esimerkiksi muovikalvoilla ja tiiviillä eristeillä on tiivis solurakenne ja suuri vesihöyrynvastus. Sen sijaan huokoisilla aineilla, kuten maa-aineksilla, on avoin solurakenne ja pieni vesihöyrynvastus. Maassa kosteuden siirtyminen on vallitsevaa nestemäisessä muodossa ja diffuusiona tapahtuva liike on siihen verrattuna hyvin pientä. Tämän vuoksi maassa kosteuden siirtyminen diffuusiolla jätetään monesti kokonaan huomioimatta. (Leivo - Rantala 2002a, 16 - 17.)

Vesi voi siirtyä nestemäisessä muodossa kapillaarisesti vapaasta vesiläh-

teestä materiaaliin. Vapaa vesilähde voi olla esimerkiksi pohjavesi, orsivesi tai toiseen materiaaliin kapillaarisesti sitoutunut suuri vesimäärä. Vesi pyrkii siirtymään huokoisessa materiaalissa huokosten muodostamien kapillaari-putkistojen kautta kapillaaristen vetovoimien vaikutuksesta. Kapillaarisen veden siirtymisen suuruuteen vaikuttaa veden- ja aineen ominaisuudet sekä olosuhteiden kosteuspitoisuudet. Paino- ja kitkavoima vastustavat kapillaarista veden siirtymistä. Kapillaarinen kosteuden siirtyminen pysähtyy, kun kapillaarivoimat ja sitä vastustavat voimat ovat tasapainossa. Kapillaarista kosteuden siirtymistä voi tapahtua pysty- ja vaakasuuntaan. Aineen huokosiin kapillaarisesti sitoutunutta kosteutta kutsutaan *kapillaarivedeksi* ja sen nousukorkeutta vapaasta vedestä *kapillaariseksi nousukorkeudeksi*. Jokaiselle materiaalille voidaan määrittää kokeellisesti kapillaarinen nousukorkeus. (Leivo - Rantala 2002a, 17.)

Kosteus voi siirtyä yhtä aikaa sekä kapillaarisesti että diffuusion avulla. Tarkasteluissa ne voidaan kuitenkin jakaa kahteen osaan niin sanotun kriittisen kosteuden suhteen. Alueella, jossa on kriittistä kosteutta alempi kosteus, huomioidaan diffuusio, ja kriittistä kosteutta ylemmällä alueella huomioidaan vastaavasti kapillaarinen siirtyminen. (Leivo - Rantala 2000, 24 - 25.)

Huokoisessa materiaalissa vesi painuu alaspäin maan vetovoiman vaikutuksesta. Veden virtaamiseen aineessa vaikuttaa aineen vedenläpäisevyys. Veden läpäisevyyteen vaikuttavat aineen rae- ja huokoskoostumus. Mitä suurempi ja tasarakeisempää aine on, sitä paremmin se läpäisee vettä. Jos materiaalissa on paljon hienoainesta (raekoko < 0,06 mm), se on huonosti vettä läpäisevää. (Leivo - Rantala 2000, 20.)

Konvektiossa vesihöyry siirtyy ilmavirtauksen mukana. Ilmavirtaus syntyy kun rakenteen eri puolilla on erisuuruiset ilmanpaineet, jotka yrittävät tasoitua suuremmasta paineesta pienempään. Ilmanpaine-eron voi aiheuttaa tuuli, lämpötilaero tai ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimet. Ilmavirran liikkua rakenteen sisällä lämpimästä kylmempään rakenteen suhteellinen kosteus nousee ja kosteus tiivistyy nesteeksi eli kondensoituu. Kun ilmavirta liikkuu rakenteen sisällä kylmemmästä lämpimämpään, rakenteen suhteellinen kos-

teus laskee ja rakenne kuivuu. Rakenteen lämmitessä tai sen ollessa lämpimämpi kuin ympäröivä ilma rakenteesta haihtuu kosteutta eli se kuivuu. Kun rakenne on lämpimämpi kuin ympäröivä ilma, lähtee ilma virtaamaan suuremmasta lämpötilasta ja suuremmasta ilmanpaineesta kohti pienempää lämpötilaa ja pienempää ilmanpainetta. Ilman mukana siirtyy, eli haihtuu myös kosteutta. (Leivo - Rantala 2000, 20 - 21.)

2.3 Materiaalien tasapainokosteuskäyrät

Ympäröivän ilman ja aineen kosteuden välille asettuu tasapaino, jota kuvaa aineelle ominainen tasapainokosteuskäyrä. Käyrä siis ilmoittaa aineessa olevan absoluuttisen kosteuden määrän, kun se on tasapainotilassa tietyssä ympäristön suhteellisessa kosteudessa. Käyrä on erilainen riippuen siitä, onko aine kuivumassa vai kostumassa, mikä johtuu hygroskooppisesta hystereesi-ilmiöstä. (Lehtoviita - Laine - Alitalo 2004, 36.)

Tasapainokosteus käyrä tulee siis määrittää materiaalin kuivuessa ja kostuessa. Tunnetuin ja tarkin menetelmä määrittää tasapainokosteus käyrä on punnitusmenetelmä. Siinä materiaalin tulee tasapainottua tiettyyn suhteelliseen kosteuteen, minkä jälkeen materiaali punnitaan ja kuivataan ja saadaan tietää sen sisältämä absoluuttinen kosteus. Tasapainokosteus käyrän määrittämisestä on lisää raportissa Maanvaraisten alapohjien kosteustekninen käyttäytyminen, julkaisu 106. (Leivo - Rantala 2000, 83.)

3 MAANVASTAISEN ALAPOHJAN KOSTEUSKENINEN TOIMIVUUS

Maanvastainen laatta voi olla joko kantava tai maanvarainen. Lattiaan kohdistuva kuorma voi siis siirtyä laatan kautta sen alapuolisille kannattajille tai suoraan alapuoliseen maakerrokseen. Nykyisten rakennusmääräysten mukaan molemmissa tapauksissa betonilaatan alapuoliset kerrokset ovat kuitenkin perustapauksissa samanlaiset. Yleensä betonilaatan alla on lämmöneriste ja lämmöneristeen alla sora tai pesty sepeli, joka toimii kantavana kerroksena ja kapillaarikatkona. Aikaisemmin maanvastaisia betonilaattoja on tehty myös ilman alapuolista lämmöneristettä. Nykyään lämmöneristeen poisjättäminen on todella harvinaista, koska tällainen rakenne toimii huonosti lämpö- ja kosteusteknisesti. Koska alapohjan eri rakenne materiaalit ovat pääosin huokoisia, on maanvastaisen betonilattian toimivuuden kannalta tärkeää, että betonilaatan alla on riittävä lämmöneriste-, kapillaarikatko- ja kantavakerros. (Betonilattiat 2000, 15 - 16.)

Lämmöneristeen yläpuolella sijaitsevien rakennemateriaalien kosteus on alapohjan käyttötilassa yleensä hygroskooppisella alueella, eli niiden suhteellinen kosteus on 0 ja 100 %:n välillä. Tämän vuoksi materiaalien kosteus riippuu pääosin ympäröivistä olosuhteista. Poikkeuksena kuivumisvaiheessa olevat suuren rakennekosteuden omaavat materiaalit(betoni) sekä kosteusvauriolle altistuvat rakenteet, jotka voivat sisältää paljon kapillaarista kosteutta. (Leivo - Rantala 2002b, 8.)

Alapohjan täyttö- ja salaojakerrosten alaosassa on yleensä kapillaarista kosteutta, ja yläosan suhteellinen kosteus on korkea, jopa 100 %. Suuri kosteus johtuu useasta eri tekijästä. Täyttö- ja salaojakerroksena käytettävä maa-aines on rakennusaikana usein kosteaa ja yleensä ainut kuivumissuunta on alaspäin, jossa on vastassa korkean vesipitoisuuden omaava perusmaa. Maa-aines on huokosverkostonsa kautta yhteydessä pohjaveteen, jolloin kapillaarivoimat voivat tuoda lisää kosteutta täyttökerrokseen. Tämän hetkisten rakennusmääräysten ja suositusten mukaan alapohjarakenteessa tulee olla

kapillaarikatkokerros, muuten kapillaarisen veden nousu on mahdollista koko rakenteeseen. Syvällä perusmaassa lämpötila on + 5 - 10 °C, joka on liki sama kuin pohjavedellä. Alapohjarakenteen lämpötilaan vaikuttaa eniten sisälämpötila sekä rakenteen lämmöneristävyys. Jos lämmöneristävyys on huono, pääsee rakenteen läpi suuri lämpömäärä. Päinvastoin jos eristävyys on hyvä, on läpi menevä lämpömäärä pieni. Jokatapauksessa rakenteen läpi pääsee aina jonkin verran lämpöä. Tavanomaisissa tapauksissa lämmöneristeen alapuolisen täyttö- ja salaojakerroksen lämpötila on + 12 - 15 °C, kun lämmöneristettä on 50 - 100 mm. 50 - 100 mm on tavanomainen eristepaksuus ennen 2010 vuotta voimaantulleita lämmöneristysmääräyksiä. Nykyisin eristepaksuus on noin 150 - 200 mm, joten täyttökerroksen lämpötila on joi-tain asteita pienempi rakennettaessa nykyisten määräysten mukaisesti. (Leivo - Rantala 2002b, 8.)

Alapohjan yläpinnassa, eli betonilaatan yläosassa ja sen pinnoitteessa, val-litsee sama lämpötila ja suhteellinen kosteus kuin rakennuksen huoneilmas-sa. Rakennuksen lämpötila riippuu sen käyttötarkoituksesta. Tyypillisesti lämpötila on +19 - +20 °C, kun kyseessä on asuinrakennus tai toimistotila. Huoneilman suhteelliseen kosteuteen vaikuttavat rakennuksen käyttötarkoi-tus, ympäröivän ilman suhteellinen kosteus, tilan kosteustuotto ja ilmanvaihdon tehokkuus. Asuinrakennusten ja toimistotilojen suhteellinen kosteus vaihtelee normaalisti 25 %:sta 60 %:iin ja on suurin kesällä. (Leivo - Rantala 2002b, 9.)

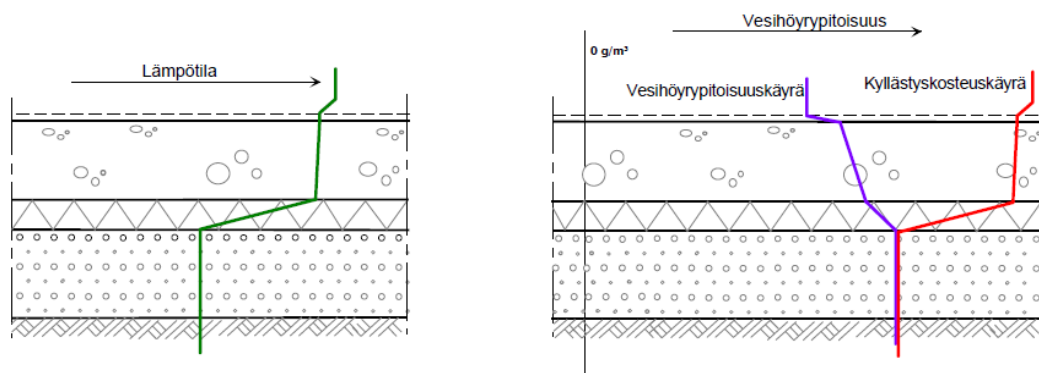
3.1 Maanvastaisen alapohjarakenteen kosteustekniset vai-heet

Maanvastaisen alapohjan kosteustekninen toiminta eroaa suuresti muista ta-vanomaisista rakenteista, koska sen olosuhteet vaihtelevat merkittävästi ra-kenteen elinkaaren aikana ja vaihteluun vaikuttaa moni eri tekijä. Alapohjara-kenteen pääasialliset kosteuskuormitukset tulevat rakenteen alapuolella sijaitsevasta kosteasta pohjamaasta sekä betonilaatan suuresta rakenne kosteudesta. Maanvastaisen alapohjan kosteustekninen toimivuus voidaan jakaa kolmeen päätilanteeseen. Tilanteet ovat rakenteen kuivumisvaihe,

käyttötila ja vauriotilanne. Tässä työssä käsitellään näistä vain kahta ensimmäistä. (Leivo - Rantala 2002b, 10.)

Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan tarkastelussa käytettäviä käsitteitä ovat (kuva 1) seuraavat:

- Lämpötilakäyrä osoittaa lämpötilan muuttumisen rakenteen sisällä.
- Kyllästyspitoisuuskäyrä osoittaa vesihöyryn kyllästyspitoisuuden rakenteen eri kohdissa. Se kertoo, kuinka paljon vesihöyryä (RH = 100 %) sopii mihinkin kohtaan rakennetta ennen kuin se tiivistyy vedeksi. Kyllästyspitoisuus riippuu ainoastaan lämpötilasta, eli kyllästyspitoisuuskäyrä noudattelee lämpötilakäyrää.
- Vesihöyrypitoisuuskäyrä osoittaa vesihöyrypitoisuuden rakenteen eri kohdissa. Vesihöyrypitoisuus riippuu materiaalin vesihöyrynläpäisevyyksistä sekä sisä- ja ulkotilan suhteellisesta kosteudesta. Mikäli kyllästys- ja vesihöyrypitoisuuskäyrä leikkaavat toisensa, ei leikkauskohdassa oleva vesihöyry sovi enää höyrymäiseen muotoon vaan se tiivistyy vedeksi. (Leivo - Rantala 2002b, 10.)



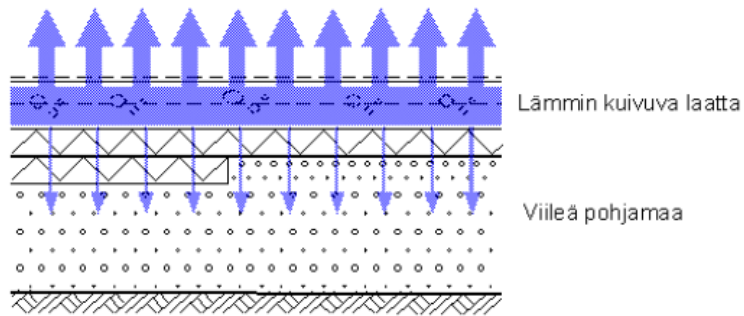
KUVA 1. Rakenteen lämpötila- kyllästyskosteus- ja vesihöyrypitoisuuskäyrät tasapainotilassa (Leivo - Rantala 2002b, 10)

3.2 Maanvastaisen alapohjarakenteen kuivumisvaiheen olosuhteet

Rakenteen kuivumisvaiheessa suurin kosteuslähde on vasta valettu betonilaatta, josta poistuu ylimääräistä kosteutta. Rakennekosteutta voi olla jopa kymmeniä litroja yhdessä kuutiometrissä betonia. Rakennekosteuden poistuessa rakenne pyrkii tasapainokosteuteen ympäristön kanssa. (Leivo - Rantala 2002b, 14 - 15.)

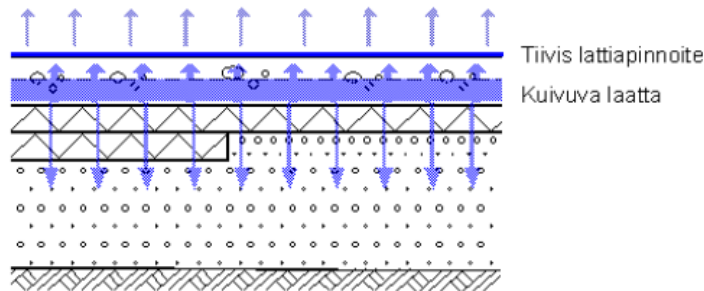
Ennen pinnoitusta suurin kosteusvirta tapahtuu betonista ilmaan haihtumalla. Kuivumista tapahtuu myös diffuusiolla, kapillaarisesti ja painonvoimaisesti betonilaatasta alaspäin. Betonin pinnoittamisen jälkeen haihtuminen vähenee tai loppuu kokonaan. Jos pinnoite on erittäin tiivis eli sen vesihöyrynvastus on suuri, haihtuminen loppuu kokonaan. Jos pinnoite ei ole täysin tiivis, eli sen vesihöyrynvastus ei ole kovin suuri, haihtumista tapahtuu edelleen, mutta se hidastuu olennaisesti. Tällöin rakenne kuivuu eniten alaspäin. (Leivo - Rantala 2002b, 14 - 15.)

Yleensä kun rakennus otetaan käyttöön, huoneilma lämpenee. Tällöin lämpenee myös maapohja ja kyllästyskosteuspitoisuus kasvaa, minkä vuoksi kosteusvirta alaspäin pienenee. Kuvassa 2 on esitetty, miten betonilaatta kuivuu ennen pinnoitusta eniten haihtumalla huoneilmaan ja pinnoituksen jälkeen diffuusiolla ja kapillaarisesti alaspäin. (Leivo - Rantala 2002b, 14 - 15.)



Ylimääräinen rakennuskosteus poistuu haihtumalla sisäilmaan tai diffuusiolla ja painovoimaisesti täyttökerroksiin ja pohjamaahan.

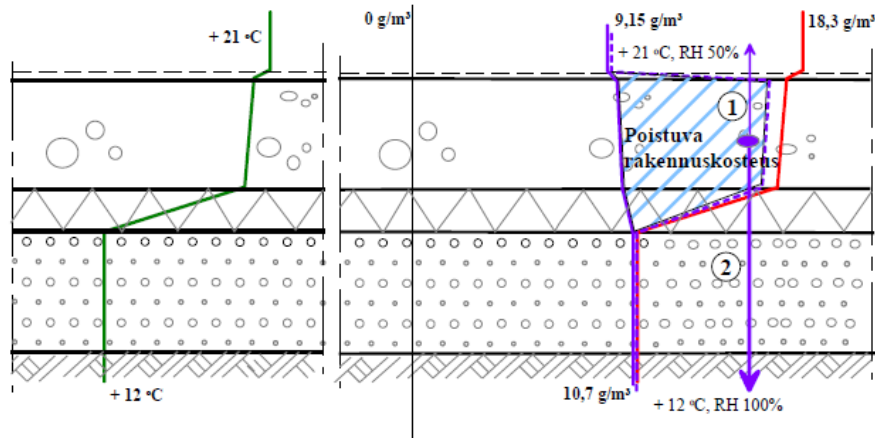
Laatan pinnoittamisen jälkeen



Rakennuskosteus pääsee kuivumaan vain alaspäin tai hitaasti tiiviin lattiapinnoitteen läpi.

KUVA 2. Rakennuskosteuden poistuminen maanvastaisesta betonilaatasta ennen pinnoittamista ja pinnoittamisen jälkeen (Leivo - Rantala 2002b, 14.)

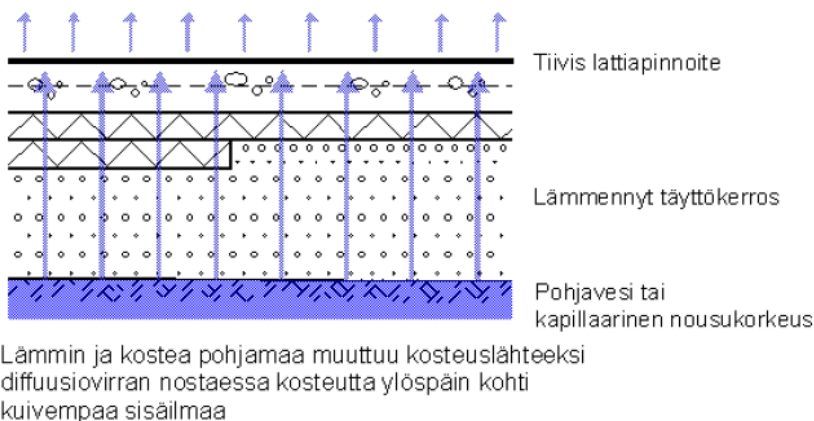
Alapohjan kosteuden tasaantuminen kestää yleensä useita vuosia ja sen kesto riippuu ympäröivistä olosuhteista, rakennevalinnoista ja kosteuden määrästä. Kuvassa 3 on havainnollistettu pinnoitetun kuivumisvaiheessa olevan betonilaatan kosteusteknistä toimintaa. Siihen on merkitty betonilaatasta poistuva rakennuskosteus ja sen kuivumis-suunnat ennen kuin rakenne saavuttaa tasapainotilan. (Leivo - Rantala 2002b, 14 - 15.)



