

A decorative grid of colored squares surrounds the text. The top row consists of three dark gray squares: the first two are solid, and the third has rounded corners. The middle row has a solid orange square on the right. The bottom row consists of three dark gray squares: the first is solid, the second is solid orange, and the third has rounded corners.

# BETONIN KUIVUMISEN NOPEUTTAMINEN

**BETONINLÄMMITYSKAAPELIN AVULLA**



**LUKIJALLE**

# Betonivalun kuivumisen nopeuttaminen

”Kuinka nopeasti betonivalu kuivuu ja koska pääsen pinnoittamaan?” on useasti kuulemani kysymys rakennustyömailla. Olemme vuosia tutkineet ja kehittäneet talvibetonointiin liittyviä BET-lämmityskaapeleita ja asennustapoja. Työmailla vieraillessani ja työmaamestarien kanssa käydyissä keskusteluissa lähes aina tuli vastaan yllä oleva ongelma. Miten saadaan betonivalu kuivumaan nopeammin ja työmaa saadaan valmiiksi luvatussa aikataulussa.

Yleisesti on tiedossa, että betonin kosteudenhallinta ja betonirakenteiden kosteuden fysikaalisten ominaisuuksien vaikutusten mallintaminen betonin nopeampaan kuivatukseen ovat haastavia aihealueita. Halusin silti tutkia, onko mahdollista kehittää tuote ja työtapo, joilla tämä kuivumisen nopeuttamiseen liittyvä ongelma voitaisiin helposti ratkaista. Olisiko mahdollista tehdä yleinen ohjeistus ja suuntaa antava laskentamalli erilaisten betonivalujen nopeammille kuivumisajoille? Tämän selvittämiseksi hankkeeseen piti kerätä Suomen parhaat asiantuntijat yhdessä miettimään ja tutkimaan tähän vastausta.



Meillä Pistesarjoilla oli vuosien varrella kertynyt vankka kokemus lämmityskaapeleilla tapahtuvasta betonin lujuudenkehittymisen nopeuttamisesta talviolosuhteissa. Tämän kokemuksen perusteella meidän oli helpompi lähteä tekemään uutta tukimusta uskoen vahvasti uuteen visioomme. Teorian ja taustatutkimusten jälkeen aloitimme tutkimustyöt vuonna 2015 useilla erilaisilla kenttä- ja laboratoriotesteillä. Lupaavien kenttätutkimustulosten perusteella saimme mahdollisuuden jatkaa tutkimusta Tampereen Teknillisen Korkeakoulun diplomityöhön liittyvillä laboratoriotesteillä ja siitä johdannaisena tehdyillä tietokonemallinnuksilla. Näin saimme kolmen vuoden projektin jälkeen aikaiseksi tämän ohjevihkon, jossa kerromme mahdollisimman kattavasti, miten betoni voidaan kuivattaa BET-lämmityskaapeleita käyttämällä työmaolosuhteissa jopa yli 50 % nopeammin rikkomatta betonin rakenteita.

Ohjeistuksessa keskitymme pelkästään lämmityskaapeleilla tapahtuvaan betonin kuivumisen nopeuttamiseen sekä tällä menetelmällä tehtyihin ennuste- ja laskentamalleihin. Betoniteollisuudessa on olemassa useita erilaisia kemikaaleja, betonilaatuja ja työtapoja liittyen betonin kuivumisen nopeuttamiseen. Tässä ohjeistuksessa emme käsittele näitä aihealueita.

Näiden kolmen vuoden aikana tämä ohjeistuksen tekemisessä on ollut mukana auttamassa suuri joukko alan ammattilaisia. Haluan kiittää kaikkia mukana olleita henkilöitä ja yrityksiä: Tarja Merikallio ja Risto Mannonen (Betonin Yhdistys Ry), Sami Niemi, Pauli Sekki ja Timo Korkala (Vahanan Oy), Pentti Lumme (Rudus Oy), työmaamestarit Mika Lehtonen ja Risto Iirola (YIT Oyj) ja Pistesarjat Oy:n taustajoukkoja. Toivon että tämä ohjeistus auttaa työmaamestareita ja suunnittelijoita kuivempien betonivalujen tekemiseen nopeammassa aikataulussa. Vaikka rakennustyömaalla kiire on kova, niin annetaan silti betonille riittävä aika kuivua, kaapeleilla tai ilman.

Terveisin,

Heikki Hämäläinen, Pistesarjat Oy

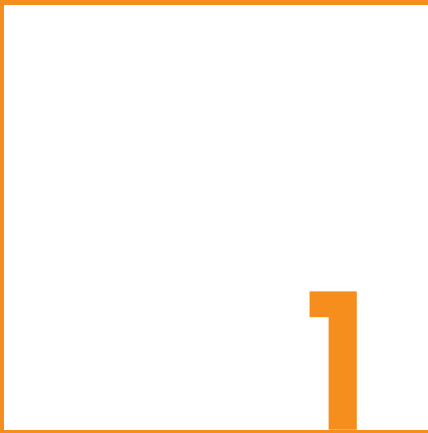






# SISÄLLYS

1 Kosteus betonissa ja betonirakenteiden kuivuminen .....	6
1.1 Yleistä .....	7
1.2 Rakennekosteus .....	8
1.2 Betonin kastuminen .....	9
1.3 Betonin kuivuminen .....	10
1.3.1 Betonin suhteellinen kosteus .....	10
1.3.2 Sitoutumiskuivuminen .....	11
1.3.3 Haihtumiskuivuminen .....	12
1.3.4 Rakennetyypin vaikutus kuivumiseen .....	13
1.3.5 Lämpötilan vaikutus betonin kuivumiseen .....	14
2 Lämmityskaapelit betonin kuivattamisessa .....	16
2.1 Yleistä .....	17
2.2 Betonin lämmityskaapelit .....	20
2.3 Betonin lämmityskaapeleilla tehdyt kokeet .....	22
2.3.1 Kohdekoee .....	22
2.3.2 Laboratoriokokeet ohuelle betonilaatalle .....	24
2.3.3 Laboratoriokokeet testilieriöille ja esimerkkirakenteiden simulointi .....	26
2.3.4 Johtopäätökset .....	30
3 Betonin lämmityskaapelien mitoitus ja käyttö .....	32
3.1 Lämmitystarpeen mitoitus ja asennuksen suunnittelu .....	33
3.3.1 Lämmitystehon määrittäminen .....	33
3.3.2 Asennussuunnitelma .....	33
3.3.3 Sähköistyksen riittävyys ja sähkön syötön varmistaminen .....	34
3.3.4 Kaapeleiden testaus ja varasuunnitelma .....	34
3.2 Asennus .....	35
3.2.1 Yleiset asennusohjeet .....	35
3.2.2 Sähkömääräykset .....	36
3.3 Lämmityksen aloittaminen .....	37
3.4 Riittävän kuivumisen varmistaminen .....	38
3.5 Virhetilanteet ja turvallisuus .....	39
4 Yhteenveto .....	40
5 Lähteet .....	42



# **KOSTEUS BETONISSA JA BETONIRAKENTEIDEN KUIVUMINEN**



## 1.1 Yleistä

---

Betonirakenteiden kuivumisella on pitkään ollut rakennusaikaa pidentävä vaikutus. Nykyään yhä kiristyvät rakennusajat, sekä rakenteisiin jäävän rakennusaikaisen kosteuden mahdollisesti aikaansaamat sisäilmaongelmat luovat kasvavan tarpeen betonin tehokkaammalle kuivatamiselle.

Tässä ohjeessa kerrotaan, mitkä tekijät vaikuttavat betonin kuivumiseen ja miten kuivumista voidaan edesauttaa erityisesti betoninlämmityskaapeleiden avulla. Alkuosan yleistieto betonin kuivumisesta ja kuvat 1–4 on koottu pääosin Betonitiedon sekä Lattian- ja Seinänpäällysteliiton julkaisusta *Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen 2007*.