KUVA 3. Alapohjarakenteen kosteustekninen toiminta rakenteen kuivumisvaiheessa (Leivo - Rantala 2002b, 14)

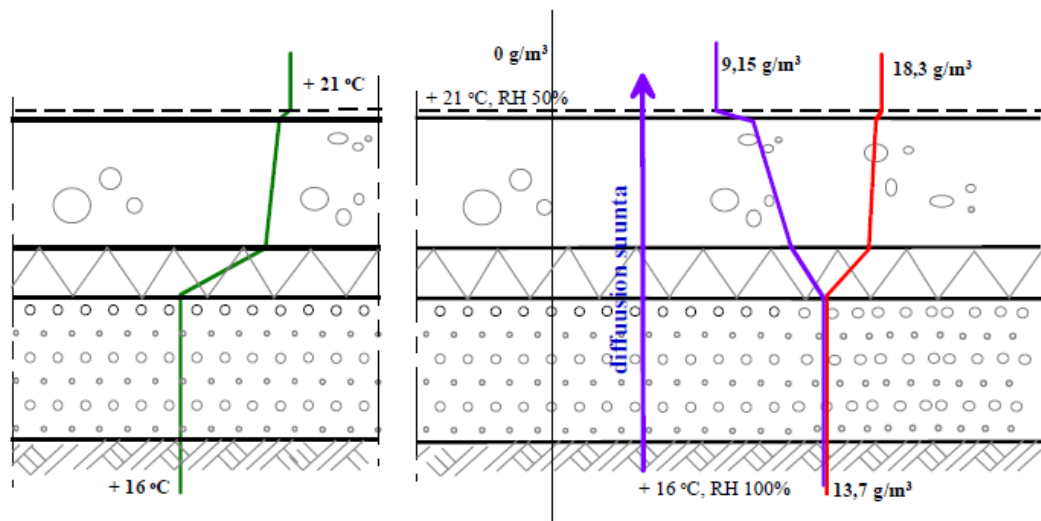
3.3 Maanvastaisen alapohjarakenteen normaalit käyttöolosuhteet

Käyttöolosuhteissa maanvastaisen betonilaatan kosteustasapaino muodostuu ympäristöolosuhteiden, rakenteen materiaalikerrosten vesihöyrynläpäisevyyksien ja lämmönjohtavuuksien perusteella. Tyypillisesti kostea maapohja on niin lämmin, että sen vesihöyryn osapaine on suurempi kuin huoneilman vesihöyryn osapaine. Tällöin vesihöyry siirtyy diffuusiolla maapohjasta huoneilmaan (kuva 4).



KUVA 4. Kosteusvirrat normaaleissa käyttöolosuhteissa (Leivo - Rantala, 2002b, 14)

Kun alapohja on tasoittunut käyttöolosuhteisiinsa, se ei enää sisällä ylimääräistä rakennekosteutta (kuva 5). Tällöin pääasiallinen kosteusrasitus tulee alapuolisesta maasta diffuusion avulla. Diffuusion suuruus ja rakenteen muu kosteustekninen toimivuus riippuu ympäristöolosuhteista, rakenteen materiaalikerrosten vesihöyrynläpäisevyyksistä ja lämmönjohtavuuksista. (Leivo - Rantala 2002b, 16 - 17.)



KUVA 5. Alapohjarakenteen toimivuus normaaleissa käyttöolosuhteissa (Leivo - Rantala 2002b, 14)

4 BETONIN KOSTEUS

Kovettunut betoni sisältää käyttöolosuhteissa aina jonkin verran kosteutta. Kosteus on yleensä peräisin betonin valmistukseen käytettävästä vedestä, mutta se on voinut joutua rakenteeseen myös betonin kastuttua jälkikäteen. Tyypillisiä kosteuslähteitä ovat putkivuodot, kostea maaperä tai kostea ilma, josta betoni voi hygrooskooppisena aineena imeä itseensä kosteutta. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 13.)

4.1 Rakennuskosteus

Veden tehtävä betonin raaka-aineena on reagoida sementin kanssa ja sitoa kiviainekset toisiinsa sekä tehdä massasta työstettävää. Osa vedestä reagoi kemiallisesti sementin kanssa ja osa on pelkästään parantaakseen työstettävyyttä. Kemiallisesti vettä sitoutuu vain noin 20 painoprosentin verran sementin massasta. Esimerkiksi, jos betonin valmistukseen käytetään vettä 200 kg/m^3 ja sementtiä 250 kg/m^3 , vain noin 50 kg vedestä sitoutuu kemiallisesti ja loput 150 kg/m^3 fysikaalisesti rakenteen huokosiin (kuva 6). Fysikaalisesti sitoutunut vesi on huokosissa kapillaarisesti ja hygrooskooppisesti. Rakenteen pyrkiessä tasapainokosteuteen fysikaalinen vesi pyrkii poistumaan rakenteesta. Kemiallinen vesi ei siis voi haihtua rakenteesta, mutta fysikaalinen vesi voi, olosuhteista riippuen. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 13.)

Betonin ominaisuuksista vesisementtisuhte ja huokosrakenne vaikuttavat eniten, miten betoni sitoo kosteutta. Jos kahden eri betonilaadun vesimäärä on sama, mutta toisessa sementtimäärä on suurempi, on kemiallisesti sitoutuneen veden määrä suurempi betonissa, jossa on enemmän sementtiä. Vastaavasti haihdutettavan veden määrä on pienempi betonissa, jossa on suurempi sementtimäärä. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 13 - 14.)

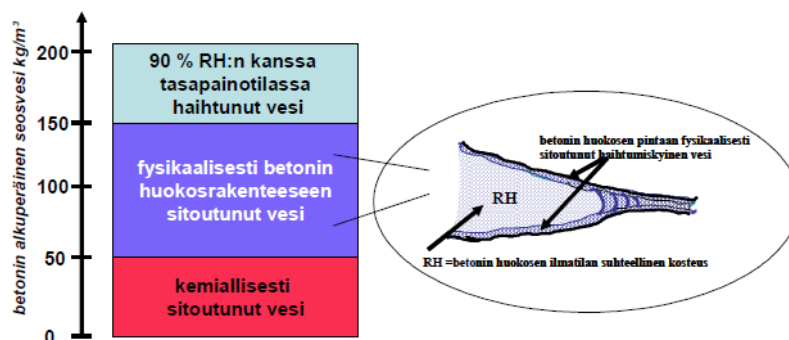
Valtaosa betonin kovettumisesta tapahtuu muutamassa päivässä, eli suurin osa veden kemiallisesta sitoutumisesta tapahtuu tänä saman aikana. Vaikka betoni on kemiallisen sitoutumisen myötä saavuttanut loppulujuutensa eli kovettunut, se voi silti olla hyvin kosteaa. Betonin varsinaista kuivumista tapah-

tuu vasta, kun fysikaalisesti sitoutunut vesi alkaa poistua betonista. Betoni kuivuu, kunnes sen huokosissa on sama suhteellinen kosteus kuin betonia ympäröivissä olosuhteissa. Vastaavasti kuiva betoni voi imeä kosteutta ilmasta, kunnes tasapainotila on saavutettu. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 14.)

4.2 Betonin suhteellinen kosteus

Betonin suhteellinen kosteus tarkoittaa betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Suhteellinen kosteus ei kerro, kuinka paljon betonissa on (kg/betoni - m³) absoluuttista kosteutta. Suhteellinen kosteus huomioi vain huokosissa vesihöyrynä olevan kosteuden. Sen lisäksi betonin huokosten seinämiin on sitoutunut vesimolekyylejä adsorptiolla, muodostaen huokosten seiiniin ohuen vesikerroksen. Vesihöyrynä ja adsorptiolla huokosiin sitoutu- neet kosteudet yhdessä muodostavat betonin kosteussisällön **W** (kg/m³) (ku- va 6). (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 15.)

Betonin kosteuspitoisuus **u** voidaan ilmoittaa myös painoprosentteina (p - %), joka kertoo, kuinka monta prosenttia betonin painosta on vettä. Paino- prosentti kosteus voidaan määrittää kuivatus-punnitus-menetelmällä. Tässä menetelmässä kostea betoni punnitaan, minkä jälkeen se kuivataan 105 °C:n lämpötilassa. Kuivauksen jälkeen betoni punnitaan. Betonin kosteussisältö on näytteestä poistuneen kosteuden suhde kuivaan näytteeseen. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 15.)



KUVA 6. Betonin K30 seosveden jakaantuminen, kun betonin RH 90 % (Me-

rikallio - Niemi - Komonen 2007, 13)

Betonin huokosrakenne ja lämpötila vaikuttavat siihen, kuinka paljon betonissa on kosteutta tietyssä tasapainotilassa (tietty suhteellinen kosteus). Eri betonilaadut sitovat eri tavalla kosteutta, koska niiden huokosrakenne vaihtelee hyvin paljon. Vaikka kahden betonin suhteellinen kosteus (RH %) on sama, voivat niiden kosteussisältö W (kg/m^3) ja kosteuspitoisuus u ($p - \%$) olla hyvinkin erilaisia. Betonilaatujen ja niiden huokosrakenteiden suuren vaihtelun vuoksi on melkein mahdotonta kehittää luotettavaa korrelaatiota suhteellisen kosteuden (RH %) ja kosteussisällön välille. Materiaalien vaurioitumisen kannalta oleellisinta on huokosten ilmatilavuuden suhteellinen kosteus. Sen vuoksi betonin päällystettävyyden raja-arvot ja niiden saavuttaminen määrittellään menetelmällä, joka mittaa suoraan suhteellista kosteutta. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 15 - 16.)

4.3 Betonirakenteen kuivuminen

Tuoreen betonin suhteellinen kosteus on 100 %. Kun betonirakenne kovettuu, sitoutuu osa valmistamiseen käytettävästä vedestä kemiallisesti ja rakenteen suhteellinen kosteus laskee. Kovettumisreaktion seurauksena betonin suhteellinen kosteus on yleensä 90 - 98 % riippuen betonilaadusta. Kovettumisreaktion jälkeen betoniin jää vielä ylimääräistä kosteutta, joka haihtuu pitkällä aika välillä betonin saavuttaessa tasapainokosteutensa ympäristön kanssa. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 20.)

Betonin ei tarvitse saavuttaa tasapainokosteutta vielä rakentamisen aikana, vaan minimi kuivumisvaatimukset asettavat betonin päällystämisen ja pinnoituksessa käytettävät materiaalit. Useimmat päällysteet edellyttävät, että betonin suhteellinen kosteus on enintään 80 - 90 % (raja-arvoista tarkemmin kohdassa 7). Koko betonirakenteen ei tarvitse kuivua näin paljon vaan riittää, että paksuudesta riippuvalla arvostelusyvyydellä päästään vaadittuun kosteusarvoon (arvostelusyvyydestä ja mittauksesta tarkemmin kohdassa 8). Betonin kuivumiseen vaikuttavat monet asiat, muun muassa betonilaatu, rakenteen paksuus, kuivumissuunnat ja kuivumisolosuhteet. (Merikallio - Niemi -

Komonen 2007, 20.)

Betonissa tapahtuu sitoutumiskuivumista ja siirtymiskuivumista (haihtumiskuivumista). Betonin ominaisuudet vaikuttavat pääasiassa siihen, miten suuri osuus eri kuivumismuodoilla on. Paljon sementtiä sisältävissä betoneissa sitoutumiskuivumisen osuus on suurempi. Esimerkiksi erikoisbetonien (NP - betoni), nopea kuivuminen perustuu suureen sementti määrään ja pieneen vesi-sementtisuhteeseen. Betonin vesi-sementtisuhteen pienentäminen ei aina nopeuta riittävästi kuivumista. Alhaisen vesi-sementtisuhteen omaavat betonit kuivuvat nopeasti 90 % suhteelliseen kosteuteen sementin hydrataatiosta aiheutuvasta sitoutumiskuivumisesta. Käytettäessä alhaisen vesi-sementtisuhteen betoneja rakenteen paksuus ja kuivumisolosuhteet eivät vaikuta kuivumisnopeuteen niin paljon kuin tavanomaisessa betonissa. Muita betonitekniisiä keinoja nopeuttaa kuivumista on erilaisten lisäaineiden käyttö ja karkean runkoaineen valinta. Kuivumista nopeuttavia lisäaineita ovat muun muassa huokostimet. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 20; Merikallio 2002, 36.)

Haihtumiskuivumiseen vaikuttavat merkittävästi betonin koostumus, rakenteen paksuus ja ympäristön olosuhteet (lämpö, kosteus ja ilmavirrat). Betonin koostumus vaikuttaa olennaisesti siihen, miten paljon kosteutta pitää poistua (haihdutettava vesimäärä) ja miten helposti kosteus poistuu (tiivuus). Haihtumiskuivumisessa kosteus liikkuu rakenteen sisältä kohti pintaa, josta se haihtuu ympäröivään ilmaan. Rakenteen pinnan ollessa märkä haihtumista tapahtuu nopeasti. Alkuvaiheessa, betonin suhteellisen kosteuden ollessa yli 97 %, kosteus siirtyy pääosin kapillaarisesti eli nesteinä rakenteen sisäosista kohti pintaa, josta se haihtuu. Kun pinta kuivuu, kosteuden kapillaarinen siirtyminen pintaosiin estyy ja kosteus siirtyy sen jälkeen ainoastaan vesihöyrymuodossa eli diffuusiolla. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 20 - 21.)

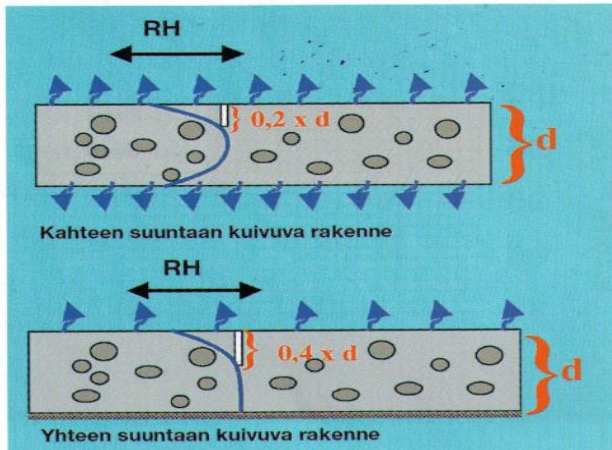
Kosteuden siirtyminen diffuusiolla on huomattavasti hitaampaa kuin kapillaarisesti. Haihtumisrintaman siirtyessä koko ajan keskemmas rakennetta kuivuminen hidastuu. Jossain vaiheessa myös rakenteen keskiosa on kuivunut niin paljon, että kuivuminen tapahtuu pelkästään diffuusiolla. Kuivumista ta-

pahtuu, kunnes rakenteen sisällä sekä rakenteen ja ympäristön välillä ei ole enää kosteuspitoisuuseroa suhteellisena kosteutena. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 20 - 21.)

Betonilaatu, betonin kosteus ja betonin lämpötila vaikuttavat betonin vesihöyrynläpäisevyyteen ja sitä kautta betonin kosteuden siirtymisominaisuuksiin. Betonin vesi-sementtisuhteen ollessa alhainen on betonin tiiveys suuri ja sitä kautta sen vesihöyrynläpäisevyys pieni. Betonin kosteuden noustessa nousee myös vesihöyrynläpäisevyys eli siinä siirtyy nopeammin kosteutta. Lämpötilan noustessa nousee myös betonin huokosten ilmatilan vesihöyrynpaine ja kosteuden siirtyminen nopeutuu. Tehokkain tapa nopeuttaa betonin kuivumista onkin nostaa betonin lämpötilaa. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 21.)

Rakennepaksuuden kasvaessa rakenteen kuivuminen hidastuu huomattavasti. Kosteus joutuu kulkemaan sitä pitemmän matkan haihtumiskykyiseen pintaan, mitä paksumpi rakenne on. Rakennepaksuuden kaksinkertaistuessa voi betonin kuivumisaika jopa nelinkertaistua. Jos betonilaatta pääsee kuivumaan kahteen suuntaan yhden sijasta, se kuivuu huomattavasti nopeammin. Tällöin laatta kuivuu ylä- ja alapinnasta ja suurin kosteus on laatan sisällä (kuva 7). Maanvastaiset laatat pääsevät yleensä kuivumaan pääasiassa ylöspäin. Alaspäin kuivumiseen vaikuttaa eristeen läpäisevyys, mahdolliset tiiviit kerrokset ja maanlämpötila. Jos alapuolinen maa on kylmempi kuin laatta, laatta kuivuu myös alaspäin, vaikka maan suhteellinen kosteus on 100 % (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 22.)

Rakenne:



KUVA 7. Betonilaatan kosteusjakauma laatan kuivuessa yhteen ja kahteen suuntaan (Merikallio 2002, 41)

Jos betoni pääsee kastumaan, hidastuu kuivuminen merkittävästi. Betoni kuivuu sitä hitaammin, mitä myöhemmässä vaiheessa ylimääräinen vesi pääsee rakenteeseen. Tuoreessa betonissa huokokset ovat täynnä vettä, eivätkä sen vuoksi pysty ottamaan vastaan kosteutta. Mutta jos kastuminen tapahtuu muutamia viikkoja valun jälkeen, sillä on huomattavia vaikutuksia kuivumisaikaan. Betonin kovettumisen edetessä huokosrakenne tiivistyy siten, että se ei pysty estämään lisäveden pääsyä rakenteeseen, mutta huomattavasti hidastaa sen kuivumista. Tämän vuoksi betonin jälkihoitossa ei kannattaisi käyttää vettä, vaan se tulisi hoitaa jälkihoito aineella tai suoja- muovilla. (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 21.)

Olosuhteet vaikuttavat olennaisesti betonin kuivumisnopeuteen. Ympäristön lämpötila, suhteellinen kosteus, ja ilmavirrat vaikuttavat kuinka nopeasti rakenteen pinnalla oleva kosteus haihtuu ja kuinka nopeasti sisällä oleva kosteus siirtyy pintaan. Olosuhteilla on myös vaikutusta sitoutumiskuivumiseen. Sementti hydratoituu eli sitoutuu ja sen vaikutuksesta kuivuu sitä nopeammin, mitä suurempi betonin lämpötila ja kosteus on. (Merikallio 2002, 35; Betonilattiat 2000, 130.)

Tavallisilla betoneilla siirtymiskuivumisen vaikutus on suurempi kuin sitoutumiskuivumisen. Siirtymiskuivuminen on sitä nopeampaa, mitä alhaisempi

ympäristön suhteellinen kosteus on. Ympäristön suhteellinen kosteus vaikuttaa siirtymiskuivumiseen siis päinvastoin kuin sitoutumiskuivumiseen. Mitä alhaisempi ympäristön suhteellinen kosteus (RH) on, sitä suurempi on rakenteen sisäosan ja pinnan kosteusero ja siten kosteutta siirtävä vaikutus. Kuitenkin betonin suhteellisen kosteuden laskiessa betonin vesihöyrynläpäisevyys pienenee huomattavasti, jolloin kosteuden siirtyminen pintaosista hidastuu. (Merikallio 2002, 35; Betonilattiat 2000, 130.)

Betonin kuivumiselle optimaalisena suhteellisena kosteutena pidetään noin 50 %. Huoneilman tuulettamisella, eli ilmavirtauksen luomisella voidaan myös nopeuttaa betonin kuivumista. Tällöin betonipinnan läheisyydessä oleva kostea ilma poistuu nopeammin. (Merikallio 2002, 35; Betonilattiat 2000, 130.)