## 1.2 Rakennekosteus

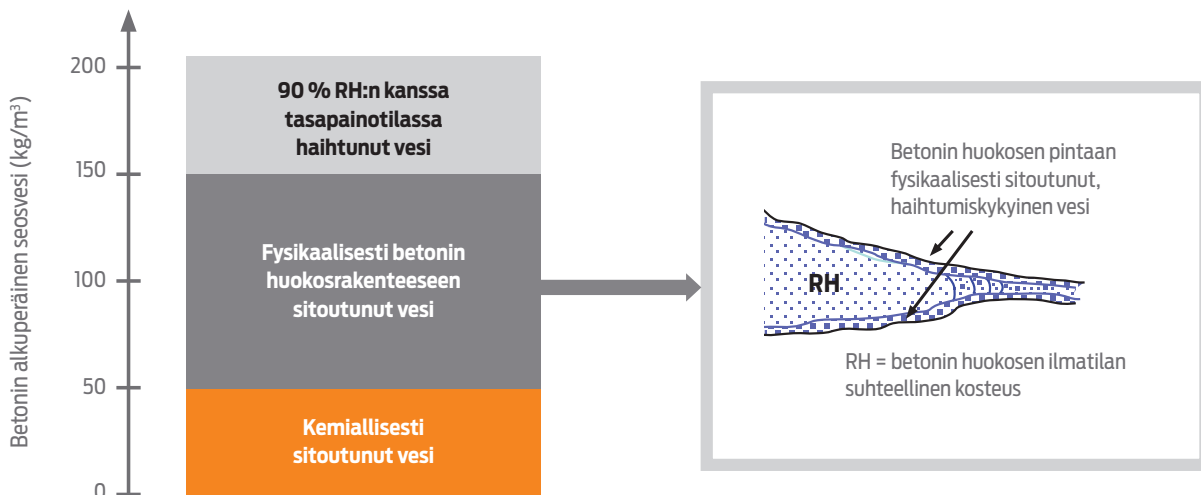
Betoni sisältää aina jonkin verran kosteutta, joka on peräisin betonin valmistamiseen käytetystä vedestä tai rakenteen valun jälkeisestä kastumisesta. Veden tehtävänä betonia valmistettaessa on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo kiviainekset toisiinsa ja muodostaa lujan lopputuotteen. Vesimäärällä voidaan vaikuttaa myös betonimassan työstettävyyteen, mikä on osaltaan tärkeä ominaisuus valun onnistumisen kannalta.

Osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti reagoidessaan sementin kanssa betonin kovettuessa. Kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on kuitenkin vain noin 20 painoprosenttia sementin massasta. Esimerkiksi kuvan 1 mukaisesti, jos normaalin lattiabetonin valmistamiseen käytetään  $200 \text{ kg/m}^3$  vettä ja  $250 \text{ kg/m}^3$  sementtiä, alkuperäisestä vesimäärästä vain noin  $50 \text{ kg/m}^3$  sitoutuu kemiallisesti. Loppu vesi, tässä esimerkkitapauksessa  $150 \text{ kg/m}^3$ , sitoutuu betonin huokosrakenteeseen fyysikaalisesti. Kyseistä vesimäärää kutsutaan myös haihtumiskykyiseksi vedeksi.

Betonin haihtumiskykyinen vesi poistuu rakenteesta seuraavien kuukausien tai jopa vuosien kuluessa beto-

nin kosteuspitoisuuden pyrkiessä tasaantumaan samalle tasolle ympäröivän ilman ja/tai betoniin kosketuksissa olevan rakenteen kosteuspitoisuuden kanssa. Huonoissa kuivumisolosuhteissa, kun ympäristön suhteellinen kosteus on korkea, betoni ei kuivu käytännössä lainkaan. Kyseinen tilanne vallitsee rakennustyömailla esimerkiksi syksyisin, kun ulkoilman suhteellinen kosteus on luokkaa 90...100 % RH. Tämän takia betonin kuivumiseen ja kuivumisolosuhteisiin on syytä kiinnittää huomiota. Esimerkiksi pyrittäessä kuivattamaan betoni 90 % RH:iin, tulee haihtumiskykyisestä vedestä kuivattaa n.  $50 \text{ kg/m}^3$ .

Betoniin voi joutua kosteutta myös rakennusvaiheen aikana kastumisen seurauksena. Tätä rakennuksen käytönaikeisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta kutsutaan rakennuskosteudeksi. Esimerkiksi kosteusherkillä materiaaleilla päällystettävät betonirakenteet tulee kuivattaa vaadittuun rakenteen kosteuspitoisuuteen ennen päällystämistä.



Kuva 1. Havainnekuva kemiallisesti ja fyysikaalisesti sitoutuneen veden suhteista esimerkkinä betonissa. Vain osa alkuperäisestä vedestä tarvitaan betonin hydrataatioon (lujuuden kehitykseen). (Merikallio 2007.)



## 1.3 Betonin kastuminen

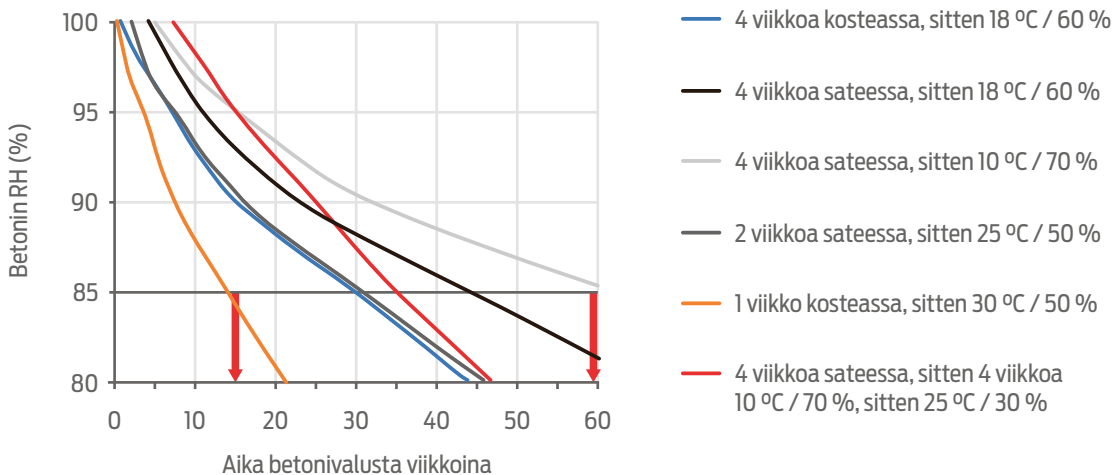
Rakennustyömaan olosuhteet vaihtelevat laajalti. Betonilaatta saattaa joutua valun jälkeen olemaan useita viikkoja kylmässä ja kosteassa ympäristössä, pahimmassa tapauksessa vesisateessa. Niin kauan kuin betoni on kosteissa ja kylmissä olosuhteissa, haihtumiskuivumista ei käytännössä tapahdu. Erittäin kylmissä olosuhteissa edes hydrataatio ei käynnisty kunnolla ja betoniin ei kehity tavoiteltuja lujuusominaisuuksia (talvibetonointi).

Betonin kastuminen hidastaa kuivumista merkittävästi. Mitä myöhemmässä vaiheessa betoniin pääsee ylimääräistä kosteutta, sitä hitaammin tämä kosteus betonista poistuu. Valuvaiheessa betonin huokokset ovat vielä lähes täynnä vettä eivätkä ne siten pysty vastaanottamaan

lisää kosteutta, mutta jo muutaman viikon päästä valusta tapahtuneella kastumisella on merkittävä vaikutus kuivumisaikoihin.

Hydrataation (kovettumisen) edetessä betonin huokosrakenne tiivistyy – ei riittävästi estääkseen veden pääsyä rakenteeseen, mutta vaikeuttaakseen kosteuden poistumista. **Pahimmassa tapauksessa esimerkiksi neljän viikon runsassateinen jakso kasvattaa normaalibetonista tehdyn massiivisen välipohjan kuivumisaikaa jopa parilla kymmenellä viikolla.** Vesivahingossa täysin kastuneen vanhan betonin kuivumisaika voi olla selvästi pidempi kuin tuoreen betonin.

### Paikallavalettu massiivinen tb-välipohja 250 mm. Betonin v/s 0,7. Kuivumisaikoja eri olosuhteissa.



Kuva 2. Kuivumisolosuhteiden vaikutus kuivumisaikaan. Betonin kastuminen sekä huonot kuivumisolosuhteet pidentävät merkittävästi kuivumisaikaa. Erityisesti alhaisissa lämpötiloissa kuivumisaikat ovat hyvin pitkiä. (Merikallio 2015.)

# 1.4 Betonin kuivuminen

## 1.4.1 BETONIN SUHTEELLINEN KOSTEUS

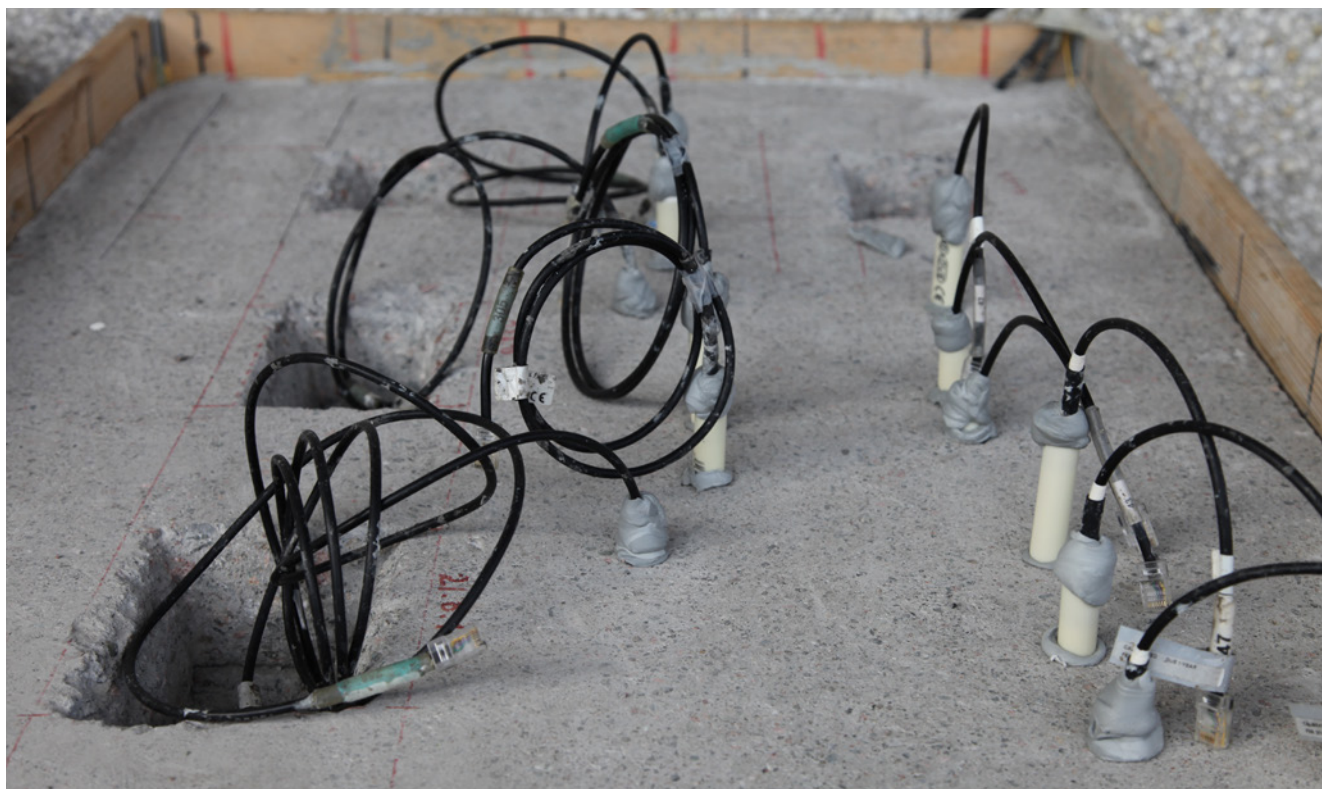
Yleensä betonialustalle sallitun kosteuspitoisuuden maksimiarvon määrää sille asennettava lattiapäällyste tai muu betonin päälle tuleva rakennekerros. Tämä maksimiarvo määrittelee betonin kuivumistarpeen. Betonin kosteus voidaan esittää useilla tavoilla, joista yleisimmin käytetty on suhteellinen kosteus (% RH). Betonin huokosten ilmatilassa oleva kosteus sekä betonin huokosen pintaan fysikaalisesti sitoutunut kosteus muodostavat yhdessä betonin kosteussisällön  $W$ , joka voidaan ilmoittaa kilogrammoina betonikuutiota kohden ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Betonin kosteuspitoisuus voidaan ilmoittaa myös painoprosentteina (p-%) eli kuinka monta prosenttia betonin kuivapainosta on vettä.

Betonin suhteellisella kosteudella tarkoitetaan betonin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Suhteellinen kosteus ei suoraan kerro, miten paljon ( $\text{kg}/\text{betoni-m}^3$ ) betonissa on kosteutta. Suhteellisen kosteuden lisäksi betonihuokosten seinämiin on sitoutunut fysikaalisesti eli adsorboitunut vesimolekyylejä. Adsorptiovoimien sitoman kosteuden määrä riippuu huokostilan ominais-

pinta-alasta. Pienet huokokset voivat olla vielä täynnä vettä, vaikka suurten huokosten ja siten betonin ilman-kosteus on 90 % RH.

Betonin suhteellisen kosteuden (% RH) ja kosteussisällön ( $\text{kg}/\text{m}^3$  tai p-%) välille on lähes mahdotonta luoda täysin luotettavaa korrelaatiota, koska edellä mainittujen suureiden suhteet vaihtelevat merkittävästi eri betonilaatujen välillä. **Jos betonin kosteus on mitattu esimerkiksi painoprosentteina, kosteusarvoa ei tule muuttaa esimerkiksi päällystettävyyttä arvioitaessa minkään käyrän tai taulukon avulla suhteelliseksi kosteudeksi eikä myöskään päinvastoin.** Jos siis vaikkapa päällystysraja-arvo on annettu suhteellisena kosteuspitoisuutena, pitää mitata suhteellista kosteuspitoisuutta.

**Betonin kosteutta arvioidaan ja mitataan käytännössä lähes aina suhteellisena kosteuspitoisuutena.** Betonin suhteellinen kosteus voidaan selvittää luotettavasti esimerkiksi porareikä- tai näytepalamenetelmällä.



## 1.4.2 SITOUTUMISKUIVUMINEN

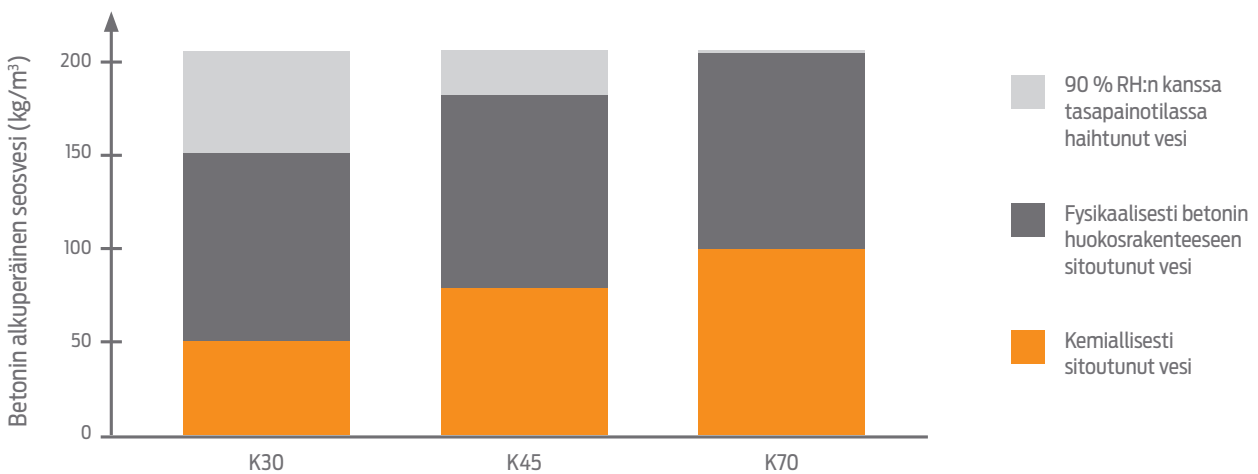
Mitä enemmän betonissa on sementtiä, sitä suurempi on sitoutumiskuiyumisen osuus. Esimerkiksi joidenkin erikoisbetonien nopea kuivuminen perustuu pääosin suuren sementtimäärän aiheuttamaan sitoutumiskuiyumiseen. Tässä tapauksessa puhutaankin usein itsestään kuivumisesta.

Tuoreen tai kastuneen betonin suhteellinen kosteus on 100 % RH. Betonimassan kovettuessa osa betonin valmistamiseen käytettävästä vedestä sitoutuu hydrataation seurauksena, jolloin suhteellinen kosteus laskee. Kovettumisreaktion (hydrataatio) seurauksena suhteellinen kosteus betonin huokosrakenteessa on yleensä 90–98 % RH betonilaadusta riippuen. Kovettumisen jälkeen betoniin jää vielä ylimääräistä kosteutta, joka ajan kuluessa haihtuu betonin saavuttaessa tasapainokosteuden ympäristön kanssa (esim. 50–60 % RH). Normaalin rakennebetonin suhteellinen kosteuspitoisuus laskee hydrataation seurauksena noin 98 % RH, olettaen, ettei rakenne pääse kastumaan lainkaan valun jälkeen.

Betonin ominaisuudet, lähinnä vesisideainesuhde ja huokosrakenne, vaikuttavat siihen, miten betoni sitoo kosteutta.