Betonin lämpötilan nousu nopeuttaa merkittävästi betonin kuivumista. Lämpötilan noustessa vesihöyrynosapaine betonin huokosrakenteessa kasvaa ja kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Mitä lämpimämpää betoni on, sitä nopeammin kosteus poistuu. Useimmiten betonirakenteen riittävän nopea kuivuminen edellyttää vähintään + 20 °C:n lämpötilaa. Jos lämpötila nousee +25 °C:sta 30 °C:een, kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Nuoressa betonissa korkeat lämpötilat ja nopea kuivuminen voivat aiheuttaa halkeilua ja lujuu-denkattoa. Betonin kuivumisen nopeuttamiseksi oleellista on saada itse betoni lämpimäksi. Myös ilman lämpenemisellä on nopeuttava vaikutus betonin kuivumiseen. Betonia ympäröivän ilman lämmitessä sen suhteellinen kosteus laskee ja samalla kyky ottaa vastaan betonista haihtuvaa kosteutta suurenee. (Merikallio 2002, 35.)

Betonin valutavalla voidaan myös vaikuttaa betonin kuivumiseen. Imubetonointi on ennen paljon käytetty menetelmä, joka lyhentää huomattavasti betonin kuivumisaikaa. Imubetonoinnissa ilmanpaine puristaa osan betonimassan vedestä pois massaan johdetun alipaineen avulla ja laskee näin vesi-sementtisuhdetta. Kun vesi-sementtisuhte on alhainen, ei betonissa ole ylimääräistä vettä ja sen suhteellinen kosteus laskee betonissa tapahtuvan kemiallisen sitoutumisen vuoksi. Imubetonointi on nykyään menettänyt suo-

siotaan, koska siihen liittyy myös huonoja puolia. Imeminen on lisätyövaihe, ja se lisää kustannuksia. Laita-alueilla sekä läpivientien ja varausten lähellä imu on puutteellista tai sitä ei voida tehdä ollenkaan. Imussa massa painuu epätasaisesti, millä on vaikutusta työn määrään ja laatuun. Imumattojen pesu on hankalaa ja työlästä kylmissä olosuhteissa. (Betonilattiat 2000, 106.)

Valun jälkeisillä toimenpiteillä on merkittävä vaikutus betonin kuivumiseen. Jälkihoito on pakollista betonilattioille, jotta alkuvaiheessa tapahtuva kuivuminen ei aiheuta laattaan lujuuden katoa ja suuria kutistumia. Betoni kutistuu aina kuivuessaan, mutta jos kuivuminen tapahtuu ennen kuin betoni on saavuttanut tarpeeksi nimellislujuudestaan kuivuminen aiheuttaa halkeilua. Jälkihoito voidaan järjestää estämällä betonin kuivuminen ruiskuttamalla jälkihoitoaine hiertovaiheessa betonin pinnalle tai peittelemällä betoni muovilla valun jälkeen. Jälkihoitoa tehdään paljon myös kastelemalla laattaa valun jälkeisinä päivinä, jolloin se pysyy kosteana. Betonin kasteleminen hidastaa merkittävästi myöhemmässä vaiheessa tapahtuvaa betonin kuivumista. Jos betonilaatassa on käytetty hierron yhteydessä ruiskutettavaa jälkihoitoainetta, se tulee hioa pois pinnasta, kun jälkihoitoa ei enää tarvita. Näin aineen muodostama kalvo ei enää pysty estämään laatan kuivumista. Hionta poistaa betonin pinnasta myös sementtiliimakerroksen, joka myös hidastaa kuivumista. (Betonilattiat 2000, 130; Puhjo 2008, 9.)

5 BETONILATTIAN KOSTEUDEN ENIMMÄISARVOT

Betoni kestää hyvin kosteutta eikä se lahoa kosteuden vaikutuksesta, vaan sen kestävyysominaisuudet päinvastoin paranevat kosteissa olosuhteissa. Betonilattia yleensä pinnoitetaan jollain päällysteellä, esimerkiksi tasoitteilla, maalilla, muovimatolla, parketilla tai keraamisilla laatoilla. Vaikka betoni itsessään kestää kosteutta, sen päällysmateriaalit ja niiden kiinnitysaineet ovat herkempiä kosteudelle kuin betoni. Liian suuri betonin kosteus voi aiheuttaa päällystemateriaalin irtoamisen, värjäytymisen ja jopa homehtumisen. Joissakin päällystemateriaaleissa voi korkeissa kosteuspitoisuuksissa tapahtua kemiallinen reaktio, jonka seurauksena sisäilmaan haihtuu terveydelle haitallisia yhdisteitä (Merikallio - Niemi - Komonen 2007, 7.)

Lattiabetonin kosteuden enimmäisarvot esitetään suhteellisena kosteutena. Asetettu suhteellisen kosteuden enimmäisraja on kompromissi päällystystyön ja päällysteen toimivuuden välillä. Kun kosteuden enimmäisarjat on alitettu, voidaan ryhtyä päällystystyöhön ja useimmissa tapauksissa on edellytykset onnistuneelle lopputulokselle. Erilaisten betonilaatujen, liima- ja päällysteyhdistelmien vaurioherkkyydessä on eroja ja ne reagoivat erilailla eri olosuhteissa. Materiaalivalmistajat antavat päällysteilleen yleensä alusbetonin kosteuden enimmäisraja-arvot ja ne ovat etusijalla, mutta betoniyhdistys on laatinut yleisohjeen luontoisen taulukon eri raja-arvoista (taulukko 1). (Betonilattiat 2000, 130.)

Taulukon arvot soveltuvat käytettäviksi rakenteissa, jotka kuivuvat normaalisti ja jatkavat kuivumista rakenteen pinnoittamisen jälkeen. Esimerkiksi normaali välipohja jatkaa pinnoittamisen jälkeen kuivumista alaspäin. Jos rakenteeseen pääsee ylimääräistä kosteutta ulkopuolisesta lähteestä, voi päällysteeseen aiheutua vaurio pitkän ajan kuluessa rakennuksen käyttöönotosta. Esimerkiksi maanvastaisessa laatassa voi kosteus nousta liian suureksi, jos kosteuden nousua maaperästä ei ole estetty. Jos maanvastainen betonilattia pinnoitetaan tiiviillä päällysteellä, ei betonilaatan alla ole suotavaa käyttää muovikelmua, koska se estää laatan jatkokuivumisen alaspäin. Maa-

perästä kapillaarisesti nouseva vesi estetään hienoja aineksia sisältämättömällä sorakerroksella ja lämmöneristeellä. (Betonilattiat 2000, 130.)

TAULUKKO 1. Päälystystyön edellytyksenä oleva betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot (Betonilattiat 2000, 130)

Betonin suhteellisen kosteuden (RH) enimmäisarvo, %	Päälyste	Huomautuksia
80 Betonin pintaosien (2...3 cm) oltava alle 75 %	– Mosaiikkiparketti ¹⁾	Kosteusliikkeet Puulajikohtainen (esim. pyökki 80 %, tammi 85 %)
85	– Lautaparketit ²⁾ – Huopa- tai solumuovipohjaiset muovimatot – Kumimatot – Korkkilaatat, laattojen alapinnassa kosteudeneristys (muovikalvo) – Tekstiilimatot, joissa on alusrakenne (kumi, PVC, kumilateksisively) – Luonnonmateriaalista tehdyt tekstiilimatot ilman alusrakennetta	Betonin pintaosat alle 75 % RH Bakteeritoiminta, sienikasvu, vesiliukoisten liimojen kosteuden kestättömyys
90	– Muovilaatat – Muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa ³⁾ – Linoleum – Alustaan kiinnittämättömät puulattiat (lautaparketit) ²⁾ , puun ja betonin välissä kosteudeneristys ja sen alla kosteuden poistokanavointi – Polyuretaanimuovimassat – Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta (erikoistapauksissa suht. kosteus <97%)	Kosteus voi aiheuttaa päälysteseen muutoksia. Käytettävän liiman on kestettävä kyseinen kosteus (valmistajan ohjeet!). Vesiliukoista liimaa käytettäessä yleinen kosteusraja on 85 %. Parketin alla esimerkiksi melko tiivis korkkieraematto saumat teipattuina. Seinustoilla maton päällä muovikaista, jonka reunat käännetään seinille. Jalkalistoissa uritus kosteuden poisjohtamista varten. Märissä tiloissa sekä betonin kosteuden ollessa suuri (>90%) mattojen kiinnitykseen on käytettävä vedenpitävää liimaa ja riittävän runsaalla liimamäärällä varmistettava saumojen pitävyys
97	– Epoksi-, akryyli- ja polyestermuovimassat ⁴⁾	Betonin pinnan on oltava muovimassaa levitettäessä kuiva sekä riittävän lämmin, muussa tapauksessa pinta on kuivattava välittömästi ennen massan levitystä esim. säteilylämmityksellä kovettumisen ja tartunnan varmistamiseksi

6 KUIVUMISAIKA-ARVIOT

Betonilaattojen kuivumista voidaan arvioida kuivumisaikalaskelmilla, jotka tulee aina tehdä työmaalla, jotta voidaan arvioida laatan kuivumisajan vaikutus työmaa-aikatauluun. Arviot ovat kuitenkin vain suuntaa-antavia ja lopullinen varmuus betonin kosteudesta saadaan vain mittaamalla. Arvio voidaan tehdä perustapaukseen pohjautuen, jossa on kyseessä 100 mm:n vahvuinen yhteen suuntaa kuivuva betonilaatta. Perustapauksesta voidaan poiketa käyttämällä tapauskohtaisia kertoimia (kuva 8). (Betonilattiat 2000, 140; Merikalio 2002, 39.)

PERUSTAPAUUS

	<ul style="list-style-type: none"> - Betonin ilmamäärä normaali 2...4 % - Kovettumisaika 28 d ennen kuivumisajan alkua - Kuivuminen alaspäin estetty, laatta valottu maahan muovikalvon päälle - Jälkihoito muovikalvolla tai hyvällä jälkihoitoaineella - Betoniin ei saa joutua lisävettä (kastelu, sade ym.)
--	--

PERUSTAPAUKSESTA POIKKEAMINEN

Muuttuja		Kerroin		
Betonin laatu	Huokostamaton	Huokostus noin 10 %	Lujuus 25...35 MN/m ²	
	1,0	0,5...0,6	1,0	
Ikä	Betonin ikä kuivatusta aloitettaessa	Laatan paksuus [mm]		
		< 150	≥ 150	
Kuivumisolosuhteet	Suht. kosteus	20...50 %	60 %	80 %
	Lämpötila	10 °C	20 °C	30 °C
		1,0	1,2	1,5
		1,4...1,3	1,0	0,7...0,6
Laatan paksuus	h	60 80 100 120 140 160 200 300 [mm]		
		0,4 0,7 1,0 1,4 1,8 2,3 3,3 6,3		
		Kuivuminen vain toiselta puolen Molemminpuolisessa kuivumisessa h = puoli laatan paksuutta		
Alapuolinen lämmöneriste		50 mm solumuovi	150 mm kevytsora	50 mm mineraalivilla
		1,0...0,9	0,8...0,7	0,7...0,6
		Ei muovikalvoa betonin ja lämmöneristeen välissä		
Betonin koostumus	Suurin raekoko	18 mm	8 mm	
		0,7	1,0	
	Lentotuhka ja masuunikuona	1,0		
	Silika	K ≥ K35	K < K35	
		1,5	1,0	
	Notkeus	2...3 sVB	1...2 sVB	1...2 sVB
		1,0	1,2	1,0
		notkistaminen lisäaineella		

KUVA 8. Likimääräinen aika lattiabetonin kuivattamiseksi 90 % suhteellisen kosteuteen ja kertoimet perustapauksesta poiketessa (Betonilattiat 2000,

140)

Kuivumisaikaa voidaan arvioida myös peruskuivumiskäyrän ja sitä muokattavien kertoimien avulla (kuva 9).

Peruskuivumiskäyrä:



Kertoimet:

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

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

Alusta	Kerroin
kuiva	1,0
muovi	1,1
märkä	1,5

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

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

KUVA 9. Peruskuivumiskäyrä ja olosuhdekertoimet (Merikallio 2002, 39)

7 BETONIN SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAAMINEN

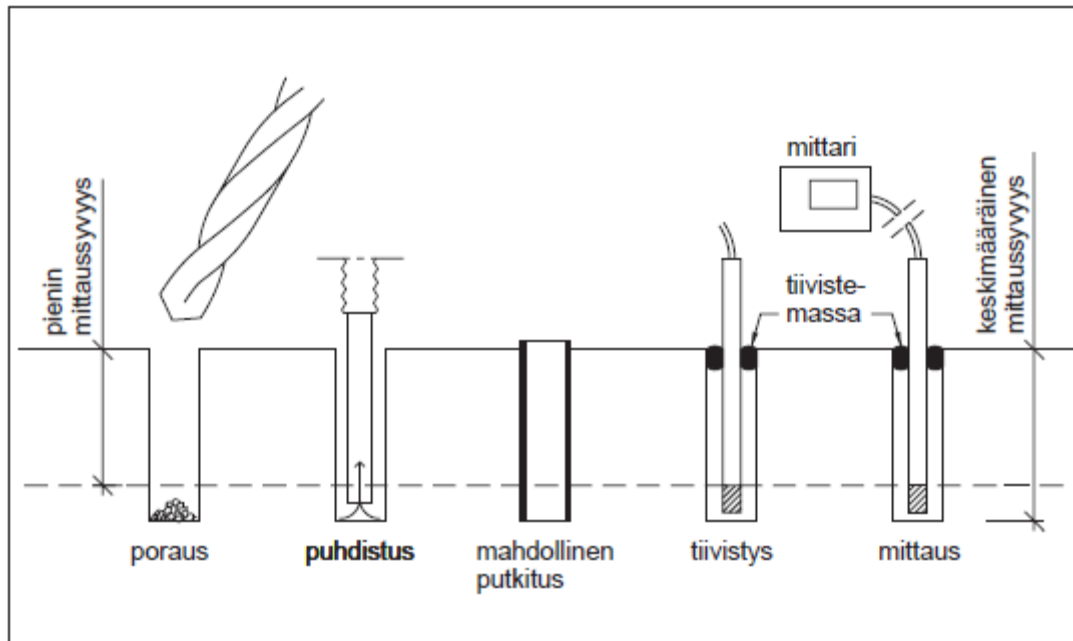
Ennen betonilattian päällystämistä tulee aina mitata betonin suhteellinen kosteus, koska se on päällystystyön kannalta käyttökelpoisin lattiabetonin kosteuden ilmaisumenetelmä (Betonilattiat 2000, 129,131). Mittaus tehdään joko porareikä- tai näytepalamenetelmällä. Betonia voidaan mitata myös pitkäaikaisseurantana. Tällöin mittauksia varten tarvittavat putkivaraukset asennetaan jo ennen betonivalua tai sitten ne asennetaan kovettuneeseen betoniin tehtyihin roiloihin tai porareikiin. (Merikallio 2002, 11, 21.)

7.1 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä

Kovettuneeseen betoniin porataan haluttuun mittaussyvyyteen reikä, josta mitataan betonin huokostilan suhteellinen kosteus. Päällystettävyyssmittauksen arviointisyvyyteen vaikuttaa rakenteen paksuus, kerroksellisuus ja kuivumissuunnat. Suositeltavaa on, että mittauksia tehdään useammalta eri syvyydeltä. (Merikallio 2002, 13.)

Reikä porataan 16 mm:n terällä, minkä jälkeen se puhdistetaan hyvin pölystä harjalla ja imurilla. Puhdistuksen jälkeen reikään asennetaan 16 mm:n muoviputki, minkä jälkeen putken ja betonin liittymä tiivistetään huolellisesti joustavalla massalla (esimerkiksi Mal-kitillä). Myös putken pää tiivistetään massalla tai kumi- tai muovitulpalla (kuva 10). Reikään asennetaan putki, jotta betonin kosteus tulee reikään ainoastaan pohjalta, eli halutulta mittaussyvyydeltä, eikä reiän laidoista. Poratessa betoni lämpenee, minkä vuoksi mittaolosuhteiden tulee tasaantua kolme vuorokautta ennen kuin mittaus voidaan suorittaa. Kolmen vuorokauden kuluttua porauksesta reikään asennetaan mittausturvi, jonka tulee tasaantua mittaolosuhteisiin riittävän pitkän ajan ennen mittaustulosten lukemista. Tasaantumisaika riippuu mitta-alueesta sekä betonin laadusta. Tasaantumisen jälkeen mitta-anturi liitetään näyttölaitteeseen, josta luetaan suhteellinen kosteus ja lämpötila. Porareikä

mittausta suoritettaessa betonin lämpötilan tulisi olla lähellä rakenteen käyttölämpötilaa (+ 20 °C). Jos lämpötila poikkeaa edellä mainitusta yli 5 °C, tulee mittausta tehdä näytepalamenetelmällä. (Merikallio 2002, 13 - 16.)



KUVA 10. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä (RT 14-10675. 1998,4)

7.2 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä

Näytepalamenetelmää käytetään yleensä, kun mittaustulokset tarvitaan nopeasti tai mittaolosuhteet ovat liian epävakaita tai lämpötila on liian korkea tai alhainen porareikämenetelmälle. Näytepalamenetelmä on nopeampi ja luotettavampi verrattuna porareikämenetelmään. Halutun mittauspisteen ympärille porataan 10 - 16 mm:n terällä halkaisijaltaan noin 100 - 150 mm:n pii-ri. Reiät porataan mittaussyvyyteen asti. Reikiin sisään jäänyt betoni piikataan irti, jolloin betonikappaleen alta saadaan esille näytteenottopinta. Pinnasta piikataan irti betonimursia (ei pölyä). Mursia laitetaan välittömästi koeputken mittausturvin kanssa ja koeputken pää tiivistetään vesihöyryntiiviiksi, esimerkiksi Mal-kitillä. Mursia tulee olla koeputkessa noin 1/3 put-

ken tilavuudesta. (Merikallio 2002, 17.)

Näytteenoton jälkeen koeputket siirretään + 20 °C:n vakioämpötilaan. Siirto tulee suorittaa lämmöneristetyssä astiassa, jotta koeputkiin ei tiivisty kosteutta lämpötilan laskemisen vuoksi. Näytepalojen annetaan tasaantua 2 - 12 tuntiin ja sen jälkeen anturit liitetään näyttölaitteeseen, josta luetaan suhteellinen kosteus ja lämpötila. (Merikallio 2002, 18.)

7.3 Betonin suhteellisen kosteuden pitkäaikainen seuranta

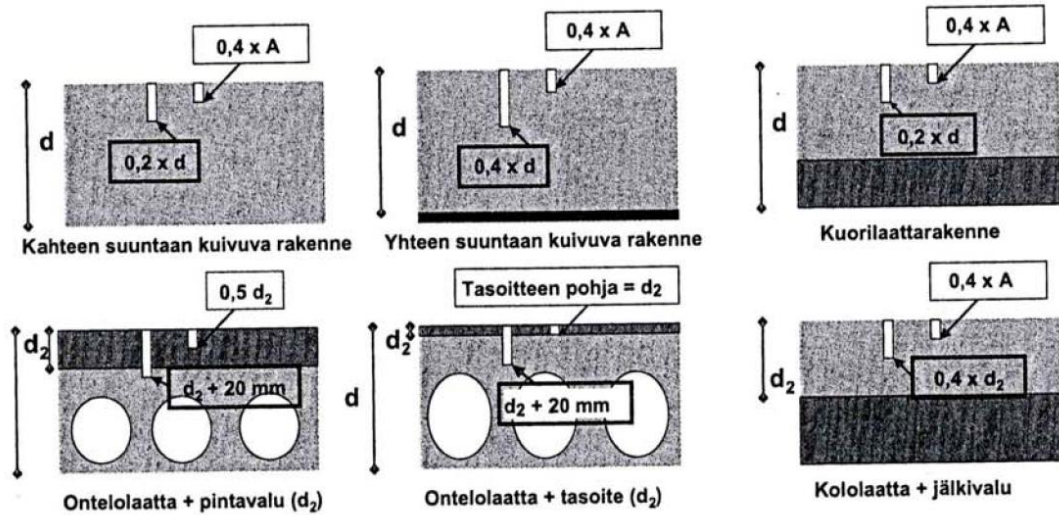
Pitkäaikaisen seurannan pääidea on sama kuin porareikämittauksessa, mutta siinä mittapääät ovat jatkuvasti mittauspisteessä. Mittauspisteen muodostavat putkivaraukset asennetaan jo ennen betonivalua tai sitten ne asennetaan kovettuneeseen betoniin tehtyihin roiloihin tai porareikiin. Mittausputkena käytetään yleensä normaalia sähköputkea. Betonivaluun jäävä putken pää tiivistetään siten, että se ei estä vesihöyryn tai lämmön liikettä mutta estää betonin pääsyn putkeen. Tiivistäminen voidaan tehdä esimerkiksi, teflonpaperilla. Mittauspisteiden korkeusasemat toteutetaan valuun jäävien telineiden avulla. (Merikallio 2002, 21 - 22.)