Kun verrataan kahta eri betonilaatua, joiden valmistamiseen käytetään sama määrä vettä, mutta sementtimäärässä on eroa, kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on suurempi betonissa, jossa sementtimäärä on suurempi. Tällöin myös haihdutettavan veden määrä on pienempi pyrittäessä tiettyyn kosteuteen. Kuvassa 3 on havainnollistettu eri lujuusluokkien betonien seosveden jakautumista kemiallisesti ja fysikaalisesti sitoutuvaan veteen betonin lujittumisen jälkeen.

Alhaisempi vesisementtisuhte edesauttaa betonin kuivumista alkuvaiheessa ja esimerkiksi päällystysvaatimukset saatetaan saavuttaa jopa ilman haihtumiskuivatusta. Matala vesisementtisuhte kuitenkin heikentää betonin työstettävyyttä merkittävästi, koska betonimassa on hyvin jäykkää. Korkea sementtimäärä lisää myös betonin kutistumaa, joka saattaa aiheuttaa rakenteen epätoivottua halkeilua ja ohuiden teräsbetonilaattojen kaareutumista. Matalan vesisementtisuhteen betonien vesihöyrynläpäisevyys ja kapilaarinen kosteuden siirtyminen kehittyvät betonin hydratoituessa yleensä pienemmäksi kuin korkean vesisementtisuhteen betoneilla. Pienempi vesihöyrynläpäisevyys ja kapilaarisuus hidastavat haihtumiskuiyumista.



Kuva 3. Betonin kovettuessa osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti. Valtaosa sitoutumisesta tapahtuu muutamassa päivässä. Betonin haihtumiskykyisen veden määrä riippuu pitkälti sen sementtimäärästä. Korkean lujuusluokan betoni saattaa kuivua 90 % RH:n kosteuteen pelkällä kemiallisella kuivumisella. (Merikallio 2007.)



---

### 1.4.3 HAIHTUMISKUIVUMINEN

Betonin haihtumiskuiyuminen alkaa vasta kun muotit on purettu ja jälkihoito lopetettu. Usein betonirakenteet vaativat huolellisen, vähintään viikon kestävän jälkihoidon. Jälkihoito varmistaa betonin suunnitellun lujuudenkehittymisen ja vähentää kutistuman aiheuttamaa halkeilua. Yleinen jälkihoitotapa on pitää betonirakenteen pinta kosteana jälkihoidon ajan.

Haihtumiskuiyumiseen vaikuttavat merkittävästi betonin koostumus, rakenteen paksuus ja rakennetta ympäröivät olosuhteet (lämpötila ja ympäristön kosteus). Betonin koostumus vaikuttaa siihen, miten paljon kosteutta pitää poistua (haihdutettava vesimäärä) ja miten helposti kosteus pääsee siirtymään rakenteen pintaan, josta se poistuu (tiiviyys).

Huokoisena materiaalina betoni pystyy myös imemään itseensä kosteutta sekä hygroskooppisesti että kapillaarisesti, mikäli betonia ympäröivä kosteuspitoisuus (RH) on betonin suhteellista kosteutta korkeampi tai betoni on kosketuksissa vapaaseen veteen. Betonin suhteellinen kosteus pyrkii aina tasoittumaan betonia ympäröivän ilman kanssa. Koko betonin kuivatusjakson ajan onkin tärkeää ylläpitää hyviä kuivumisolosuhteita yllä betonirakenteen kuivumisen tehostamiseksi.

Yleisesti rakennekerroksen kuivuminen jakautuu kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa rakenteesta poistuu kosteutta kapillaarisesti ja diffuusiolla, jolloin kuivumista rajoittaa pinnasta haihtuva kosteus. Kapillaarista siirtymistä tapahtuu, mikäli rakenteen kosteus on hyvin korkea (yli 97 % RH). Kun rakenteen pintaosa kuivuu

hygroskooppiselle alueelle, rakenteen kuivumista rajoittaa kosteuden siirtyminen rakenteen sisältä rakenteen pintaan. Hygroskooppisella alueella kosteus siirtyy rakenteen sisällä vain diffuusiolla. Kuivumisen viimeisessä vaiheessa rakenteen pinta on kuivunut ympäröivää ilmaa vastaavaan kosteuteen, mutta rakenteen sisältä siirtyy yhä kosteutta diffuusiolla, joka edelleen haihtuu pinnasta. Kuivumisnopeus riippuu kahdessa viimeisessä vaiheessa vahvasti rakenteen vesihöyrynvastuksesta. Kosteuden siirtyminen diffuusiolla on erittäin hidasta verrattuna kapillaariseen siirtymiseen ja yleensä pinnan kykyyn haihduttaa kosteutta. Rakenteen pinnan kykyyn haihduttaa kosteutta vaikuttaa merkittävästi ulkopuolen lämpötila ja kosteuspitoisuus.

Mitä alhaisempi betonin vesisementtisuhde on eli mitä tiiviimpää betoni on, sitä hitaammin se läpäisee vesihöyryä. Betonin tiiviyys vaikuttaa merkittävästi myös kapillaariseen kosteuden siirtymiseen. Betonin kosteuspitoisuuden nousu puolestaan lisää vesihöyrynläpäisevyyttä eli mitä kuivempaa betoni on, sitä hitaammin siinä kosteutta siirtyy.

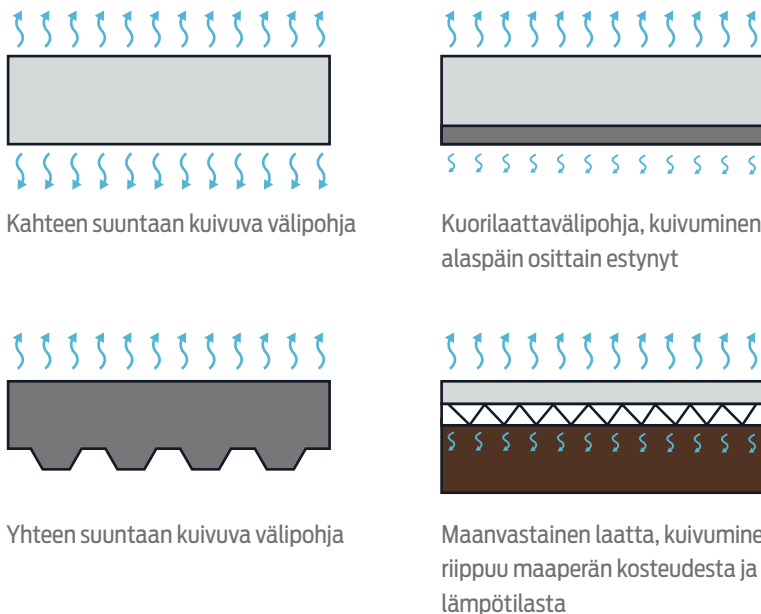
Betonin kuivumisen voidaan olettaa alkavan vasta siinä vaiheessa, kun lisäkosteuden pääsy rakenteeseen on estetty ja rakenteen ympärillä on riittävän alhainen suhteellinen kosteus – eli käytännössä yleensä, kun vesikatto on valmis, ikkunat asennettu ja lämmitys aloitettu. Ulkopuolisten tekijöiden ollessa kuivumiselle suotuisat betonin kuivumista rajoittaa kosteuden siirtyminen betonirakenteen sisältä haihduttavaan pintaan.

## 1.4.4 RAKENNETYYPIN VAIKUTUS KUIVUMISEEN

Rakennusaikana betonirakenteen ei tarvitse kuivua tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa, vaan tavoitekosteuden asettavat päällyste- ja pinnoitemateriaalit. Useimmat päällystemateriaalit edellyttävät, että alustana olevan betonin kosteus on enintään 80–90 % RH. Päällystettävyyden vaatimuksena oleva tietty betonin suhteellisen kosteuden arvo ei kuitenkaan tarkoita sitä, että betonirakenteen tulisi kuivua vaadittuun kosteusarvoon läpikotaisin, vaan riittää, kun kyseinen kosteusarvo on alitettu rakenteen paksuudesta riippuvaisella arviointisyvyydellä (A). Arviointisyvyys valitaan muun muassa rakenteen paksuuden ja tutkittavan rakennetyypin mukaan, esimerkiksi kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa arviointisyvyys on pienempi kuin vastaavan paksuisessa maanvastaisessa laattassa. Siihen, miten nopeasti betonirakenne tämän raja-arvon alittaa, vaikuttavat mm.

betonilaatu, rakenteen paksuus ja kuivumissuunnat sekä erityisesti kuivumisolosuhteet.

Rakennepaksuuden kasvattaminen hidastaa kuivumista merkittävästi. Mitä paksumpi rakenne on, sitä pidemmän matkaa kosteus joutuu siirtymään päästäkseen haihtumiskykyiseen pintaan. **Jos rakennepaksuus kaksinkertaistuu tai kuivuminen toiseen suuntaan on estetty, kuivumisaika voi olosuhteista riippuen kasvaa jopa nelinkertaiseksi.** Liittolevyrakenteissa ja muovin päälle valettaessa kuivumista pääsee tapahtumaan vain yhteen suuntaan. Kuorilaattarakenteissa ja ontelolaatan päälle valetuissa pintalattioissa kuivuminen alaspäin on yleensä ylöspäin tapahtuvaa kuivumista hitaampaa. Pintavalujen alaspäin kuivumiseen vaikuttaa merkittävästi myös runkolaatan kosteuspitoisuus.



Kuva 4. Rakenteen tyyppi, kerroksellisuus ja paksuus vaikuttavat siihen, miten nopeasti kosteus kulkeutuu rakenteen sisältä haihduttavaan pintaan. Mitä pidemmän matkaa kosteus joutuu siirtymään betonissa, sitä hitaammin rakenne kuivuu. (Merikallio 2007.)

---

## 1.4.5 LÄMPÖTILAN VAIKUTUS BETONIN KUIVUMISEEN

Aiemmin todettiin kosteuden siirtymisen vesihöyrynä vaikuttavan merkittävästi kuivumisnopeuteen. Betonin vesihöyrynläpäisevyyteen ja betonin kosteudensiirtymisominaisuuksiin vaikuttavat mm. betonilaatu, betonin kosteus ja betonin lämpötila. Usein betonin ominaisuuksien, kuten vesisementtisuhteen muuttaminen ei ole mahdollista heikentämättä betonin työstettävyyttä tai sopivuutta rakenteeseen.

Lämpötilan nousu nostaa betonin huokosten ilmatilan vesihöyrynpainetta ja siten tehostaa kosteuden siirtymistä. Lämpötilan vaikutusta betonin kuivumiseen on käytössä olevissa arviointimalleissa otettu huomioon erilaisten kertoimien avulla. Esimerkiksi kirjassa *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi* (Merikallio 2015) lämpötilan nosto 10 °C:sta 30 °C:een puolittaa kuivumisajan lähes kaikilla arvioitavilla rakenteilla, mikäli ympäröivän ilman RH on riittävän alhainen. **Tehokkain tapa tehostaa kosteuden siirtymistä betonirakenteen sisältä betonin pintaan onkin nimenomaan nostaa betonin lämpötilaa sisältä päin lämmitettynä.**

Loppukesästä ja alkusyksystä ilman lämpötila on otollinen betonin kuivumiselle, mutta säiden ollessa lämpimät ja sateiset, on myös ilman suhteellinen kosteuspitoisuus korkea. Tällöin korkeasta ulkolämpötilasta huolimatta betoni kuivuu hitaasti. Betonin lämpötilaa nostettaessa betonin ja ympäröivän ilman lämpötilaero tehostaa betonin kuivumista. Betonin tehokas kuivuminen vaatii siis eritystoimenpiteitä vuodenajasta riippumatta. Mikäli ulkoilman suhteellinen kosteus on korkea, esimerkiksi kesäisin voidaan kuivumista tehostaa lämmittämällä betonirakennetta ympäröivää ilmaa lämpimämmäksi tai kuivaamalla ympäröivää ilmaa esimerkiksi tilakuivaimilla.







2

# LÄMMITYSKAAPELIT BETONIN KUIVATTAMISESSA

## 2.1 Yleistä

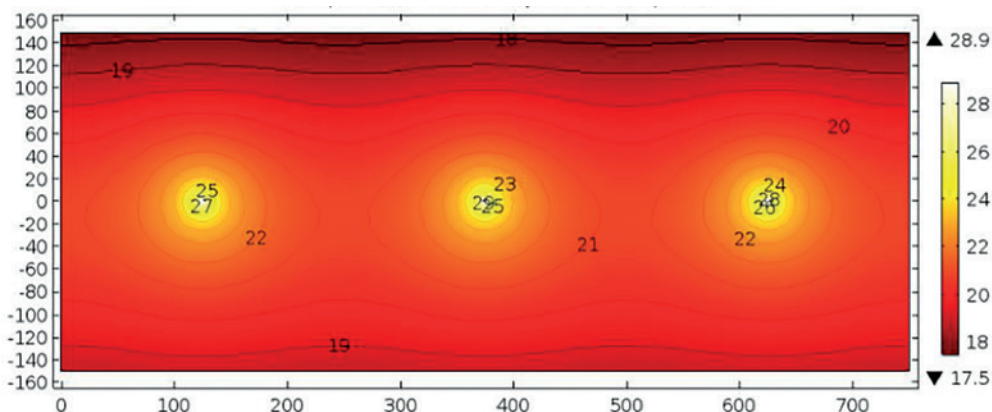
Betonin lämmityskaapeleita käytetään etenkin talvivaluissa rakenneosan lämmityksessä (ks. *Betoni, Lämmittäminen talvivaluissa*, Pistesarjat 2011) ja hydrataation (lujuudenkehityksen) varmistamisessa. Samoja betonin lämmityskaapeleita voidaan hyödyntää myös betonin kuivumisen tehostamisessa. Etenkin kriittisissä tai haastavissa kohteissa betoninlämmityskaapeleita voidaan käyttää pelkän kuivumisen tehostamisessa. Kaapeleita voidaan hyödyntää esimerkiksi aikataulussa pysymisen varmistamiseksi tai tavoiteltaessa nopeampaa betonin kuivumista ja päällystettävyyttä.

### Betonin lämmityskaapelin etuja ovat mm.

- Tehostaa betonin kuivumista
- Nopeuttaa muottikiertoa
- Mahdollistaa nopeamman rakennusaikataulun
- Nopeuttaa ja helpottaa kylmänä aikana tapahtuvaa valuprosessia sekä estää rakenteita jäätymästä
- Kustannustehokas ja helposti asennettava tuote
- Asennuksen voivat tehdä myös rakennusliikkeen omat työmiehet

Betonin lämmityskaapeli on vastuskaapeli, joka nostaa rakenneosan lämpötilaa kaapelin läheisyydessä noin 20 °C ympäröivän ilman lämpötilaa korkeammaksi. Kaapelit asennetaan betonivalun sisään, jolloin lämmitysteho kohdistuu suoraan kuivatettavaan rakenneosaan. Kaapeleiden kiinnityksessä voidaan hyödyntää betonirakenteen raudoitusta. Lämmityskaapeleiden kytkeminen sähköverkkoon tapahtuu valovirtapistotulpalla, joka nopeuttaa kaapeleiden asennus- ja käyttöönottoaikaa.

Betonin lämmityskaapeleiden avulla rakennetta voidaan lämmittää rakenteen sisältäpäin, joka tehostaa kosteuden siirtymistä pois rakenteesta. Esimerkiksi vain yhteen suuntaan kuivuvaa liittolaattaa kuivattaessa kuivuminen tehostuu merkittävästi, mikäli rakennetta voidaan lämmittää läheltä liittolevyn pintaa. Lämmityskaapeleilla voidaan ratkaista muidenkin liittorakenteiden kuivumisongelmia. Kuvassa 5 on esitetty mallinnus 320 mm betonirakenteen lämpötilasta, kun valun puoliväliin on asennettu betonin lämmityskaapelit 250 mm välein. Valun keskelle asennetut kaapelit ovat optimaalinen tapa tehostaa kahteen suuntaan kuivuvan massiivisen rakenteen kuivumista.



Kuva 5. Betonirakenteen kuivattaminen rakenteen sisältäpäin on tehokas tapa nopeuttaa rakentamisaikataulua. Kuvassa mallinnusohjelmalla laskettu 320 mm paksun betonivälipohjan lämpötilajakauma. Kuivatuskaapelit on asennettu pystysuunnassa rakenteen puoleenväliin. Betonirakenteen lämpötilajakauma riippuu kaapelin lämmitystehosta, kaapelin asennusvälistä ja sijoituksesta rakenteessa.



---

Rakenteiden lämmittäminen rakenteiden sisältä mahdollistaa kuivattavan rakenneosan korkean lämpötilan ilman että rakennetta ympäröivää työmaata tarvitsee lämmittää liiallisesti. Perinteisesti kuivattavaa rakennetta lämmitetään lämmittämällä ympäröivää ilmaa, jolloin rakenteen lämmittäminen yli 20 °C on usein haastavaa ja työtekniikan syiden takia mahdotonta. Betonin lämmityskaapeleiden avulla kuivattavan rakenteen lämpötilaa saadaan nostettua kuivumisen kannalta optimaalisen korkeaksi kuitenkin lämmittämättä tarpeettomasti työmaata liian lämpimäksi. Betonin lämmityskaapeleista lämpö tuodaan suoraan sinne missä siitä on hyötyä. Esimerkiksi kaasutoiminen lämmityspuhallin lämmittää koko rakennuksen ilmatilaa, josta lämpöä pääsee helposti epätiivisiin vaipan kautta karkaamaan.