Putken avoin pää johdetaan varaukseen, josta mitta-anturi voidaan liittää lukulaitteeseen. Varaukseen tuotu pää pidetään aina tiiviisti suljettuna. Mittarvot voidaan käydä lukemassa tasaisin väliajoin kytkemällä anturit näyttölaitteeseen. Mittaus voidaan suorittaa myös jatkuvatoimisena, jolloin mittausanturit ovat kytkettynä tiedonkeruulaitteeseen, johon mittaustulokset tallentuvat. (Merikallio 2002, 22.)

7.4 Mittauskohtien valinta

Betonirakenteen suhteellinen kosteus (RH) määritetään arviointisyvyydeltä **A** (= 0,4*D) ja laatan pinnasta 0,4*A ennen päällystystyöhön ryhtymistä (kuva11). Arviointisyvyys riippuu rakenteen paksuudesta ja rakenneratkaisusta sekä kuivumissuunnista. Kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa mittaus-
syvyys on 20 % rakenteen paksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvassa 40

%. Maksimi mittaussyvyys päällystettävyysarviota tehdessä on 70 mm. Päällystettävyysarviota tehtäessä rakenteen suhteellisen kosteuden on alitettava pinnoitusmateriaalille annetut raja-arvot. (Merikallio 2007,6.)



KUVA 11. Kosteusmittausvyydet (Merikallio 2007,6)

8 MASUUNIHIEKKA

Ruukki jalostaa terästeollisuuden sivutuotteena masuunihiekkaa. Masuunihiekka (MaHk) valmistetaan granuloimalla eli jäädyttämällä sulaa masuunikuonaa vedellä. Granuloinnissa sula masuunikuona viedään paineelliseen vesisuihkuun, joka rikkoo sulan kuonan raekooltaan 0 - 5mm:n hiekkaa muistuttavaksi tuotteeksi. Vesijäädytyksen jälkeen masuunihiekka kulkee kuivausrummun kautta kuljetushihnalla varastokentälle, josta tuote toimitetaan asiakkaalle. Masuunihiekan yleisin käyttökohde on katujen ja teiden alusrakenteena. Masuunihiekkaa käytetään myös talonrakennuksessa lattian alustäyttönä, jossa se toimii kantavana kerroksena, lämmöneristeenä sekä kapillaarikatkona. (Masuunihiekka MaHk. 2006.)

8.1 Masuunihiekan ominaisuudet

Masuunihiekka koostuu pääasiassa piin, kalsiumin, alumiinin ja magnesiumin oksideista. Pienempinä pitoisuuksina esiintyvistä rikistä, titaanista, alkaleista ja mangaanista on erityisesti rikillä olennainen merkitys masuunihiekan kemiallisiin ominaisuuksiin. Kemiallinen koostumus ja valmistuksessa syntyvä lasimainen rakenne antavat masuunihiekalle sen hydrauliset ominaisuudet. (Hiltunen 1993, 2.)

Masuunihiekka sitoutuu ajan kuluessa hydraulisesti luonnonkosteassa tilassa, muodostaen puolijäykän ja kantavan rakennekerroksen. Sitoutumiseen vaikuttaa edistävästi masuunihiekan sisältämä rikki, joka on pääasiassa kalsiumsulfidina CaS . Kalsiumsulfidi reagoi veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia, joka toimii aktivaattorina. Sitoutuminen tapahtuu rakeen pinnalla ja pinnan rikkoutuessa reaktio käynnistyy uudella pinnalla. Näin rakenne korjaantuu mahdollisesta halkeamakohdasta. Sementtiin verrattuna masuunihiekka sitoutuu paljon hitaammin ja sitoutumislämpö on alhaisempi kuin sementillä. Reaktiota voidaan kiihdyttää sementillä. Sitoutumisreaktion vuoksi masuunihiekalla on huomattavasti luonnon kiviaineksia parempi kantavuus. (Masuunihiekka MaHk. 2006; Hiltunen 1993, 2.)

Rakeiden huokoisuudesta johtuen masuunihiekka toimii lämmöneristeenä. Lämmöneristyskyvyn vuoksi masuunihiekkakerrosta voidaan käyttää rakenteiden routamitoituksessa sekä rakennuksen lämmöntarve laskennassa. Noin 500 mm masuunihiekkaa vastaa 100 mm solypolystyreeniä (styrox). (Masuunihiekka MaHk. 2006.)

Masuunihiekan rakenneteoreettinen tilavuuspaino on noin $1,5 \text{ t/m}^3$ (taulukko 2), eli se on luonnon kiviaineksiä huomattavasti kevyempi materiaali. Koska masuunihiekassa on vähän hienoainesta, se paakkuuntuu pakkasilla luonnonkiviaineksiin verrattuna huomattavasti vähemmän ja näin ollen soveltuu hyvin talvirakentamiseen. Masuunihiekkaa voidaan käyttää myös työnaikaisessa routasuojauksessa. Masuunihiekkarakenteen kerralla tiivistettävä pakkaus on noin 500 mm. Tarpeellisten tiivistyskertojen määrä riippuu tiivistyslaitteen painosta ja tyypistä. (Masuunihiekka MaHk. 2006.)

TAULUKKO 2. Masuunihiekan tekniset ominaisuudet (Masuunihiekka MaHk. 2006)

• Tekniset ominaisuudet	
Irtotiheys	1,0...1,15 t/m^3
Rakenne rtr-paino	1,4...1,55 t/m^3
E-moduuli*, staattinen	600 MN/m^2
E-moduuli*, dynaaminen	1000 MN/m^2
Lämmönjohtavuus	0,35 W/mK
Vedenläpäisevyys	0,9...1,5 $\times 10^{-4}$ m/s
Kapillaarisuus	0,10...0,20 m
* E-moduuli mitoitettaessa rakenne kuukauden ikäisenä	

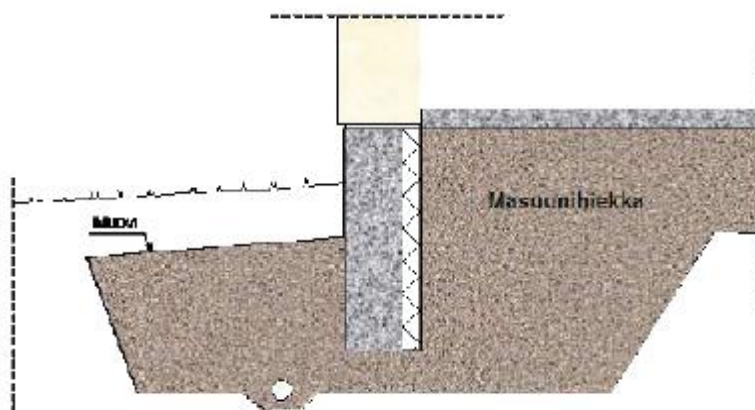
8.2 Masuunihiekan käyttökohteet

Masuunihiekka soveltuu hyvin piha- ja sidekivien alusrakenteeksi, jolloin se toimii lämmöneristeenä sekä kantavana ja vettä läpäisevänä kerroksena. Masuunihiekkaa voidaan käyttää myös asfaltin alla. Tällöin asfaltin ja ma-

suunihiekan väliin tulee tehdä 100 mm:n vahvuinen murskekerros, jotta asfaltti saa riittävän tartunnan alla olevaan kerrokseen. (Masuunihiekka MaHk. 2006.)

Talonrakennuksessa masuunihiekkaa käytetään maanvastaisen betonilaatan alustäyttönä. Nykyisillä lämmöneristysmääräyksillä täytön vahvuus on noin 900 mm, mikä vastaa noin 200 mm solupolystyreeniä. Täyttö levitetään ja tiivistetään 2 - 3 kerroksena riippuen tiivistyslaitteesta. Täyttökerrosta ei tarvitse kastella. Betonilaatta voidaan valaa suoraan masuunihiekan päälle. Suurissa lattioissa, joissa on vaara betonin kutistumisesta aiheutuvalla halkeilulla, käytetään suodatinkangasta laakerikerroksena masuunihiekan ja betonilaatan välissä. Jos käytetään lattialämmitystä, suositellaan masuunihiekan päälle 50 mm solupolystyreeniä (styrox). (Masuunihiekka MaHk. 2006.)

Sokkelin ulkopuolinen routasuojaus on helppo toteuttaa masuunihiekalla. Masuunihiekkakerroksen päälle laitetaan muovi, joka estää vajovesien pääsyn eristeeseen. Rakennuksen ulkopuolinen masuunihiekkakerros toimii samalla salaojana ja salaojan ympärystäyttömateriaalina. (Kuva 12.)



KUVA 12. Ulkopuolinen routasuojaus masuunihiekalla toteutettuna (Masuunihiekka MaHk. 2006)

Teiden kantavien kerrosten stabiloinnissa on käytetty masuunihiekkaa jo 1990-luvun alusta lähtien. Masuunihiekkastabilointi (MHST) on menetelmä, jolla parannetaan tien, kadun, tai muun liikennealueen kuormituskestävyyttä sitomalla niiden rakennekerroksia masuunihiekalla. Stabilointi voidaan tehdä paikalla sekoituksena vanhan rakenteen materiaaleja hyödyntäen. Stabiloinnissa voidaan käyttää aktivaattoria, joka on yleensä sementti, sitoutumisen nopeuttamiseksi. Aktivaattorin määrä on 0,5 – 1,5 % runkoaineen kuivapainon määrästä. Tällöin menetelmän nimi on aktivoitu masuunihiekkastabilointi (MHST-A). (RT/KH 22–37610. 2008.)

9 VALION HALLIN LATTIA

Idea tähän opinnäytetyöhön saatiin, kun Valio Oy rakennutti hallin laajennuksen Oulun meijeriinsä kesällä 2010. Halliin tehtiin noin 1 110 m² maanvastaista betonilattiaa, joka valettiin masuunihiekkatäytön päälle. Betonirakenne kuivui huomattavasti kuivumisarviota nopeammin, ja työmaan vastaava mestari Tuomo Majava ajatteli, että masuunihiekkatäytöllä voisi olla vaikutusta nopeaan kuivumiseen.

Hallin lattia toteutettiin kahdella erilaisella alapohjatyypillä:

—	AP1:		
	▪	Betonilaatta K–35	150 mm
	▪	Suodatinkangas	
	▪	Masuunihiekka	900 mm
	▪	Perusmaa	
—	AP2:		
	▪	Betonilaatta K–35	240 mm
	▪	Suodatinkangas	
	▪	Masuunihiekka	900 mm
	▪	Perusmaa	

Betonilattian valussa käytettiin betonimassaa, jonka lujuusluokka oli K–35, notkeusluokka S2, ja maksimirakekoko 16 mm. Sideaineena betonissa käytettiin sementtiä CEM II A-M 42.5 N, jota oli 350 kg/m³. Koko runkoaineuksen määrästä oli 0 - 8 mm:n kiviainesta 70 % ja 0 - 16 mm:n 30 %. Lisäaineena käytettiin notkistinta VB Parmix, jota oli 0,5 % sideaineen painosta. Massassa oli tehollista vettä 215 kg/m³ ja sen tehollinen vesi-sementtisuhde oli noin 0,63.

Maanvastainen betonilaatta valettiin viidessä eri osassa. Tässä työssä on käsitelty kolmen viimeisen betonilaatan valua sekä niiden kuivumista. Käsiteltävät valut on tehty 5.7.2010, 6.7.2010 ja 9.7.2010. 5.7.2010 ja 6.7.2010

valetut betonilaatat ovat 240 mm vahvoja ja 9.7.2010 valettu betonilaatta 150 mm vahva.

Betonilaattojen hierron yhteydessä laattojen pintaan ruiskutettiin jälkihoitoaine, joka hiottiin pois 5 - 7 vuorokauden kuluttua valusta. Laattoja kasteltiin vedellä kaksi päivää valujen jälkeen. Valua suoritettaessa hallin vaippa oli kiinni eli valettu betonilaatta ei päässyt kastumaan sadevedestä. Valun jälkeen hallissa oli useita ilmapuhaltimia ja kolmea katolla olevaa savunpoistoluukkaa ja osaa oviaukoista pidettiin raollaan eli hallissa oli ilmavirtauksia, joiden vaikutuksesta ilma pääsi vaihtumaan. Hallin sisätilan lämpötila oli optimi betonilaatan kuivumiselle eli noin 18 - 25 °C. Hallissa vallinnutta suhteellista kosteutta on vaikea arvioida, mutta kesällä ulkona se on yleensä noin 60 - 80 %, joten voisi olettaa, että hallissa se on ollut noin 70 %.

9.1 Betonirakenteen AP1 kuivumisaika-arviointi 90 %:n suhteelliseen kosteuteen

Peruskuivumisaika, jolloin betonirakenteen suhteellinen kosteus arviointisyvyydellä A on 90 %, on 60 vuorokautta. Muokataan perustapausta kerroksilla vastaamaan kyseistä tapausta niin, että

- vesisementtisuhde on 0,63: 0,79
- rakenteen paksuus on 150 mm: 2,05
- valun alusta on masuunihiekkaa: käytetään 1
- rakenne on kuivassa: 0,87
- ilman kosteus on 70 % ja lämpötila 20 °C: 1,35 ja 1,0
- Suurin raekoko on 16 mm:0,76.

Kuivumisaika = $60 \text{ d} * 0,79 * 2,05 * 1 * 0,87 * 1,35 * 1,0 * 0,76 = 87 \text{ d}$ eli 12,5

viikkoa. Kuivumisaika-arvio alapohjarakenteelle AP1 90 %:n suhteelliseen kosteuteen on 12,5 viikkoa.

9.2 Betonirakenteen AP2 kuivumisaika-arviointi 90 %:n suhteelliseen kosteuteen

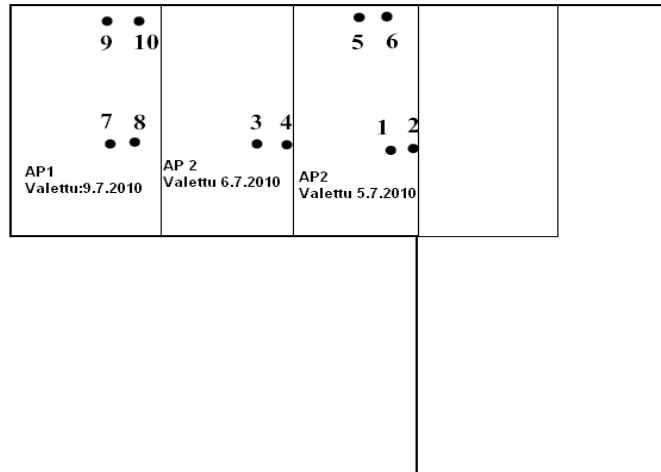
Peruskuivumisaika, jolloin betonirakenteen suhteellinen kosteus arviointisyvyydellä A on 90 %, on 60 vuorokautta. Muokataan perustapausta ker-toimilla vastaamaan kyseistä tapausta niin, että

- vesisementtisuhte on 0,63: 0,79
- rakenteen paksuus on 240 mm: 4,5
- valun alusta on masuunihiekkaa: käytetään 1
- rakenne on kuivassa: 0,87
- Ilman kosteus on 70 % ja lämpötila on 20 °C: 1,35 ja 1,0
- suurin raekoko on 16 mm: 0,76.

Kuivumisaika = $60 \text{ d} * 0,79 * 4,5 * 1 * 0,87 * 1,35 * 1,0 * 0,76 = 190 \text{ d}$ eli 27 viikkoa. Kuivumisaika-arvio alapohjarakenteelle AP2 90 %:n suhteelliseen kosteuteen on 27 viikkoa.

9.3 Mittaustulokset

Oulun kosteustutkimus mittasi Valion hallin lattian betonilaatan suhteellisen kosteuden päällystämisarviota varten. Tässä työssä käsiteltyjä mittauspisteitä on kymmenen ja ne on mitattu kahtena eri päivänä. Mittausarvot ovat kuvassa 13.



23.7.2010	
Mittaukset lattiasta:	
• MITTAUSPISTEET	
RH-% / lämpöt. / g/m ³	
1	89/ 19.6/ 15 (6.5cm syv.)
2	88.8/ 19.4/ 14.8 (2.5cm syv.)
3	92/ 19.6/ 15.6 (6.5 cm syv.)
4	91/ 19.8/ 15.6 (2.5 cm syv.)
5	94/ 18.1/ 14.5 (7 cm syv)
6	89/ 18.5/ 14.1 (2.5 cm syv)

29.7.2010	
Mittaukset lattiasta:	
• MITTAUSPISTEET	
RH-% / lämpöt. / g/m ³	
7	90.5/ 22/ 17.4 (6.5 cm syv.)
8	83.4/ 23/ 17 (2.5cm syv.)
9	91.3/ 21/ 16.4 (6.5 vm syv.)
10	89/ 22/ 17 (2.5 cm syv.)

Otettu näyttöleike: 5.4.2011; 14:02

KUVA 13. Valion hallin lattiasta mitatut suhteelliset kosteudet (Oulun kosteustutkimus 2010)

5.7.2010 valetun betonilaatan (vahvuus = 240 mm) suhteelliset kosteudet on mitattu 23.7.2010 eli 18 vuorokautta valun jälkeen. Jälkihoitoaine ja samalla sementtiliima laatan pinnasta on hiottu pois viimeistään seitsemän vuorokautta valun jälkeen. Laatta on päässyt vapaasti kuivumaan ylöspäin 11 vuorokautta. Laatasta arviointisyvydeltä (laatta 240 mm vahva, maksimisyvyys mittaussyvyys = 70 mm) mitatut arvot ovat 89 % ja 94 %. Mittausarvo 94 % poikkeaa huomattavasti muista samasta laatasta mitatuista arvoista. Arvo on muita suurempi luultavasti, siksi että se on mitattu vanhan hallin seinän vierestä johon valui huomattavia määriä kylmään seinään kondensoitunutta vettä. Laatan pinnasta (mittaussyvyys = 2,5 cm) mitatut arvot ovat 88,8 % ja 89

%.

6.7.2010 valetun betonilaatan (vahvuus = 240 mm) suhteelliset kosteudet on mitattu 23.7.2010, eli 17 vuorokautta valun jälkeen. Jälkihoitoaine ja samalla sementtiliima laatan pinnasta on hiottu pois viimeistään seitsemän vuorokautta valun jälkeen. Laatta on päässyt vapaasti kuivumaan ylöspäin 10 vuorokautta. Laatasta arviointisyvyydeltä (laatta 240 mm vahva, maksimimitaussyvyys = 70 mm) on mitattu arvo 92 %. Laatan pinnasta (mittaussyvyys = 2,5 cm) on mitattu arvo 91 %.