Betonirakenteiden sisäiseen lämmitykseen on olemassa rajallinen määrä ratkaisuja, jotka perustuvat pääsääntöisesti saman lämmitysjärjestelmän käyttöön myöhemmin rakennuksen lämmityksessä. Betonin lämmityskaapelit mahdollistavat rakenteiden helpon työnaikaisen lämmityksen rakennuksen käytönaikaisesta lämmitysjärjestelmästä riippumatta.

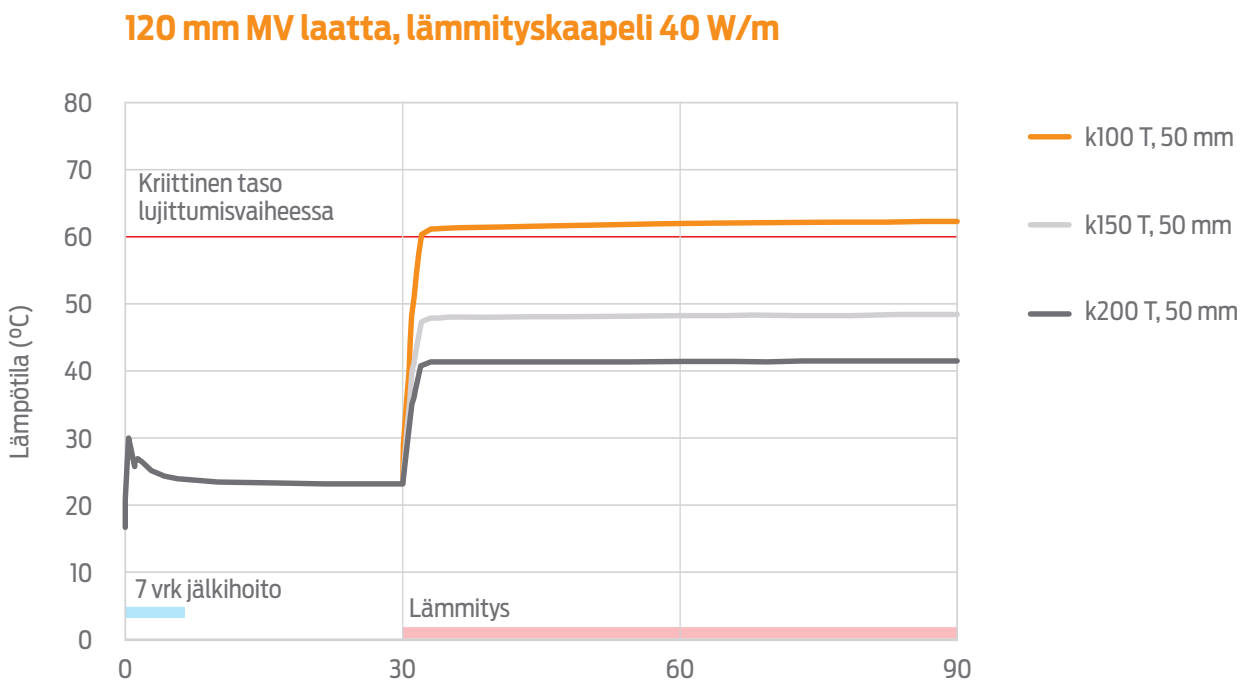
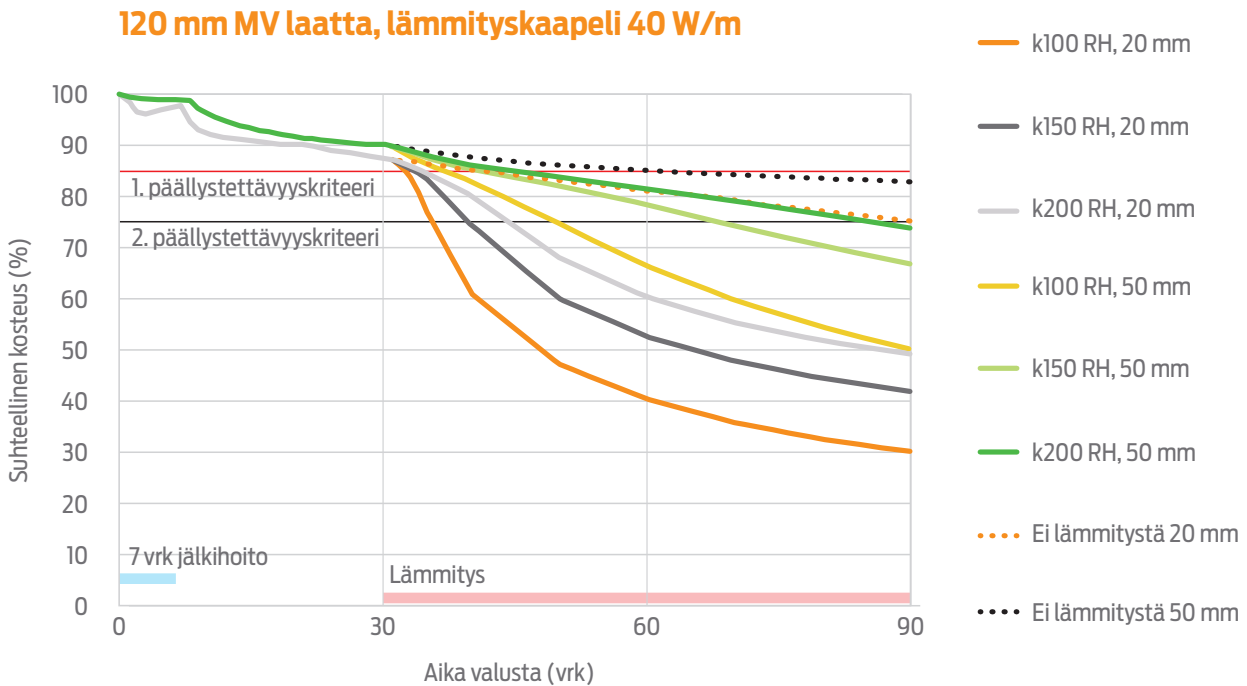
Erityisesti talvella betonin kuivuminen tehostuu merkittävästi pelkkää rakennetta lämmittämällä, koska rakennetta ympäröivän ilman kosteuspitoisuus on hyvin alhainen. Rakenteiden lämmittäminen on hyvin tehokasta kuivattavan rakenteen sisään asennetulla kaapelilla, koska kosteuden siirtyminen betonirakenteen sisältä pintaan on betonin kuivumista rajoittava tekijä ja lämmittämäl-

lä rakennetta pystytään kosteuden siirtymistä rakenteen sisäosista pintaan nopeuttamaan. Lämmityksen lisäksi on huolehdittava riittävästä ilmanvaihdosta, jotta betonista haihtuva kosteus saadaan siirrettyä rakennuksen ulkopuolelle.

Betoninlämmityskaapeleiden kuivattavaa vaikutusta ja kuivatuksen tehoa on selvitetty testivalujen avulla, joissa betonin kuivumista mitattiin valvotuissa olosuhteissa. Lisäksi työmaaolosuhteissa verrattiin kaapelilla ja ilman kaapeleita olevan rakenteen kuivumista toisiinsa. *Kuvassa 6 on rakennusfysiikan laskentaohjelmistolla simuloitu lämmitettyjen ja lämmittämättömän betonirakenteen kuivumista.*

Kuivattavien rakenteiden lämmittämällä voidaan lyhentää kuivumisaikaa jopa kymmeniä viikkoja. **Säästö rakennusajassa tarkoittaa yleensä suoraa säästöä rakennuskustannuksissa, toisaalta viivästyksistä ja rakennusajan venyminen lisäävät kustannuksia ja saattavat johtaa myös sakkoihin.** (Merikallio 2015.)

Lattiapäällystysten viivästyminen betonin oletettua hitaamman kuivumisen vuoksi nostaa rakennushankkeen kustannuksia merkittävästi. Päällystysten viivästyessä 20 työvuorokautta on rakennushankkeen kustannusten arvioitu nousevan 0,5 %. Tavanomaisessa hankkeessa viivästyminen lisää kustannuksia kymmeniä tuhansia euroja. Vastaavasti kuivumisaikaa lyhentämällä voidaan aikaan saada säästöjä rakennushankkeen käyttö- ja yleiskuluisa. (Merikallio 2009.)



Kuva 6. Betonin lämmityksen laskennallinen vaikutus maanvastaisen laatan kuivumiseen. Oikealla on esitetty lankajaoon vaikutus kuivumiseen. Tarkastelu on lankojen väliltä päällystettävyyden arviointisyvyyksiltä. Tarkastelussa ollaan varmallä puolella, kun kuivumisaikaa arvioidaan 1. päällystettävyysskriteerin perusteella. Vasemmalla on esitetty lämpötila lankojen välillä. Lämpötila lämmityslangan välittömässä läheisyydessä on noin 10 °C korkeampi kuin tarkastelupisteessä. Huomattava, että käytettäessä liian tiheää jakoa, voi rakenteen lämpötila nousta haitallisen korkeaksi.

## 2.2 Betonin lämmityskaapelit

Käytetty lämmityskaapeli on tyypiltään kaksijohdinlämpökaapeli. Kaapelissa on 2 metriä pitkä kuminen liitosjohto pistotulpalla. Kaapelin lämmitysteho on 40 W/m ja se kytketään tavallisella pistotulpalla pistorasiaan. Kaapeleita on useaa eri vakiopituutta, 3,3 metristä aina 85 metriin asti.

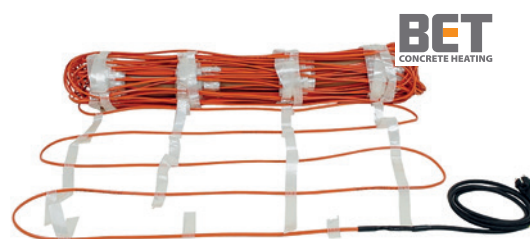
KAAPELITYYPPI	PITUUS (m)	TEHO (W)	KATETTU ALUE (m <sup>2</sup> ) 20 cm:n kaapelijaolla	Ohm / m
Bet 3.3/130	3,3	130	0,66	122,5
Bet 10/380	10	380	2	14,02
Bet 20/735	20	735	4	3,58
Bet 35/1400	35	1400	7	1,04
Bet 55/2200	55	2200	11	0,437
Bet 85/3200	85	3200	17	0,196



BET



BET Eco



BET Matto

Kuva 7. Vasemmalla betonin lämmityskaapelit (BET sekä Bet Eco) ja oikealla kaapelista tehty asennusmatto.



---

Normaalin BET-kaapelin lisäksi markkinoilla on saatavilla myös kaapeli (BET Eco), jossa lämpötilan nousu on rajoitettu +30 °C. Kaapeleita on saatavissa myös valmiiksi maton muotoon tehtynä. Mattojen koot ovat 5, 8, 9,2 ja 14,2 m<sup>2</sup> (matot on tehty 20 cm kaapelijaolla).

Betoninlämmityskaapeleita käytettäessä tulee huomioida kaapeleiden merkittävä sähkönkulutus ja tehon tarve. Sähkön riittävyys tulee huomioida jo kaapelien käyttöä suunniteltaessa. Kaapeleiden kuluttama energia kuitenkin lämmittää rakenteita ja rakennuskohdetta, joten kaapeleiden käytöllä voidaan vähentää muun muassa työmaan lämmitystarvetta lämmityskaudella. Sähkölämmityksellä ei välttämättä ole kuitenkaan kannattavaa korvata työmaanlämmitystä kokonaan etenkin suuremmissa kohteissa.

Betonin lämmityskaapeleiden lisäksi Pistesarjat Oy:lä on valikoimissa monia ratkaisuja rakennustyömaan sulanapitoon ja lämmitykseen, jotka on suunniteltu rakennustyömaan vaativiin olosuhteisiin muun muassa talvirakentamista ajatellen. Tuotteet on valmistettu kestävästä materiaaleista, joten niiden käyttöikä on pitkä ja ne palvelevat hankalissakin oloissa. Betonin lämmittämiseen Pistesarjat on kehittänyt oman BET tuoteryhmän talvibetonointiin ja betonin kuivumisen tehostamiseen. Pistesarjojen lämmittimien avulla työmaiden talvibetonointi, putkien saattolämmitys, työmaatilojen lämmitys, betonirakenteiden lämmitykset ja kuivaukset sekä neste-  
mäisten aineiden säilytys ovat mahdollisia ulkona vallitsevasta talvisäystä huolimatta.



## 2.3 Betonin lämmityskaapeleilla tehdyt kokeet

### 2.3.1 KOHDEKOE

Rakenteilla olevaan kerrostaloon asennettiin 280 mm paksuun välipohjavaluun kahteen eri kohtaan BET lämmityskaapelit osaan lattia-alasta.

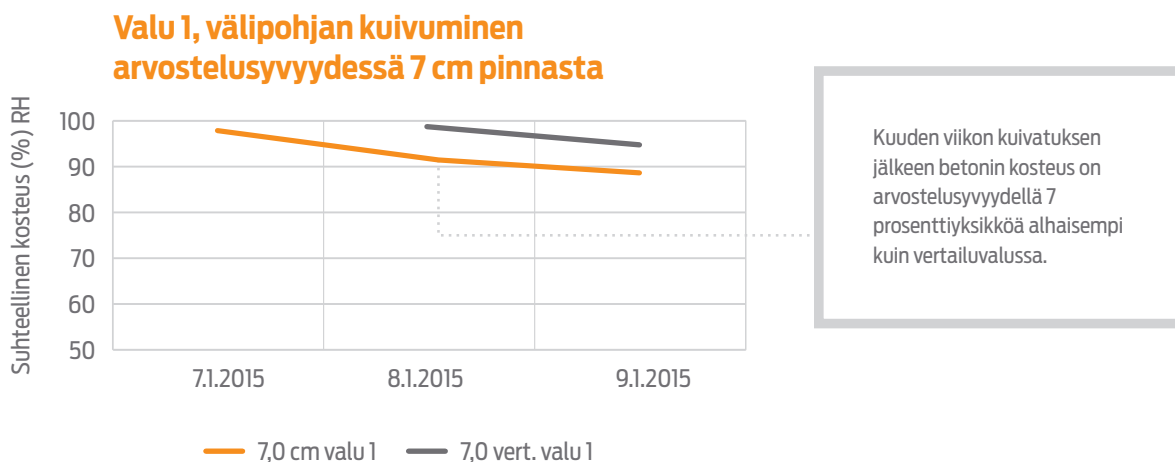
#### Koevalujen aikataulu oli seuraava:

- Ensimmäisen testikohdan (valu 1) betonivalu tehtiin 12.6.2015.
- Kaapelit oli asennettu rakenteen puoliväliin, eli noin 140 mm korkoon. Lämmityskaapelin asennusvälinä käytettiin 150 mm:ä, ja käytetty kaapeli oli BET Eco-termostaattiohjattu (lämpötilarajoitus +30 °C)
- Lämmitys laitettiin päälle kolme ja puoli viikkoa valusta 7.7.2015.
- Lämmitys kytkettiin pois päältä 14.10.2015.
- Toisen testikohdan (valu 2) kaapeliasennus tehtiin 7.7.2015.
- Lämmityskaapeli asennettiin 160 mm korkoon. Lämmityskaapelina käytettiin 10 m/390W/BET -kaapelia. Asennusväli oli sama kuin ensimmäisessä valussa.
- Kaapeliin kytkettiin virta päälle noin kaksi viikkoa valusta 22.7.2015.
- Lämmitys kytkettiin pois päältä 14.10.2015.

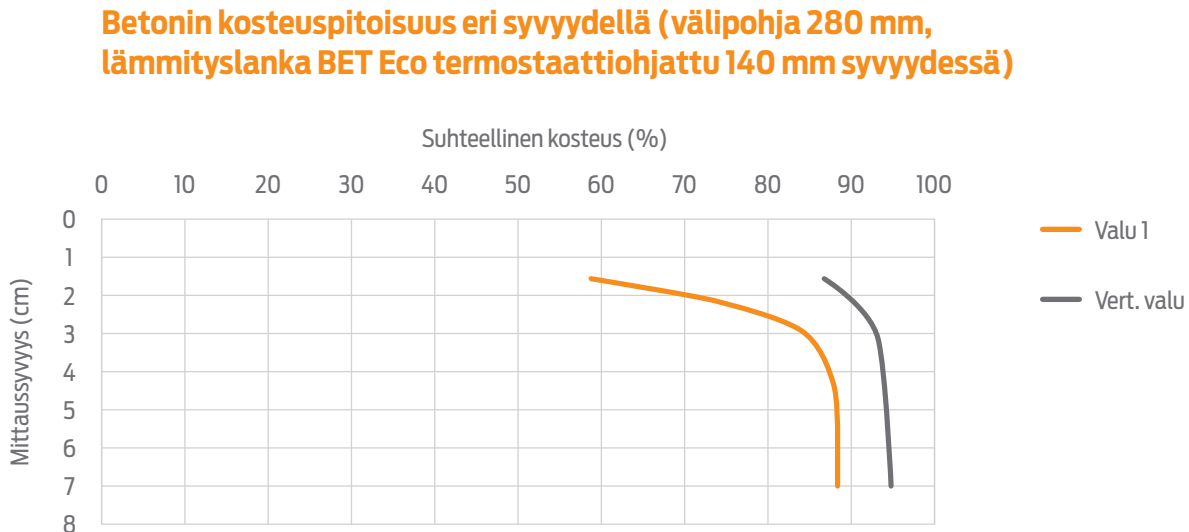
Molempien valujen sisällä oli lämpötila-anturi, jolla mitattiin rakenteen lämpötilaa. Lisäksi kokeen ajan seurattiin ulkoilman olosuhteita (lämpötilan ja suhteellisen kosteuden seuranta mittaus). Valussa 1 betonin kosteus oli kuuden viikon kuluttua lämmityksen aloittamisesta noin 7 prosenttiyksikköä alhaisempi kuin lämmittämättömässä betonissa (mittaustulokset on esitetty kuvassa 5).