9.7.2010 valetun betonilaatan (vahvuus = 150 mm) suhteelliset kosteudet on mitattu 29.7.2010 eli 20 vuorokautta valun jälkeen. Jälkihoitoaine ja samalla sementtiliima laatan pinnasta on hiottu pois viimeistään seitsemän vuorokautta valun jälkeen. Laatta on päässyt vapaasti kuivumaan ylöspäin 13 vuorokautta. Laatasta arviointisyvyydeltä ($A = 0,4 \cdot 150 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$) mitatut arvot ovat 90,5 % ja 91,3 %. Laatan pinnasta (mittaussyvyys = 2,5 cm) mitatut arvot ovat 83,4 % ja 89 %.

Kaikki laatat ovat kuivuneet melkein yhtä nopeasti laatan vahvuudesta riippumatta. 150 mm vahvasta laatasta saadut mittausarvot arviointisyvyydeltä ovat 90,5 %, ja 91,3 %. 240 mm vahvasta laatasta saadut mittausarvot arviointisyvyydeltä ovat 92 %, 89 % ja 94 % (viimeistä ei huomioida kastumisen vuoksi).

Betonilaatan pinnasta 2,5 cm:n syvyydestä mitatut arvot ovat hyvin lähellä arviointisyvyydeltä 6,5 - 7,0 cm:stä mitattuja arvoja. Laatan pinnasta (mittaussyvyys = 2,5 cm) mitatut arvot ovat 88,8 %, 91 %, 89 %, 83,4 ja 89 %. Jokaisesta mittauskohdasta on mitattu arvot "pareittain" eli betonin suhteellinen kosteus on mitattu 2,5 sekä 6,5 cm:n syvyydestä. Kahta mittausparia lukuun ottamatta pinnasta ja arviointisyvyydeltä mitattujen suhteellisten kosteuksien ero on vain 0,2 - 2,3 %, joka on erittäin vähän. Mittauspisteestä 5 on mitattu 5 % suurempi arvo kuin sen viereisestä mittauspisteestä 6. Tämä mittauspari on vanhan hallin seinän vieressä, mihin pääsi valumaan kylmään hallin seinään kondensoitunutta vettä. Ylimääräisen veden valuminen luultavasti vai-

kuttaa siihen, että rakenne on syvemmältä huomattavasti kosteampi kuin pinnasta. Mittauspisteestä 7, joka on 6,5 cm syvyydessä on mitattu 7,1 % suurempi arvo kuin sen viereisestä mittauspisteestä 8, joka on 2,5 cm syvyydessä. Tässä kohtaa betoni on joko kerinnyt kuivumaan pinnalta huomattavasti nopeampaa, tai sitten kyseessä voi myös olla mittausvirhe.

9.4 Johtopäätökset

Kaikki kolme laattaa ovat kuivuneet arviointisyvyydeltä noin 90 %:n suhteelliseen kosteuteen noin 1,5 - 2 viikossa. Kuivumisaika-arvioinnin mukaan aika olisi pitänyt kulua 12,5 tai 27 viikkoa riippuen laatan vahvuudesta. Todellisuudessa laatat kuivuivat siis 6 - 13,5 kertaa arvioitua nopeammin.

Yllättäen laatan vahvuudella ei ole ollut merkitystä betonin kuivumisnopeuteen, vaan kaikki laatat ovat kuivuneet melkein yhtä nopeasti. Yleensä laatan vahvuudella on olennainen vaikutus kuivumisnopeuteen, jos betonin vesisementti suhde on normaali (0,6 - 0,7), kuten tässä tapauksessa. Betoneilla, joilla vesisementtisuhte on pieni $\sim 0,4$, kuivuminen tapahtuu nopeammin, koska betonissa oleva vähäinen vesi menee sementin hydrataatio reaktioon. Eli tällöin betonin suhteellinen kosteus laskee nopeasti 90 %:iin kemiallisen sitoutumisen vaikutuksesta. Koska alhaisilla vesisementtisuhteen omaavilla betoneilla nopea kuivuminen perustuu kemialliseen sitoutumiseen, ei laatan vahvuudella ole juurikaan merkitystä kuivumisnopeuteen.

Tässä tapauksessa laatat ovat kuivuneet melkein saman verran laatan sisältä kuin pinnastakin. Yleensä yhteen suuntaan kuivuva betonilaatta kuivuu pinnalta huomattavasti nopeammin kuin laatan sisältä, betonin vesisementtisuhteen ollessa normaali (0,6 - 0,7) ja kuivumisen tapahduttua haihtumalla. Haihtumiskuivumisessa laatta kuivuu aluksi pinnalta ja vasta, kun pinnan suhteellinen kosteus on laskenut tarpeeksi, lähtee kosteus siirtymään syvemmältä kohti pintaa. Jos betonin vesisementti suhde on pieni, kuivuminen tapahtuu kemiallisen sitoutumisen myötä tasaisesti koko laatussa, eikä ensin pinnasta.

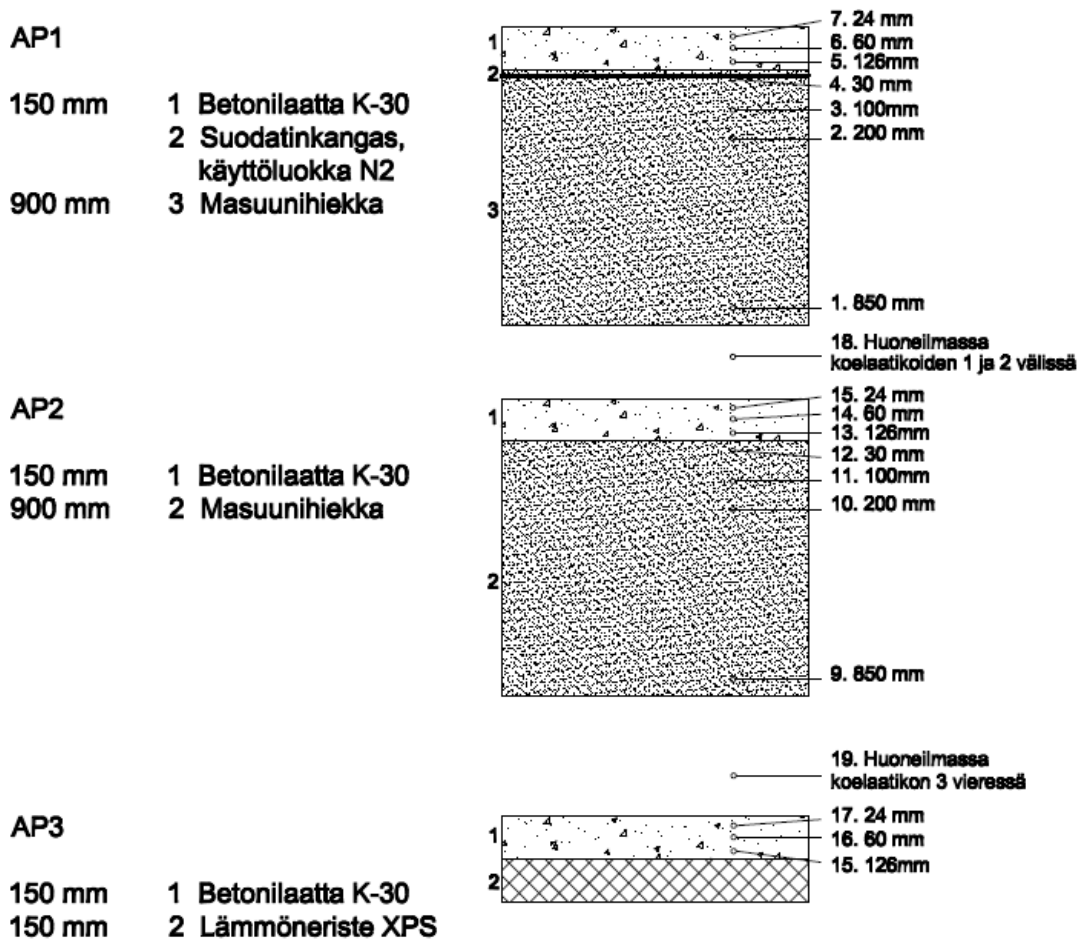
Valion hallin lattia on valettu aivan normaalin vesi-sementtisuhteen omaavalla betonilla(0,63), eikä siinä ole ollut kuivumista nopeuttavia lisäaineita. Silti betonilattia on kuivunut hyvin samalla tavalla kuin alhaisen vesisementti suhteen omaava betoni tai valu joka on järjestetty imubetonoinnilla. Näin voidaan päätellä, koska laatta on kuivunut nopeasti heti alkuvaiheessa, rakenteen paksuudella ei ole ollut merkitystä asiaan ja rakenne on kuivunut melkein saman verran keskeltä kuin pinnastakin. Imubetonoinnissa betoni valetaan normaalin vesisementtisuhteen omaavalla massalla, mutta heti valun jälkeen massasta imetään ylimääräinen vesi pois. Tällöin vesisementtisuhte laskee ja rakenne kuivuu nopeasti. Oletetaan, että tässä tapauksessa on käynyt muuten samalla lailla, mutta ylimääräinen vesi on valunut betonista masuunihiekkaan valun yhteydessä. Tällöin betonin vesisementtisuhte on huomattavasti laskenut ja laatta kuivunut nopeasti kemiallisen sitoutumisen vaikutuksesta.

Masuunihiekka on hyvin vettä läpäisevää tasaisen kiderakenteensa vuoksi ja siinä on myös suuri ominaispinta-ala joka luultavasti pystyy sitomaan paljon vettä itseensä. Tämän vuoksi oletetaan, että betonissa oleva ylimääräinen vesi voi siirtyä masuunihiekkaan painovoimaisen ja kapillaarisen siirtymisen avulla. Myös masuunihiekassa tapahtuva sitoutumisreaktio vaatii vettä, joten osa vedestä voi sitoutua siihen.

10 LABORATORIOKOKEET JA KOEMENETELMÄT

Laboratoriokokeiden päätehtävänä on selvittää, vaikuttaako maanvastaisen betonilaatan alapuolinen masuunihiekkatäyttö nopeuttavasti betonilaatan kuivumiseen. Masuunihiekka on kiderakenteeltaan hyvin tasarakeista ja sen vuoksi hyvin vettä läpäisevää. Masuunihiekka sitoutuu hydraulisesti luonnonkosteassa tilassa. Reaktio on verrattavissa sementin sitoutumiseen, mutta se on paljon hitaampi ja sitoutumislämpö on huomattavasti pienempi. Masuunihiekan ominaisuuksista johtuen kokeen perusolettamus on, että masuunihiekan päälle valettu betonilaatta kuivuu nopeammin, koska betonissa oleva ylimääräinen vesi valuu valun aikana masuunihiekka täyttöön. Myös valun jälkeen osa vedestä siirtyy masuunihiekkaan ja liittyy sen sitoutumisreaktioon. Oletustilanne on verrattavissa kahteen suuntaan kuivuvaan betonilaattaan.

Kokeet suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Laboratoriokokeita varten rakennettiin kolme koelaatikkoa, joihin tehtiin vertailtavat alapohjarakenteet. Koealapohjien rakennekerrokset ja –vahvuudet näkyvät kuvassa 14. Kuvan oikeassa laidassa on ilmoitettu jatkuvaa kosteuden mittausta varten käytettyjen antureiden numerot ja asennussyvyudet. Betonissa olevien antureiden sijainti on ilmoitettu betonin yläpinnasta ja masuunihiekassa olevien masuunihiekan yläpinnasta



KUVA 14. Koelapohjatyyppit ja mittausantureiden numerointi ja sijainti

Koelapohjat 1 ja 2 kuvastavat kahta erilaista tapaa toteuttaa maanvastainen betonilattia masuunihiekkatäytön avulla. Koelapohja 3 kuvastaa normaalia alapohjaa. Normaalisti XPS–eristeen alapuolella on murskettä tai soraa. Tavallisessa tilanteessa kosteus voi päästä liikkumaan betonilaatasta soraan tai toisinpäin, koska eristelevyjä ei monestikaan ole asennettu täysin tiiviisti ja niiden rakenne voi päästää lävitseen vesihöyryä. Koelaatikkoon soraa ei kuitenkaan laitettu, koska XPS–eristeellä on suuri höyrynvastus eli se estää kosteuden liikkeen. Eristelevyt voidaan asentaa pieneen koelaatikkoon niin tiiviisti, että kosteus ei voi liikkua myöskään levyjen saumoista.

Koelaatikot rakennettiin lankusta ja vanerista. Laatikot ovat mitaltaan 1,0 *1,0 m, korkeus vaihtelee testattavien rakennekerrosten mukaan. Kaikkiin laatikoihin laitettiin yhtenäinen muovi pohjalle ja seinille, jolloin rakenne pääsee

kuivumaan ainoastaan ylöspäin. Näin koeolosuhteet vastaavat mahdollisimman paljon varsinaisia maanvastaisen lattian olosuhteita.

Kokeessa käytettävä masuunihiekka toimitettiin OAMK:n laboratorioon suursäkeissä 7.12.2010. Masuunihiekasta otettiin kolme materiaalinäytettä 9.12.2010 noin puolesta välistä säkkiä. Materiaalinäytteistä määritettiin kosteuspitoisuus painoprosentteina kuivatus-punnitus-menetelmällä. Kaikkien näytteiden kosteuspitoisuudeksi saatiin 8,3 %. Säkin suut suljettiin, jotta masuunihiekka ei pääsisi kuivumaan ennen sen käyttöä. Yleensä työmaalle toimitettava masuunihiekka tulee rekalla ja se tuodaan joko suoraan masuunikuljettimen alta heti granuloinnin jälkeen tai sitten varastokentältä. Työmaalla masuunihiekka käytetään sellaisenaan kuin se sinne toimitetaan, joten kokeessa pyrittiin toimimaan samalla tavalla.

Koelaatikot 1 ja 2 täytettiin masuunihiekalla 10.12.2010 10 senttimetrin kerroksissa ja jokainen kerros tiivistettiin poravasarella vaneripalasta apuna käyttäen (kuva 15). Näin mukailtiin työmaalla lätkällä tehtävää tiivistystä. Masuunihiekkaa säkistä laatikoihin laitettaessa huomattiin, että säkin pohjalla oleva hiekka oli selvästi kosteampaa kuin ylempänä ja pinnassa. Säkkien pohjalta otettiin materiaalinäytteet ja määritettiin niiden painoprosentti kosteudet kuivatus-punnitus-menetelmällä. Toisesta säkistä painoprosenttikosteudeksi saatiin 13,55 % ja toisesta 21,2 %. Säkin alaosassa ollut masuunihiekka tuli laatikon yläosaan lähelle betonilaattaa. Aivan säkin pohjalla ollutta märintä masuunihiekkaa ei laitettu laatikoihin vaan viimeiset 5 - 10 cm täytöstä tehtiin uuden säkin ylä-osasta. Masuunihiekan pinta peitettiin muovikalvolla, jotta se ei pääsisi kuivumaan ennen valua.



KUVA 15. Masuunihiekan tiivistys poravasarella

Betonilaatat oli tarkoitus valaa noin viikko masuunihiekantäytön jälkeen. Viikko on keskimääräinen aika myös työmaalla masuunihiekan yläosan täytöstä ja viimeisen pinnan tasoituksesta. Jatkuvaa kosteuden seurantaan varten olivat hankinnassa anturit, joilla oli tarkoitus mitata betonin ja masuunihiekan suhteellista kosteutta. Antureiden toimittajalta kuitenkin tuli tieto, että joulukuun puoleenväliin luvatut anturit tulevat vasta maaliskuussa. Koska mittauskalustoa ei saatu käyttöön suunniteltuna aikana, jouduttiin betonilaattojen valamista lykkäämään. Joulukuun lopussa kuitenkin saatiin Oulun seudun ammattikorkeakoululta käyttöön uusi mittauslaitteisto. Betonilaatat valettiin 30.12.2010 ja masuunihiekan täytöstä valuun kului kolme viikkoa suunnitellun yhden viikon sijaan. Ennen betonivalua mitattiin painoprosenttikosteudet punnitus-kuivatus-menetelmällä masuunihiekkatäyttöjen pinnasta noin 10 senttimetrin paksuudelta. Koelaatikon 1 masuunihiekan painoprosenttikosteus oli 7,9 % ja koelaatikon 2 6,7 %.

Betonilaatat valettiin eniten käytetyllä lattiamassalla eli normaalilla K - 30 -

betonilla rasitusluokassa XC–2. Betonin vesisementti suhde oli 0,62, runkoaineen maksimi raekoko 16 mm ja notkeusluokka S2. Massassa ei käytetty lisäaineita.

Kuusi tuntia betonilaattojen valun jälkeen laattojen päälle laitettiin yhtenäinen muovi jälkihoitoa varten. Muovia asennettaessa huomattiin, että tiiviin eriste-kerroksen päälle valettujen laattojen pintaan oli jäänyt paljon enemmän hieron yhteydessä ja sen jälkeen noussutta irtovettä kuin masuunihiekan päälle valettujen laattojen. Muovi otettiin pois 11 vrk:n kuluttua. Se on ohjeellinen minimipituus jälkihoidolle, kun betonin lujuusluokka on K-30 ja rasitusluokka XC–2. Jälkihoidon jälkeen betonin ja laatikon seinää vasten olevan muovin sauma tiivistettiin tiivistemassalla. Tiivistys tehtiin, jotta betonilaatta ja alla oleva masuunihiekkakerros eivät pääse kuivumaan laatan ja laatikon seinän väliin betonin kutistumisen takia syntyvästä raosta

Betonilaattojen ja niiden alapuolisen masuunihiekan kosteuden mittaaminen suoritettiin jatkuvalla seurannalla. Betonilaattojen kosteutta mitattiin myös porareikämittauksella. Betonilaattojen ja koelaatikoiden rakenteisiin asennettiin yhteensä 17 mittausanturia, jotka mittasivat kunkin mittauspisteen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden (RH %) viiden minuutin välein. Jokaiseen betonilaattaan asennettiin kolme mittausanturia. Ensimmäinen anturi asennettiin laatan yläpintaan, toinen keskelle laattaa ja kolmas laatan alapintaan. Kahden ylemmän anturin sijainnit määriteltiin Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi ohjeen mukaan (Merikallio 2002). Alimmainen anturi asennettiin betonin alapinnasta samalla etäisyydelle kuin ylin anturi betonin yläpinnasta. Laatan kosteusjakauma pyrittiin määrittämään asentamalla anturit siis seuraavasti

— ylimmäisen anturin sijainti: $0,4 \cdot A = 60 \text{ mm} \cdot 0,4 = 24 \text{ mm}$

— keskimmäisen anturin sijainti: $A = 0,4 \cdot D = 150 \text{ mm} \cdot 0,4 = 60 \text{ mm}$

— alimmaisen anturin sijainti: $150 - 0,4 \cdot A = 150 \text{ mm} - 0,4 \cdot 60 \text{ mm} = 126 \text{ mm}$.

Koelaatikoiden, AP1 ja AP2, kummankin masuunihiekkakerrokseen laitettiin 4 anturia. Huoneilmaan asennettiin kaksi anturia, jotta voitiin seurata kuivumisolosuhteita. Jatkuvalle seurannalle saatu mittaus-tieto syötettiin antureilta dataloggeriin, josta ne tallentuivat tietokoneelle (kuva 16). Betonilaattojen kuivumista seurattiin, kunnes laattojen suhteellinen kosteus oli arvioitu syvyydellä 90,3 - 89,9 %. Mittausanturoiden sijoituspaikat näkyvät kuvassa 14 sivulla 49.

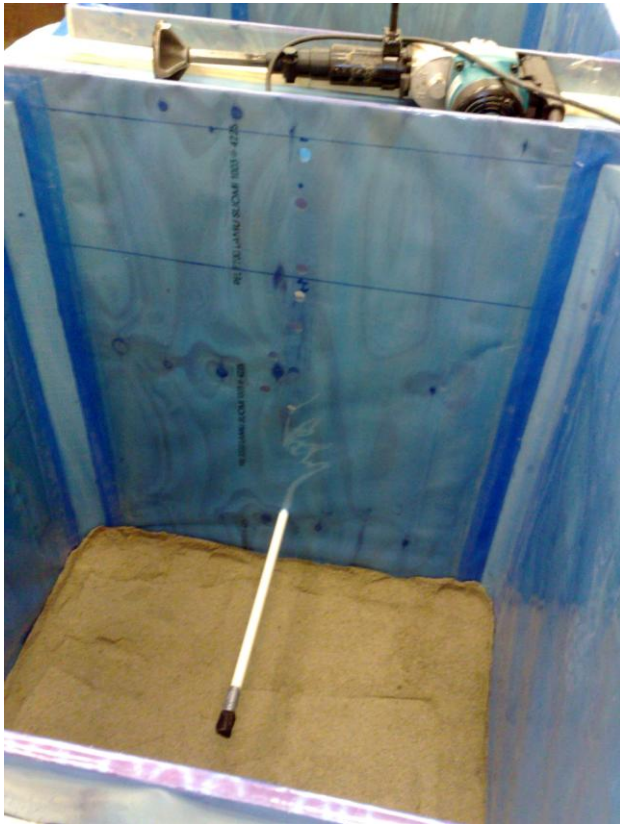


KUVA 16. Koelaatikot ja mittauksessa käytetty laitteisto

Masuunihiekan täytön yhteydessä täyttökerrokseen asennettiin jatkuvan seurannan antureita varten sähköputket, joiden toinen pää asennettiin masuunihiekkaan ja toinen pää tuotiin ulos laatikosta (kuva 17). Masuunihiekkaan jäänyt pää suljettiin suodatinkankaalla. Suodatinkankaalla on alhainen vesihöyrynvastus eli se läpäisee vesihöyryä, eikä se ole hygroskooppista, eli se ei ime itseensä kosteutta. Suodatinkangas estää hiekan valumisen putkeen ja suojelee mittausanturia epäpuhtauksilta, mutta se päästää lämmön ja vesihöyryn lävitseen.

Mittausanturit asennettiin koelaatikosta ulos tulevan sähköputken päähän kautta. Viiden senttimetrin päähän anturin mittauspäästä muotoiltiin Mal-kitistä tulppa anturin ympärille. Tulppa ei kuitenkaan voinut tehdä täysin tiivistä, jotta anturi voitiin työntää putkeen paikoilleen. Se kuitenkin esti suurimman

osan vesihöyryn liikkeestä putkessa, eli rajasi mittaolosuhteet putken päähän. Sähköputken lopullinen tiivistys tehtiin Mal-kitillä putken ulkopäähän.



KUVA 17. Masuunihiekkaan jatkuvan kosteudenmittauksen anturia varten asennettu sähköputki

Myös betonilaattaan asennettavia jatkuvan mittauksen antureita varten asennettiin sähköputket varauksiksi ennen valua (kuva 18). Valuun jäävä putkien pää suljettiin ilmastointi teipillä, jotta betoni ei valuisi putkiin, ja toinen pää tuotiin ulos koelaatikosta anturoiden asennusta varten.



KUVA 18. Koelaatikko AP1 ennen valua

Valua seuraavana päivänä putkien päässä oleva ilmastointiteippi porattiin pois ja samalla porattiin betoniin 50 mm syvä reikä. Porattaessa reikiä koelaattoihin 1 ja 2 (alla masuunihiekkaa) tuli poraus jätteenä pelkästään kosteaa betonijauhetta. Koelaattaan 3 (alla tiivis lämmöneriste) (kuva 19), ylimmäistä putkea auki porattaessa reiästä tuli kosteaa betonijauhetta. Kahta alimmaista putkea auki porattaessa rei'istä tuli märkää betonisakkaa ja vettä, minkä vuoksi poraus jouduttiin keskeyttämään. Kolmen päivän päästä valusta reiät porattiin lopullisesti auki ja asennettiin anturit paikalleen samalla tavalla kuin masuunihiekassa sijaitseviin varauksiin.



KUVA 19. Koelaatikko AP3 ennen valua

10.1 Koeolosuhteet

Kokeet suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriona toimivassa hallissa 31.12.2010 - 6.4.2011. Työtä aloittaessa harkittiin, tehdäänkö koekappaleita varten tila, jossa olisi tasainen lämpötila ja ilman kosteus. Tätä ei kuitenkaan nähty tarpeelliseksi vaan pidettiin tärkeimpänä, että kaikki koekappaleet olisivat samanlaisissa olosuhteissa, jolloin ulkoiset tekijät eivät vaikuttaisi betonin kuivumiseen eri laatoilla erilailla. Päätettiin siis, että olosuhteet saavat vaihdella, kunhan ne vaihtelevat kaikkien koekappaleiden osalla samalla lailla. Olosuhteet olivatkin hyvin samanlaiset kaikkien koelaatikoiden kohdalla. Lämpötila vaihtelua eri koelaatikoiden ympäröivän ilmatilan kesken oli vain noin ± 1 °C ja suhteellisen kosteuden vaihtelua vain ± 1 %.

Johtuen kylmästä ja kuivasta ulkoilmasta hallin suhteellinen kosteus oli todella alhainen varsinkin tammi- ja helmikuun ajan. Tammi- ja helmikuun ajan suhteellinen kosteus oli noin 10 - 20 % ja maaliskuu- ja huhtikuun ajan 20 - 30 %. Huoneilman suhteellinen kosteus oli siis edullinen betonin nopealle kuivumiselle. Hallin lämpötila oli pääasiassa noin 16 - 20 °C. Hallissa oli molemmilla ulkoseinillä suuret ovet, joita auottiin melkein päivittäin. Ovien aukomisen vuoksi lämpötila laski hetkellisesti useita asteita varsinkin lattian rajassa.

Normaalisti alapohjan kuivumisvaiheessa täyttökerroksen lämpötila on useita asteita, jopa 10, huonelämpötilaa matalampi. Kun lämmin ilma liikkuu pinnasta kohti täyttökerroksia, se kuljettaa mukanaan myös kosteutta. Tällöin betonilaatta kuivuu myös alaspäin. Koelaatoille haluttiin luoda mahdollisimman aidot olosuhteet. Koelaatikoiden alaosaan oli kuitenkin liian vaikeaa ja kallista rakentaa kylmää tilaa, joten siihen ei ryhdytty. Myöskään konvektion aiheuttamalla laatan kuivumisella ei arvioitu olevan olennaista merkitystä. Ovien vuotavien alatiivisteiden vuoksi lattian rajassa, eli laatikoiden alaosassa oli noin 3 °C kylmempää kuin yläosassa. Lämpötilan puolesta koeolosuhteet vastasivat siis aika lailla todellisia olosuhteita.

10.2 Koebetonirakenteiden kuivumisaika-arvio

Koelaattojen valussa käytettiin Betonimassaa, jonka lujuusluokka oli K-30, notkeusluokka S2 ja maksimiraekoko 16 mm. Sideaineena betonissa käytettiin sementtiä CEM II A-M 42.5 N, jota oli 298 kg/m³. Betonimassassa ei käytetty lisäaineita. Massassa oli tehollista vettä 215 kg/m³ ja sen tehollinen vesisementtisuhte oli noin 0,63.

Peruskuivumisaika, jolloin betonirakenteen suhteellinen kosteus on 90 % arviointisyvyydellä A, on 60 vuorokautta. Muokataan perustapausta olosuhteiden mukaisilla kertoimilla niin, että

— vesisementtisuhte on 0,62: 0,78

- rakenteen paksuus on 150 mm: 2,05
- valun alusta on masuunihiekkaa: käytetään 1
- rakenne on kuivissa olosuhteissa: 0,87
- ilman kosteus on 50 % ja lämpötila 20 °C: 1 ja 1,0
- massan suurin raekoko on 16 mm: 0,76.

Kuivumisaika = $60 \text{ d} * 0,78 * 2,05 * 1 * 0,87 * 1,0 * 1,0 * 0,76 = 87 \text{ d}$ eli 9 viikkoa. Kuivumisaika-arvio koealapohjarakenteille 90 %:n suhteelliseen kosteuteen on 9 viikkoa.

11 KOKEESSA KÄYTETYT KOSTEUDEN MITTAUS- LAITTEET

Jatkuvan seurannan mittaukset suoritettiin Rotronicin HC2-C04-antureilla. Antureiden tekniset tiedot ovat

- suhteellisen kosteuden mittausalue 0 - 100 %
- lämpötilan mittausalue -40 - +85 °C
- mittaustarkkuus (suhteellinen kosteus) +-1 % RH
- mittaustarkkuus (lämpötila) +- 0,3 °C.

Porareikä menetelmän avulla suoritettavat mittaukset tehtiin Vaisalan HMI 41-lukulaitteella ja HMP46-antureilla. Antureiden tekniset tiedot ovat

- suhteellisen kosteuden mittausalue 0 - 100 %
- lämpötilan mittausalue -40 - +100 °C
- mittaustarkkuus (suhteellinen kosteus) +-2 % RH
- mittaustarkkuus (lämpötila) ei ilmoitettu.

12 KOKEIDEN TULOKSET

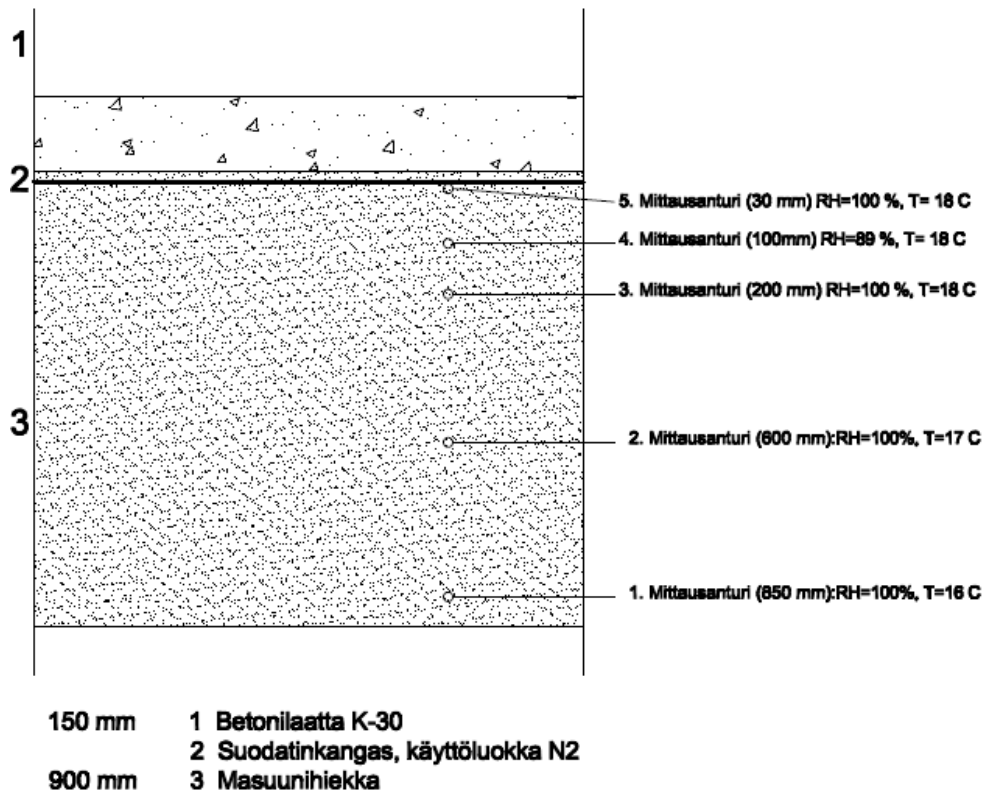
Kokeessa mitattiin betonilaattojen ja masuunihiekan suhteellista kosteutta jatkuvana seurantana sekä porareikämenetelmällä. Jatkuvan seurannan mittaus pääosin epäonnistui, koska mittausanturit jostain syystä näyttivät 100 %:n suhteellista kosteutta betonin suhteellisen kosteuden ollessa todellisudessa 90 - 100 %. Edellä on kuitenkin käyty läpi jatkuva seurannan mittaukset sekä siihen liittyneet ongelmat. Koska jatkuvan seurannan mittaus epäonnistui, saatiin luotettavia tuloksia etupäässä porareikämenetelmällä betonilaatasta.

12.1 Jatkuvan seurannan tulokset

Jatkuvasta seurannasta saatiin vain vähän luotettavia tuloksia. Ne olivat huoneilman lämpötila ja suhteellinen kosteus eli betonilaattojen kuivumisolosuhteet sekä masuunihiekan alkuajan suhteelliset kosteudet ja lämpötilat.

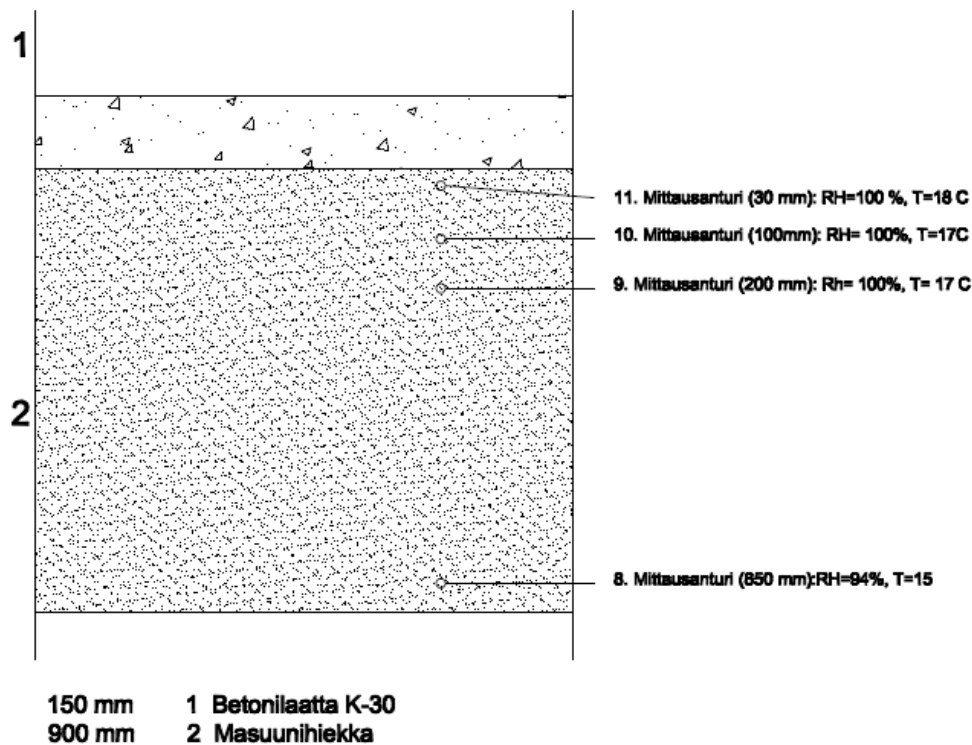
12.1.1 Masuunihiekan kosteus ja lämpötila

Päivä ennen betonilaatan valua asennettiin koelaatikon AP1 masuunihiekka-kerrokseen 5 mittausanturia ja AP2 4 mittausanturia. Kaikki muut koelaatikon 1 anturit näyttivät 100 %:n suhteellista kosteutta, paitsi yksi näytti 89 %:n suhteellista kosteutta (kuva 20).



KUVA 20. Koelaatikosta AP1 Masuunihiekasta mitatut kosteudet 30.12.2010

Myös koelaatikon kaksi antureista kaikki näyttivät 100 %:n suhteellista kosteutta, lukuun ottamatta yhtä anturia, joka näytti 94 %:n suhteellista kosteutta. Betonilaatan valun ajaksi anturit otettiin pois, jotta mahdollisesti masuunihiekkaan valuva sementtivesi ei tuhoaisi antureita. Valua seuraavana päivänä anturit laitettiin takaisin masuunihiekkaan. Kaikki anturit, kahta lukuun ottamatta, näyttivät 100 %:n suhteellista kosteutta. Näistä kahdesta anturista toinen näytti 98 ja toinen 97 %:n suhteellista kosteutta. Masuunihiekan lämpötila oli johdonmukaisesti pari astetta korkeampi laatikon ala- kuin yläosassa huoneilman lämpötilan mukaisesti.



KUVA 21. Koelaatikosta AP 2 Masuunihiekasta mitatut kosteudet 30.12.2010

Koska masuunihiekan suhteellinen kosteus on pääasiassa 100 %, siinä oleva kosteus esiintyy nesteinä. Tällöin betonissa oleva vesi pystyy siirtymään masuunihiekkaan ainoastaan kuivumisen alkuaikana, jolloin betonin kosteus on suurempi kuin masuunihiekan. Sen jälkeen masuunihiekka toimii ainoastaan kosteuslähteenä ja hidastaa betonin kuivumista.

Koska masuunihiekan suhteellinen kosteus on noin suuri, se voi olla riski lattian toiminnalle käyttöaikana, jos lattian päällä on tiivis pinnoitus. Toisin kuin normaalissa alapohjarakenteessa ei pelkkää masuunihiekkaa käytettäessä betonilaatan alla ole suurta vesihöyrynvastusta omaavaa tiivistä lämmöneristekerrosta, joka estäisi vesihöyryn liikkeen ja laskisi betonilaatan suhteellista kosteutta. Kannattaisi tutkia tarkemmin, luoko masuunihiekan käyttö sellaisenaan riskin lattia rakenteelle vai laskeeko masuunihiekan suhteellinen kosteus huomattavasti rakenteen vanhetessa. Jos riski on olemassa, olisi betonilaatan alla hyvä käyttää ainakin 50 mm:n tiivistä lämmöneristekerrosta alapuolisen masuunihiekkatäytön lisäksi. Tasapainokosteuskäyrän määrittämisestä olisi hyötyä tämän asian tutkimisessa.

12.1.2 Jatkuvan seurannan antureiden toiminta

Aluksi anturit toimivat oikein ja niiden tarkkuus oli hyvä, koska ne oli kalibroitu juuri ennen koetta. Kuitenkin kokeen edetessä anturit näyttivät jostain syystä 100 %:n suhteellista kosteutta, kun betonilaattojen kosteus oli noin 90 - 100 %. Luultavasti anturit olivat liian pitkään, liian kosteissa ja epäpuhtaissa olosuhteissa ja vaurioituivat, minkä jälkeen ne alkoivat näyttää liian suuria arvoja.

Virheelliset mittaustulokset saattavat johtua myös epäedullisista mittausolosuhteista. Koetilan lämpötila laski hetkellisesti päivittäin isojen ulko-ovien auki pitämisen vuoksi. Jatkuvassa seurannassa käytetyt Rotronicin anturit taasaantuvat mittausolosuhteisiin huomattavasti nopeammin, kuin porareikämenetelmässä käytetyt Vaisalan anturit. Voi siis olla mahdollista, että Rotronicit ovat herkempiä lämpötilan vaihtelulle ja lämpötilan laskiessa hetkellisesti niiden pintaan on tiivistynyt kosteutta. Tällöin anturit näyttävät koko ajan 100 %:n suhteellista kosteutta, vaikka betonin suhteellinen kosteus onkin vähemmän.

Koska laatan pinnassa olevien antureiden suhteellinen kosteus laski johdonmukaisesti, ei heti arvattu, että anturit näyttäisivät vääriä arvoja. Ajateltiin, että laatan tulee kuivua aluksi pinnasta tarpeeksi paljon ja kosteuseron tulee olla tarpeeksi suuri ennen kuin kosteus lähtisi siirtymään laatan keskeltä kohti pintaa. 28.2.2011 epäiltiin, että mittauksessa on jotain vialla, koska kaikki anturit betonilaatoissa, kahta lukuun ottamatta näyttivät 100 %:n suhteellista kosteutta, vaikka laatan olisi pitänyt kuivua jo useita prosentteja. Betonilaatoista mitattiin kosteudet Vaisalan antureilla porareikämenetelmää käyttäen ja verrattiin niitä jatkuvan seurannan tuloksiin (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Betonilaatoista 28.2.2011 Rotronicilla ja Vaisalalla mitatut suhteelliset kosteudet

pvm:28.2.2011

Kulunut aika valusta(viikkoina): 8

Mittauspiste Koelaat- ta/mittaus-syvyys	Rh(%) Mi- tattu Vai- salla	Rh(%) Mi- tattu Ro- tronicilla	T(°C) Mi- tattu vaisa- lalla	T(°C) Mi- tattu Ro- tronicilla
Ap1/24	82,9	96	18,9	19
Ap1/60	93,9	100	18,6	18
Ap1/126	96,3	100	18,5	18
Ap2/24	82,6	100	19	19
Ap2/60	93,2	100	18,6	18
Ap2/126	93,8	100	18,5	18
Ap3/24	81,8	86	19,1	20
Ap3/60	93,9	100	18,9	19
Ap3/126	94,3	100	18,9	18

Rotronicilla mitatut jatkuvan seurannan arvot olivat 3,6 - 17,4 % suurempia kuin Vaisalla porareikämenetelmän avulla mitatut. Yksikään porareikämenetelmällä mitattu arvo ei näyttänyt 100 %:n suhteellista kosteutta toisin kuin suurin osa jatkuvan seurannan antureista. Porareikämenetelmällä mitatut arvot olivat myös paljon johdonmukaisempia, koska laattojen suhteellinen kosteus oli sitä suurempi mitä syvemmältä laatasta mitattiin. Tämän vuoksi epäiltiin, että jatkuvan seurannan anturit eivät toimi oikein.

Jatkuvan seurannan anturit laitettiin huoneilmaan, jolloin ne näyttivät 19 - 23 %:n suhteellista kosteutta. Anturit näyttivät huoneilmassa liki samoja arvoja kuin koko ajan huoneilman olosuhteita mitanneet anturit. Koska antureiden mittausarvot muuttuivat olosuhteen muuttuessa, ajateltiin, että anturit eivät välttämättä olekaan vioittuneet vaan liian suuret mittausarvot voivat johtua mittausolosuhteista.

Suhteellinen kosteus on riippuvainen lämpötilasta. Jos ilman vesihöyryn määrä pysyy samana, mutta lämpötila laskee, ei tilaan sovikaan enää yhtä paljon vesihöyryä ja suhteellinen kosteus nousee. Jatkuvan seurannan antu-

rit olivat pääosin 90 % - 100 %:n suhteellisessa kosteudessa. Jos anturi on esimerkiksi 95 %:n suhteellisessa kosteudessa ja lämpötila on 20 °C, on ilmatilassa vesihöyryä 16,4 g/m³. Jos lämpötila laskee yhden asteen, pysyy vesihöyryn määrä samana, mutta suhteellinen kosteus nousee 100 %:n.

Kokeet suoritettiin hallissa, jossa oli suuret läpikuljettavat ulko-ovet. Ovia aurtiin melkein päivittäin, jolloin hallin lämpötila pääsi laskemaan hetkellisesti monta astetta. Näin tapahtui varsinkin tammi- ja helmikuun aikana, jolloin ulkoilman lämpötila oli -15 - 30 °C. Koebetonilaattojen lämpötila ei laske kovin nopeasti, vaikka ympäristön lämpötila laskisikin hetkellisesti, koska koekappaleen suuren massa on varastoitunut paljon lämpöä. Jatkuvaa seuranta varten asennettu sähköputken pää on kuitenkin ulkona betonilaatasta, jolloin sen lämpötila voi helposti laskea useammankin asteen, jos ympäristön lämpötila laskee rajusti. Tällöin putken päähän ja anturin pintaan voi tiivistyä kosteutta, jolloin anturi näyttää 100 %:n suhteellista kosteutta, vaikka itse betonin huokostilassa se on todellisuudessa vähemmän.

Jotta kosteus haihtuu pois putken ja anturin pinnasta, se vaatii energiaa eli lämpöä. Hallin ja sähköputken ulkopään lämpötila ei välttämättä missään vaiheessa koetta noussut niin korkealle, että kosteus voisi höyrystyä takaisin putken ilmatilaan. Tämän vuoksi oli syytä epäillä, että virheelliset mittaustulokset johtuivat lämpötilan vaihtelusta.

Betonilaatoissa jatkuvaa seuranta varten oleviin sähköputkiin asennettiin porareikämenetelmässä käytettävät Vaisalan anturit, jotta putken olosuhteista saataisiin vertailuarvot (taulukko 4). Anturit asennettiin putkiin 10.3.2011 klo 14.15 ja niiden annettiin tasaantua 11.3.2011 klo 11:een asti. Vaisalan anturien arvot olivat 73,6 %:sta 90,8 %:iin, vaikka jatkuvan mittauksen anturit olivat kahta vuorokautta aikaisemmin näyttäneet samoista mittapaikoista 100 %:n suhteellista kosteutta. Kun Vaisalan anturit otettiin pois, tilalle laitettiin Rotronicin anturit. Rotronicit näyttivät 100 %:n suhteellista kosteutta kahden tunnin päästä asennuksesta, lukuun ottamatta lähimpänä pintaa olevia antureita. Pinnassa olevat anturit näyttivät 81 %, 91 % ja 92 %. Koska Vaisalan anturit näyttivät samoista olosuhteista huomattavasti pienempiä suhteellisen

kosteuden arvoja kuin Rotronicit, epäiltiin Rotronicien toimivuutta yhä enemmän.

TAULUKKO 4. Vaisalalla ja Rotronicilla mitatut arvot jatkuvaa seuranta varten asennetuista sähköputkista

pvm.11.3.2011 Kulunut aika valusta(viikkoina): 9,5

Mittauspiste	Koelaat- ta/mittaus-syvyys	Rh(%) Mi- tattu Vai- salla	Mi- tattu Ro- tronicilla	T(°C) Mi- tattu vaise- lalla	T(°C) Mi- tattu Ro- tronicilla
Ap1/24		82,2	96	19,7	20
Ap1/60		88,8	100	19,7	20
Ap1/126		89,7	100	19,8	20
Ap2/24		83	100	19,7	20
Ap2/60		87,9	100	19,6	20
Ap2/126		89,2	100	19,7	20
Ap3/24		73,6	86	19,8	20
Ap3/60		88,8	100	19,7	20
Ap3/126		89,7	100	19,7	20

14.3.2011 betonilaatoista mitattiin kosteudet porareikämenetelmää käyttäen Vaisalalan antureilla. Kun arvot oli luettu Vaisalalan antureista, betonilaatan 1 porareikiin asennettiin tilalle Rotronicin anturit vertailumittauksen vuoksi (taulukko 5). Vaisalalla mitatut arvot olivat 24 mm:n syvyydestä 77,8 %, 60 mm:n syvyydestä 91,6 % ja 124 mm:n syvyydestä 94,1 %. Rotronicilla samoista rei'istä mitatut arvot olivat 24 mm:n syvyydestä 90 %, 60 mm:n syvyydestä 100 % ja 124 mm:n syvyydestä 100 %. Nämä mittaustulokset osaltaan myös vahvistivat ajatusta, että Rotronicin anturit eivät toimi oikein. Tämän porareikämenetelmällä tehdyn mittauksen jälkeen huomattiin myös, ettei jatkuvaa seuranta varten asennetuista sähköputkista saatu mitattua Vaisalalla betonin todellista kosteutta, vaan putkessa oli todellisuudessa pienempi kosteus. Näin pääteltiin, koska jatkuvan seurannan mittaputkista mitattiin Vaisalalla kolmea päivää aikaisemmin huomattavasti pienempiä arvoja kuin porareii'istä kolmen päivän kuluttua (taulukot 4 ja 5).

Liian pienet kosteudet sähköputkissa johtuvat luultavasti mittaputken suuresta tilavuudesta ja siitä, että betonin kosteuden tasoittuessa ”suureen” ilmatilaan suhteellinen kosteus laskee. Jatkuvan seurannan antureilla ei tätä ongelmaa ollut ainakaan niin suurella mittakaavassa. Jatkuvan seurannan anturin päässä oli Mal-kitillä muotoiltu tulppa, joka sulki mittausolosuhteet putken päähän.

TAULUKKO 5. Vaisalla ja Rotronicilla mitatut arvot porareikämenetelmää varten asennetuista mittausputkista

pvm.14.3.2011 Kulunut aika valusta(viikkoina): 10

Mittauspiste	Koelaatta/mittaus-syvyys	Rh(%) Mittattu Vaisalla	Mittattu Rotronicilla	T(°C) Mittattu Vaisalla	Mittattu Rotronicilla
Ap1/24		75,9	90	20,3	19
Ap1/60		92,2	100	20,2	19
Ap1/126		94,6	100	20,2	19

Jotta antureiden toimivuudesta saataisiin varmuus, asennettiin anturit ilmatiiviisiin astioihin. Astioiden pohjalla oli suolavesiliuokset, jotka tekevät liuoksen yläpuoliseen ilmatilaan tietyn tasalaatuisen suhteellisen kosteuden. Suolavesiliuosten ilmatilaan aiheuttamat suhteelliset kosteudet luettiin taulukosta 6. Menetelmä on sama, jolla anturit kalibroidaan. Antureita testattiin kahdessa eri astiassa ja kahdessa erilaisessa suhteellisessa kosteudessa. Lisävertailun vuoksi ensimmäisen astian suhteellista kosteutta mitattiin myös Honeywellin antureilla.

TAULUKKO 6. Kalibrointisuolojen ilmatilavuuteen aiheuttamat suhteelliset kosteudet

Table 13.1. Relative Humidity of Saturated Salt Solutions

Temperature (°C)	Lithium Chloride Solution (LiCl, H ₂ O)	Magnesium Chloride Solution (MgCl, 6H ₂ O)	Magnesium Nitrate Solution (Mg(NO ₃) ₂ , 6H ₂ O)	Sodium Chloride Solution (NaCl, 6H ₂ O)	Potassium Chloride Solution K ₂ SO ₄
5	13	33.6 ± 0.3	58	75.7 ± 0.3	98.5 ± 0.9
10	13	33.5 ± 0.2	57	75.7 ± 0.2	98.2 ± 0.8
15	12	33.3 ± 0.2	56	75.6 ± 0.2	97.9 ± 0.6
20	12	33.1 ± 0.2	55	75.5 ± 0.1	97.6 ± 0.5
25	11.3 ± 0.3	32.8 ± 0.3	53	75.3 ± 0.1	97.3 ± 0.5
30	11.3 ± 0.2	32.4 ± 0.1	52	75.1 ± 0.1	97.0 ± 0.4
35	11.3 ± 0.2	32.1 ± 0.1	50	74.9 ± 0.1	96.7 ± 0.4
40	11.2 ± 0.2	31.6 ± 0.1	49	74.7 ± 0.1	96.4 ± 0.4
45	11.2 ± 0.2	31.1 ± 0.1	—	74.5 ± 0.2	96.1 ± 0.4
50	11.1 ± 0.2	30.5 ± 0.1	46	74.6 ± 0.9	95.8 ± 0.5
55	11.0 ± 0.2	29.9 ± 0.2	—	74.5 ± 0.9	—

Source: Patissier, B., Walters, D. Basics of relative humidity calibration for Humirel HS1100/HS1101 sensors. Humirel, Toulouse Cedex, 1999.

Ensimmäiseen astiaan laitettiin neljä Rotronicin, kaksi Vaisalan ja neljä Honeywellin anturia. Kaikilla antureilla mitattiin astian ilmatilan lämpötilaa ja suhteellista kosteutta (taulukko 7). Kaikki Rotronicin anturit näyttivät 100 %:n suhteellista kosteutta, molemmat Vaisalan anturit 96,2 %:n suhteellista kosteutta ja Honeywellin keskimäärin 98,6 %:n suhteellista kosteutta. Molemmat Vaisalan anturit näyttivät astian lämpötilaksi 18,7 °C ja Rotronicit keskimäärin +19 °C. Astian liuoksessa käytettiin suolaa K₂SO₄, jolloin taulukon 6 mukaan ilmatilavuuden suhteellinen kosteus pitäisi olla 19 °C:n lämpötilassa noin 97,4 %.

TAULUKKO 7. Kalibrointimittaus astian ilmatilavuudesta, jonka pohjalla on K₂SO₄suolavesiliuos

Anturi	Rh(%)	T	Absol(g/m ³)
Vaisala 1	96,2	18,7	15,41150943
Vaisala 2	96,2	18,7	15,41150943
Rotronic 10	100	18	15,37423856
Rotronic 13	100	19	16,30437401
Rotronic 14	100	20	17,2836
Rotronic 16	100	19	16,30437401
Honeywell 4	98,6		
Honeywell 8	98,3		
Honeywell 9	97,9		
Honeywell 10	99,8		

Toiseen astiaan laitettiin yksi Vaisalan anturi ja kaksi Rotronicin anturia. Vaisalan anturit ilmoittivat suhteelliseksi kosteudeksi 74,9 % ja lämpötilaksi 18,4 °C. Rotronicin anturit ilmoittivat suhteellisiksi kosteuksiksi 80 ja 81 % ja lämpötiloiksi 18 ja 20 °C (taulukko 8). Astian liuoksessa käytettiin suolaa NaCl, jolloin taulukon 6 mukaan yläpuoliseen ilmatilan suhteellinen kosteus pitäisi olla noin 75,5 % +19 °C:N lämpötilassa.

TAULUKKO 8. Kalibrointimittaus astian ilmatilavuudesta, jonka pohjalla on NaCl suolavesiliuos

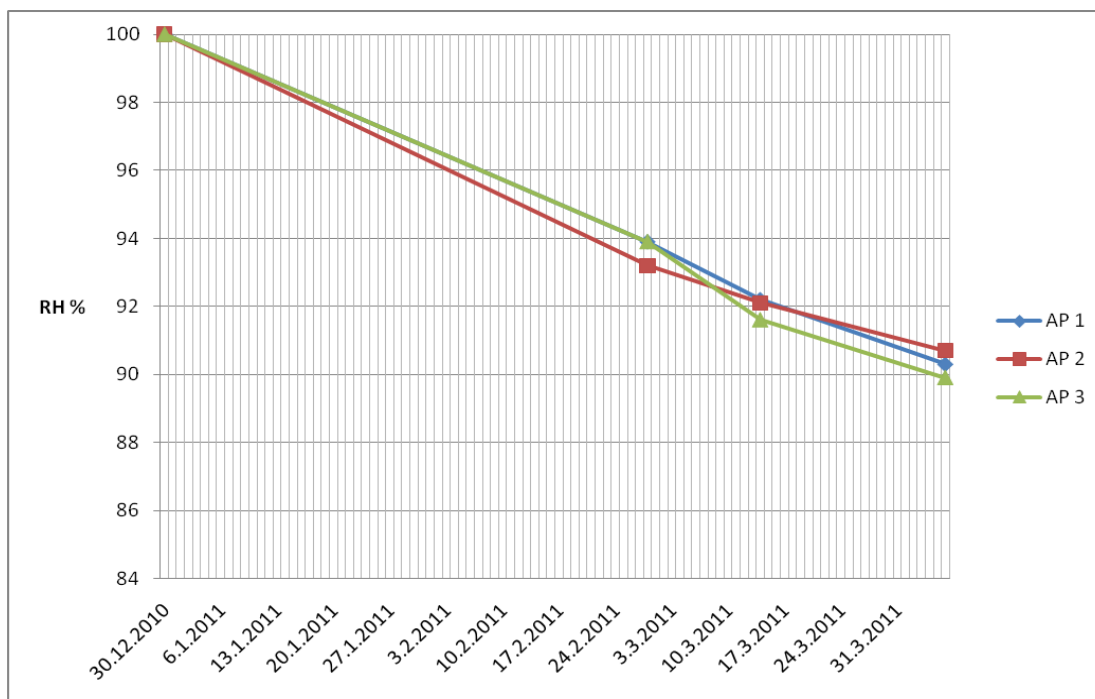
Anturi	Rh(%)	T	Absol(g/m ³)
Vaisala 3	74,9	18,4	11,78966739
Rotronic 8	80	20	13,82688
Rotronic 18	81	18	12,45313323

Kaikki Rotronicin anturit näyttivät ensimmäisestä astiasta 100 %:n suhteellista kosteutta, vaikka taulukon 6 mukaan sen olisi pitänyt olla 97,4 %. Toisesta astiasta anturit näyttivät 80 ja 81 % suhteellista kosteutta, vaikka sen pitäisi olla taulukon 6 mukaan 75,5 % eli noin 5 % liian korkeita lukemia.

Mittaustuloksiin vaikuttaa moni asia, esimerkiksi ilmanpaine, lämpötilan pysyvyys, veden tislautapa, rasian tiiveys ja anturin hydropintamateriaali. Varsinkin korkeissa suhteellisissa kosteuksissa lämpötilan ja ilmanpaineen vaihtelulla on suuri merkitys saatuihin mittausarvoihin. Astian todellisesta suhteellisesta kosteudesta ei voida siis olla varmoja, koska mittaukset suoritettiin vaihtelevissa olosuhteissa (hallin lämpötila ja ilmanpaine) ja myös käytetyt suolaliuokset olivat vanhoja ja mahdollisesti epäpuhtaita. Muilla antureilla tehdyt vertailumittaustulokset kuitenkin puoltavat teoriaa, että Rotronicin anturit antoivat liian suuria arvoja. Liian suuret arvot voivat kuitenkin toisaalta johtua siitä, että Rotronicin anturit ovat herkempiä olosuhdevaihteluille eikä niiden viallisuudesta. Anturit lähetettiin kalibroitavaksi tehtaalle, jossa niiden toimivuus voidaan selvittää tarkasti paremmissa olosuhteissa.

12.2 Porareikämenetelmällä mitatut tulokset

Betonilaatat valettiin 30.12.2011 ja ensimmäinen mittaus porareikämenetelmällä tehtiin 28.2.2011, toinen 14.3.2011 ja kolmas 6.4.2011. Porareikämenetelmällä mittaukset suoritettiin samoista syvyyksistä kuin jatkuvan seurannan anturit oli asennettu eli 24 mm, 60 mm ja 126 mm. Mittaukset ja porareiän tasaantumiset pyrittiin ajoittamaan sellaisille päiville, jolloin hallissa olivat tasaiset olosuhteet. Porareiän tasaantumiset ajoitettiin siis viikonlopulle ja mittaukset alkuviikkoon, jolloin hallin ulko-ovia auottiin harvemmin ja huoneilman lämpötila ei päässyt hetkellisesti laskemaan. Kaikki kolme laatta kuivuivat hyvin tasaisesti, eivätkä masuunihiekan päälle valetut laatat kuivuneet normaalin alapohjan päälle valettua laatta nopeammin (kuva 22).



KUVA 22. Koebetonilaattojen suhteelliset kosteudet arviointisyvyydellä A=60 mm

Betonilaattojen suhteellista kosteutta mitattiin ensimmäisen kerran 28.2.2011 (taulukko 9). Silloin oli kulunut aikaa valusta kahdeksan viikkoa.

TAULUKKO 9. Betonilaattojen suhteelliset kosteudet, lämpötilat, ja absoluuttinen kosteus

Piste(koel./mittaussyvyys(mm))	Rh(%)	T	Absol(g/m ³)
Ap1/24	82,9	18,1	12,82057299
Ap1/60	93,9	18,9	15,22042767
Ap1/125	96,3	18,5	15,24747635
Ap2/24	82,6	19	13,46741293
Ap2/60	93,2	18,6	14,8435478
Ap2/126	93,8	18,5	14,85164363
Ap3/24	81,8	19,1	13,41524149
Ap3/60	93,9	18,9	15,22042767
Ap3/126	94,3	18,7	15,10712411

Betonilaattojen suhteellista kosteutta mitattiin toisen kerran 14.3.2011 (taulukko 10). Silloin oli kulunut aikaa valusta kymmenen viikkoa.

TAULUKKO 10. Betonilaattojen suhteelliset kosteudet, lämpötilat, ja absoluuttinen kosteus

Piste(koel./mittausyvyys(mm))	Rh(%)	T	Absol(g/m ³)
Ap1/24	75,9	20,3	13,34874326
Ap1/60	92,2	20,2	16,12166237
Ap1/126	94,6	20,2	16,54131519
Ap2/24	76,6	20,1	13,31638079
Ap2/60	92,1	20,1	16,0109487
Ap2/126	94,7	20,1	16,46294074
Ap3/24	77,8	20,4	13,76246244
Ap3/60	91,6	20,4	16,20361902
Ap3/126	94,1	20,3	16,54962767

Betonilaattojen suhteellista kosteutta mitattiin kolmannen kerran 6.4.2011 (taulukko 11). Silloin oli kulunut aikaa valusta kolmetoista viikkoa.

TAULUKKO 11. Betonilaattojen suhteelliset kosteudet, lämpötilat, ja absoluuttinen kosteus

Piste(koel./mittausyvyys(mm))	Rh(%)	T	Absol(g/m ³)
Ap1/24	74,4	20	12,8589984
Ap1/60	90,3	20	15,6070908
Ap1/126	92,8	20	16,0391808
Ap2/24	76,9	19,8	13,1373806
Ap2/60	90,7	19,9	15,58534775
Ap2/126	93,1	19,9	15,99774946
Ap3/24	74,8	20,2	13,07917945
Ap3/60	89,9	20,2	15,71949509
Ap3/126	92,4	20,2	16,15663344

12.3 Tulosten analysointi ja johtopäätökset

Pinnasta (mittaussyvyys 25 mm) 28.2.2011 eri betonilaatoista mitatuissa arvoissa on eroa enimmillään 1,1 %, 14.3.2011 mitatuissa arvoissa 1,9 % ja 6.4.2011 mitatuissa arvoissa 2,5 %. Arviointisyvyydeltä (A = 60 mm) 28.2.2011 eri betonilaatoista mitatuissa arvoissa on eroa enimmillään 0,7 %, 14.3.2011 mitatuissa arvoissa 0,8 % ja 6.4.2011 mitatuissa arvoissa 0,8 %. Laatan alaosa (mittaussyvyys 124 mm) 28.2.2011 eri betonilaatoista mitatuissa arvoissa on eroa 2,5 %, 14.3.2011 mitatuissa arvoissa 0,5 % ja 6.4.2011 mitatuissa arvoissa 0,7 %. Koska mittalaitteen mittatarkkuus 20 °C:n lämpötilassa on ± 2 %, voidaan sanoa, että kaikkien laattojen kosteudet ovat hyvin samanlaiset pienistä heitoista huolimatta. Varsinkin kaikki arviointisyvyydeltä mitatut arvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Laatat ovat siis kuivuneet keskenään hyvin tasaisesti.

Koska koelaattojen kosteudesta ensimmäisen kahdeksan viikon aikana ei ole luotettavia mittauksia, ei voida varmuudella sanoa, että laatat olisivat kuivuneet alkuaikana tasaisesti. Kuitenkin ensimmäisten (8 viikkoa valusta) porareikämenetelmä mittausten perusteella kaikkien laattojen kosteus on hyvin samaa luokkaa. Jos masuunihiekan päälle valetut laatat olisivat aluksi kuivuneet huomattavasti normaalin alapohjan päälle valettua laattaa nopeammin, se näkyisi myös 8 viikon päästä valuista tehdyissä mittauksista alhaisempina suhteellisina kosteuksina.

Koelaatat ovat kuivuneet hieman hitaammin kuin kuivumisaika-arvion mukaan voisi olettaa. Arvion mukaan laattojen suhteellinen kosteus olisi arviointisyvyydellä 90 % 9 viikon päästä jälkihoidon lopettamisesta, eli siitä kun laatat ovat alkaneet kuivua. Todellisuudessa laatat saavuttivat noin 90 %:n suhteellisen kosteuden 11,5 viikon päästä jälkihoidon lopettamisesta. Varsinkin masuunihiekan päälle valetut betonilaatat kuivuivat siis huomattavasti hitaammin kuin oli oletettu.

Kaikki laatat ovat kuivuneet juuri niin kuin maanvastainen yhteen suuntaan kuivuva laatta normaalisti kuivuu. Ne ovat siis kuivuneet pinnasta haihtumis-kuivumisen vaikutuksesta huomattavasti enemmän kuin syvemmältä. 6.4.2011 mitattujen arvojen perusteella laattojen suhteellinen kosteus on ollut pinnassa keskimäärin 15 % matalampi kuin laattojen keskellä. Taas betoni-laattojen keskellä suhteellinen kosteus on ollut noin 2,5 % matalampi kuin laattojen alapinnassa.

Masuunihiekan päälle valetut betonilaatat eivät ole juurikaan kuivuneet alapäin, toisin kuten kokeen alussa oletettiin, koska laatta on alapinnastaan kosteampi kuin keskeltä. Tämä johtuu siitä, että alapuolisen masuunihiekan suhteellinen kosteus oli 100 % eli sen huokoset olivat osittain täyttyneet vedellä ja hiekan kosteus oli kapillaarisella alueella. Tällöin masuunihiekkaan voi siirtyä kosteutta betoniin ainoastaan silloin, kun betonin suhteellinen kosteus on 100 %. Kosteutta voi siis siirtyä ainoastaan valun aikana ja joitain päiviä sen jälkeen. Tällöin kosteus siirtyy pääasiassa kapillaarisesti ja painovoimaisesti, mutta myös osittain diffuusion avulla. Kun masuunihiekan ja betonin kosteudet ovat tasoittuneet, toimii masuunihiekka ”puskuroivana” kosteuslähteenä laatan alla, josta siirtyy kosteutta betoniin diffuusion ja kapillaarisuuden avulla, eli se hidastaa laatan kuivumista.

Kuusi tuntia betonivalun jälkeen asennettaessa muovia jälkihoitoa varten huomattiin, että masuunihiekan päälle valettujen betonilaattojen pinnassa oli huomattavasti vähemmän vettä kuin XPS-eristeen päälle valetun betonilaatan. Tämän epäiltiin johtuvan siitä, että osa betonissa käytettävästä vedestä olisi valunut masuunihiekkaan. Valua seuraavana päivänä porattaessa reikiä betonilaattoihin jatkuva mittaus varten XPS-eristeen päälle valetun betonilaatan alimmaisista rei’istä tuli vettä, mutta masuunihiekan päälle valetuista ei. Myös tämä vahvistaa epäilyä, että ylimääräinen vesi betonista olisi valunut masuunihiekkaan valun yhteydessä ja hetki sen jälkeen. Myös Valion hallin lattiasta tehtyjen mittausten perusteella epäiltiin, että osa betonissa käytettävästä vedestä olisi valunut masuunihiekkaan.

Kokeessa masuunihiekan päälle valetut betonilaatat eivät kuivuneet lähes-

kään yhtä nopeasti kuin Valion hallin lattia. Kokeessa 150 mm vahvuisen laatan kuivuminen noin 90 %:n suhteelliseen kosteuteen kesti 11,5 viikkoa ja Valion halliin valetun vastaavan vahvuisen laatan kuivuminen 90 %:n suhteelliseen kosteuteen kesti vain noin 2 viikkoa. Ristiriidalle on vaikea keksiä selitystä, koska kokeessa betonilaatat olivat vähintäänkin yhtä edullisissa kuivumisolosuhteissa kuin Valion hallin lattia. Koehallin suhteellinen kosteus oli varmasti paljon pienempi kuin Valion hallin, mutta lämpötila saattoi olla hieman alhaisempi. Valion hallin lattiat hiottiin jälkihoitoaineesta ja sementtiliimasta, toisin kuin koelaattojen, koska niissä ei käytetty jälkihoitoainetta. Koelaattojen pintaan jäänyt sementtiliima on osaltaan voinut hidastaa kuivumista, mutta se ei kuitenkaan pysty selittämään suuria kuivumisaika eroja.

Oletettavasti Valion hallin lattiabetonin vedestä on jostain syystä siirtynyt huomattavasti suurempi määrä masuunihiekkaan kuin koelaattojen betoneista. Tällöin niiden vesi-sementtisuhde on laskenut huomattavan paljon valussa ja sen jälkeen betoni on kuivunut nopeasti kemiallisen sitoutumisen vuoksi. On vaikea sanoa, miksei samalla lailla tapahtunut kokeissa, vaikka niissäkin oli huomattavissa veden siirtymistä betonista masuunihiekkaan. Vesimäärään, jonka masuunihiekka pystyy itseensä betonista sitomaan, vaikuttaa olennaisesti masuunihiekan kosteus ennen valua.

Masuunihiekka säilötään Raahessa rautaruukin tehtaalla ulkokentillä, jossa niiden painoprosentti kosteutta seurataan. Kosteus on keskimäärin 9 - 12 % (Nikola 22.3.2011). Valion halliin käytetty masuunihiekka toimitettiin Ouluun rekoilla Raahen varastokentältä, jolloin sen painoprosentti kosteus on ollut luultavasti noin 9 - 12 %. Masuunihiekka oli hallissa pääasiassa sateen suojissa noin kuukauden ajan jolloin se on voinut hieman kuivua. Silti mitään suurta kuivumista en usko tapahtuneen niin suureessa masuunihiekkamäärässä yhden kuukauden aikana. Masuunihiekka on voinut kuivua pääasiassa täytön pinnasta. Kokeessa käytettävästä masuunihiekkatäytön yläosasta mitattiin ennen valua painoprosenttikosteudet 6,7 % ja 7,9 %, joten ainakaan heti valun alapuolella oleva hiekka ei ole ollut tavallista kosteampaa. Toisaalta masuunihiekka täytettiin koelaatikoihin suursäkeistä, joiden pohjalla oli myös huomattavasti kosteampaa hiekkaa, jota tuli myös täytön yläosaan.

Valion hallin betonilattian alapuolinen masuunihiekkatäyttö tehtiin kolmessa kerroksessa. Täytön alaosa tehtiin useampi viikko ennen valua ja aivan pintaosan täyttö muutama päivä ennen valua. Näin ollen pinnassa oleva masuunihiekka ei kerennyt vielä juurikaan sitoutumaan. Kokeessa masuunihiekkatäyttö tehtiin kolme viikkoa ennen valua, minkä vuoksi masuunihiekka kerkesi pääosin sitoutumaan. Sitoutumisella voi olla merkitystä veden määrään, joka siirtyy betonista masuunihiekkaan. Veden siirtymisen betonista masuunihiekkaan epäillään tapahtuvan painovoimaisesti ja kapillaarisesti masuunihiekan hyvän vedenläpäisevyyden ansiosta. Sitoutumisen ei pitäisi kuitenkaan huonontaa masuunihiekan vedenläpäisevyyttä, vaan päinvastoin lisätä sitä kolmen ensimmäisen sitoutumiskuukauden aikana (Mäkikyrö, 1997,9).

Oletettavasti masuunihiekan kosteudella ennen valua on suurin merkitys betonista masuunihiekkaan siirtyvän kosteuden määrään. Koska Valion hallin masuunihiekkatäytön kosteudesta ei ole mittauksia, se on voinut olla kuivempaa kuin kokeissa käytetty hiekka. Myös betonilaatu ja sen vesi-sementtisuhteet vaikuttavat asiaan. Valion hallin lattiassa käytetyssä betonissa oli enemmän sementtiä kuin koelaatoissa käytetyssä betonissa. Niiden vesi-sementtisuhteet olivat kuitenkin samanlaiset, mikä on oleellisin asia kuivumisen kannalta. Valion hallin lattiassa käytetyssä betonissa oli enemmän sementtiä runkoainekseen nähden kuin koelaatoissa käytetyssä betonissa, mutta se ei vaikuta nopeuttavasti betonin kuivumiseen vaan pikemminkin päinvastoin.

13 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako maanvastaisen betonilaatan alapuolinen masuunihiekkatäyttö nopeuttavasti laatan kuivumiseen. Asian tutkimista varten suoritettiin laboratorikokeita, joilla pyrittiin vertailemaan normaalin alapohjarakenteen ja masuunihiekkatäytön päälle valettujen betonilaattojen kuivumista. Koetuloksia vertailtiin työmaalla tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella maanvastainen betonilaatta oli kuivunut arvioitua nopeammin masuunihiekkatäytön päälle valettaessa.

Laboratorikokeita suoritettaessa kosteuden mittaus jatkuvan seurannan avulla osoittautui ongelmalliseksi. Alussa anturit näyttivät oikeita arvoja, mutta mittausten jatkuessa pidemmälle anturit eivät näyttäneet enää betonin todellista suhteellista kosteutta. Tämän vuoksi kokeessa jouduttiin turvautumaan pääosin porareikämenetelmällä mitattuihin arvoihin. Jatkuvan seurannan ongelmiksi osoittautuivat koe-olosuhteiden epätasainen lämpötila ja antureiden vaativat olosuhteet. Suhteellinen kosteus on riippuvainen lämpötilasta ja lämpötilan merkitys siihen korostuu erityisesti suhteellisen kosteuden ollessa korkea. Tämän vuoksi olisi koetilan lämpötilasta kannattanut tehdä tasainen mittausten onnistumisen ja luotettavuuden takaamiseksi.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen jatkuvana seurantana on vaativaa, koska anturit eivät tahdo kestää mittaolosuhteita. Kokeessa käytettävät mittaasanturit olivat korkeissa suhteellisissa kosteuksissa ja epäpuhtaissa olosuhteissa, mikä voi aiheuttaa antureiden vioittumisen. Mittalaite oli ensimmäistä kertaa käytössä, ja voi olla, että antureiden hyvästä laadusta huolimatta ne eivät olleet soveliaimmat betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen. Suoritettaessa mittausta jatkuvan seurannan avulla kannattaa lisäksi aina tehdä vertailtavia mittauksia esimerkiksi porareikä- tai näytepalamennetelmän avulla.

Toisin kuin aluksi oletettiin, laboratorikokeissa masuunihiekkatäytön päälle valetut betonilaatat eivät kuivuneet nopeammin kuin normaalin alapohjarakenteen päälle valetut betonilaatat. Yksi tähän vaikuttava asia oli ma-

suunihiekan oletettua suurempi suhteellinen kosteus. Kaikki koebetonilaatat kuivuivat hyvin tasaisesti hieman kuivumisarviota hitaammin. Työmaalla masuunihiekkatäytön päälle valetut betonilaatat olivat kuivuneet monta kertaa kuivumisarviota nopeammin. Työmaalta ja koetilanteista saatujen mittausten ristiriitaisuudelle on vaikea löytää selitystä.

Työmaalla tapahtuneen nopean kuivumisen arvioidaan johtuvan siitä, että betonimassan vesisementti suhde laskee huomattavasti valun aikana ja muutamina päivinä sen jälkeen. Tällöin betonin suhteellinen kosteus laskee nopeasti kemiallisen sitoutumisen myötä. Koska masuunihiekka on hyvin vetä läpäisevää, betonissa oleva ylimääräinen vesi voi siirtyä masuunihiekkaan painovoimaisesti ja kapillaarisesti. Myös masuunihiekassa tapahtuva sitoutuminen tarvitsee reaktioon vettä. Laboratoriokokeissa oli huomattavissa viitteitä veden siirtymisestä masuunihiekkaan, mutta silti betonilaatat eivät kuivuneet arvioitua nopeammin. Kokeissa huomattun irtoveden häipyminen nopeasti betonin pinnalta valettaessa masuunihiekan päälle nopeuttaa myös lattian tekijän pääsemistä hiertotyövaiheeseen.

Työmaalla tapahtunut nopea kuivuminen voi johtua myös muusta kuin betonilaatan alapuolisesta masuunihiekkatäytöstä, koska betonin kuivumiseen vaikuttaa todella moni tekijä. Niitä ovat esimerkiksi betonin koostumus, rakenteen paksuus ja kuivumis-suunnat, kuivumisolosuhteet sekä valun jälkeiset toimenpiteet. Syynä työmaalta mitattuihin alhaisiin kosteuksiin voi olla myös mittausvirhe, mitä pidän kuitenkin todella epätodennäköisenä. Tämä päätelmä siksi että laatoista on suoritettu monia mittauksia, joista kaikki antavat huomattavan alhaisia kosteuksia. Mittausten luotettavuutta lisää myös se, että ne on tehnyt alaan erikoistunut yritys luotettavalla mittauslaitteistolla.

Koetuloksista huolimatta epäilen, että betonilaatan alapuolisella masuunihiekkatäytöllä on vaikutusta betonin nopeaan kuivumiseen. Suurin vaikuttava tekijä masuunihiekkaan siirtyvän veden määrään on masuunihiekan kosteus ennen valua. Mielestäni asiaa kannattaisi tutkia erilaisen kosteuden omaavilla masuunihiekkatäytöillä. Tutkimuksia helpottaisi masuunihiekan tasapainokosteuskäyrän määrittäminen. Masuunihiekan kosteutta kannattaisi

mitata suhteellisena ja absoluuttisena kosteutena. Myös eri betonilaatujen ja masuunihiekan sitoutumistason vaikutusta kuivumiseen kannattaisi tarkastella.

Maanvastaisen betonilattian yleistä kosteusteknistä toimivuutta, valettaessa lattia masuunihiekkatäytön päälle tulisi myös tutkia tarkemmin. Tätä tulisi tutkia, koska tässä kokeessa laatan alapuolisesta masuunihiekasta saatiin suuria suhteellisia kosteuksia. Laatan alapuolinen kosteus voi siirtyä betoniin ja olla riski lattiapinnoitteelle ja sen kiinnitysmateriaaleille.

Jos betonin nopea kuivuminen voitaisiin toteuttaa normaalilla betonilla alapuolisen masuunihiekkatäytön avulla erikoisbetonien ja -valumenetelmien sijaan, säästettäisiin huomattavasti materiaali kustannuksissa. Myös työstettävyys normaalilla betonilla verrattuna nopeasti pinnoitettavaan betoniin on huomattavasti parempi.

LÄHTEET

Betonilattiat 2000. 2000. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Hiltunen, Aimo 1993. Masuunihiekan kemialliset ominaisuudet. Suomen kuonajaloste Oy.

Lehtoviita, Timo – Laine, Ensio – Sanna Alitalo 2004. Rakennusfysiikka rakennusinsinööreille:Kosteus. Rafnet.

Leivo, Virpi - Rantala, Jukka 2000. Julkaisu 106 Maanvaraisten alapohjarakenteiden kosteuskäyttäytyminen. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Leivo, Virpi - Rantala, Jukka 2002a. Julkaisu120 Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Leivo, Virpi - Rantala, Jukka 2002b. Julkaisu 121 Maanvastaiset alapohjarakenteen-kosteustekninen mitoittaminen ja korjaaminen. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Maa- ja tienrakennustuotteet, Masuunihiekka MaHk. 2006. Tuote-esite Rautaruukki Oyj.

Merikallio, Tarja 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Jyväskylä: Suomen betonitieto Oy.

Merikallio, Tarja 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Merikallio, Tarja – Niemi, Sami – Komonen, Juha 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Mäkikyrö, Marko 1997. Raahen ja Koverharin masuunihiekkojen tekniset ominaisuudet. Oulun yliopisto

Nikola, Sanna 2011. Kehityspäällikkö, Rautaruukki Oyj. Sähköpostiviesti 22.3.2011

Puhjo, Jesse 2008. Nopeasti pinnoitettava betoni. Helsinki: Helsingin ammattikorkeakoulu, rakennusosasto. Insinöörityö.

RT/KH 22–37610. 2008. Masuunihiekka Rautaruukki Oyj, Rakennustieto Oy.

RT 14–10675. 1998. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, Rakennustieto Oy.

Valion hallin betonilattian suhteelliset kosteudet 2010. Mittauspöytäkirja: Valio, Maikkula. Oulun kosteustutkimus.