Kuva 8. Kuvassa näkyy runkovaiheessa oleva asuinkerrostalo, jossa testimittaukset tehtiin kesällä 2015.



Kuva 9. Kuvassa valun 1 kosteusmittaustulokset. Valu on termostaattiohjattulla langalla lämmitetty ja vertailuvalu lämmittämätön.



Kuva 10. Kuvassa valun 1 kosteusmittausprofiilit mitattuna 25.9.2015. Valu on termostaattiohjattulla langalla lämmitetty ja vertailuvalu lämmittämätön. Mittaushetkellä lämmitys oli ollut päällä 11 viikkoa.

Valun 2 mittaukset jouduttiin keskeyttämään ennenaikaisesti työmaateknisten syiden takia. Koealueella tehtiin vain kaksi mittausta kuukauden välein lämmityksen käynnistämisestä. Kahden kuukauden kohdalla lämmitetyllä alueella kosteudet tarkastelusyvytyksillä 30 mm ja 70 mm

olivat noin 5–8 prosenttiyksikköä alhaisemmat lämmittämättömään alueeseen verrattuna ja betonin pinta lämmityksen vaikutuksesta jopa 35 prosenttiyksikköä alhaisempi kylmään alueeseen verrattuna.



## 2.3.2 LABORATORIOKOKKEET OHUELLE BETONILAATALLE

Kuivatustehon selvittämiseksi Pistesarjat on teettänyt testivaluja, joiden kuivumista seurattiin. Testivalut tehtiin 800 x 1200 mm kuormalavoille, betonilaatan paksuus oli 100 mm, ja sen alustana oli 50 mm eps- lämmöneriste, joka mahdollistaa laatan osittaisen kuivumisen myös alaspäin.

### Kokeissa tehtiin neljä erilaista valua:

- kaapelin asennussyvyys 40 mm
- kaapelin asennussyvyys 60 mm
- kaapelin asennussyvyys 60 mm, kaapeli varustettu lämpötilaa rajoittavalla termostaatilla
- ilman kaapeleita (vertailuvalu)

### Koevalujen aikataulu oli seuraava:

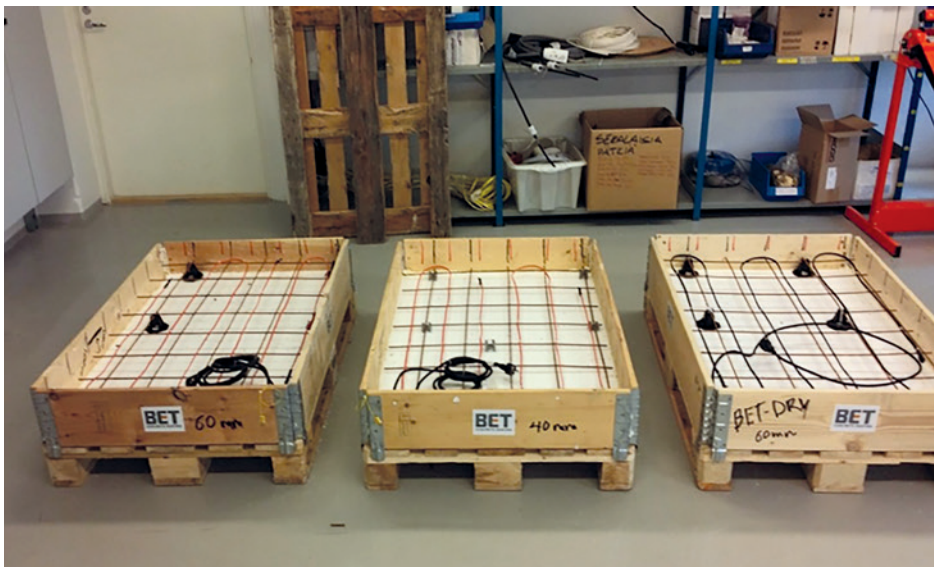
- 17.7.2015 laatat valettiin valmisbetoniasemalla
- 20.7.2015 laatat kuljetettiin testipaikkaan ja niiden pinnat hierrettiin. Hiertopinnan päälle asennettiin

suojamuovi jälkihoidoksi. Testin ajan laatat olivat ulkoilmassa katoksen alla varjossa auringolta (tällä haluttiin saada aikaiseksi työmaata muistuttavat kuivumisolosuhteet)

- 24.7.2015 suojamuovit poistettiin laattojen päältä (1 viikko valusta)
- 31.7.2015 laattojen lämmitys kytkettiin päälle (2 viikkoa valusta)

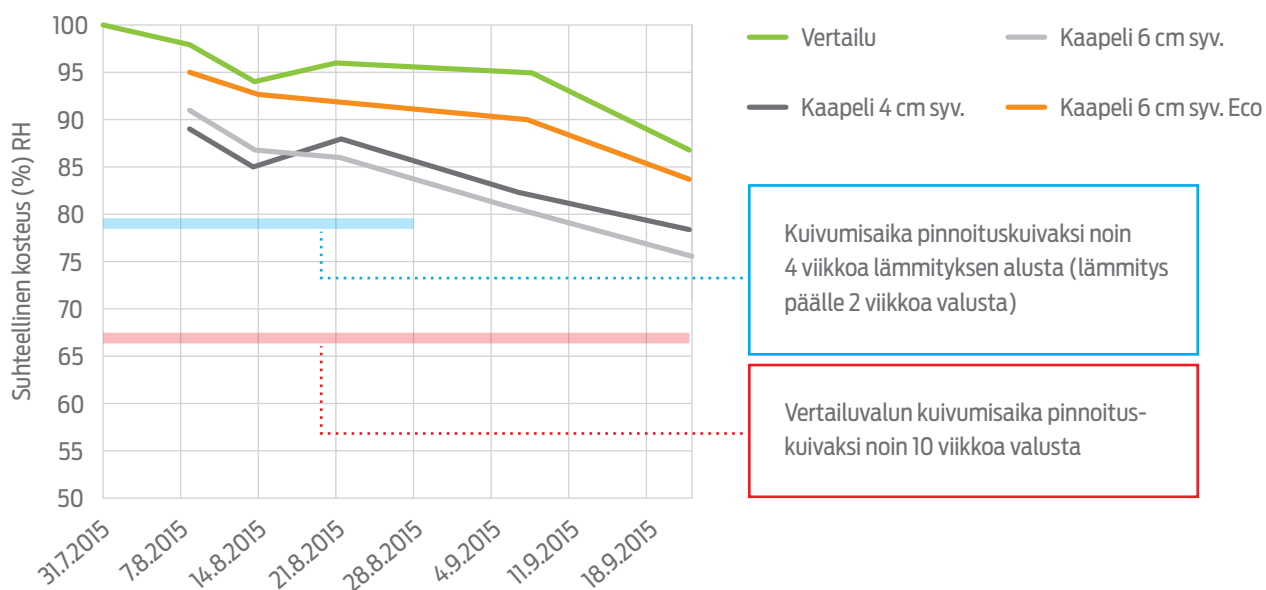
Betonin kuivumista seurattiin kosteusmittauksin 31.7.–21.9.2015. Kosteusmittaukset tehtiin näytepala- ja porareikämenetelmällä. Lisäksi kuivumisolosuhteet (ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus) tallennettiin kuormalavojen vieressä olleelle loggerille mittausjakson ajalta. Oikealla olevassa kuvaajassa on esitetty betonien kuivuminen näytepalamittauksin mitattuna.

Testissä lämmityskaapeleilla kuivattu betoni oli pinnoitettavissa 6 viikon kuluttua valusta lähes millä tahansa päällysteellä (2 viikkoa valusta ilman lämmitystä ja tämän jälkeen 4 viikkoa lämmitystä) kun vertailuvalulla kuivuminen kesti noin 10 viikkoa.



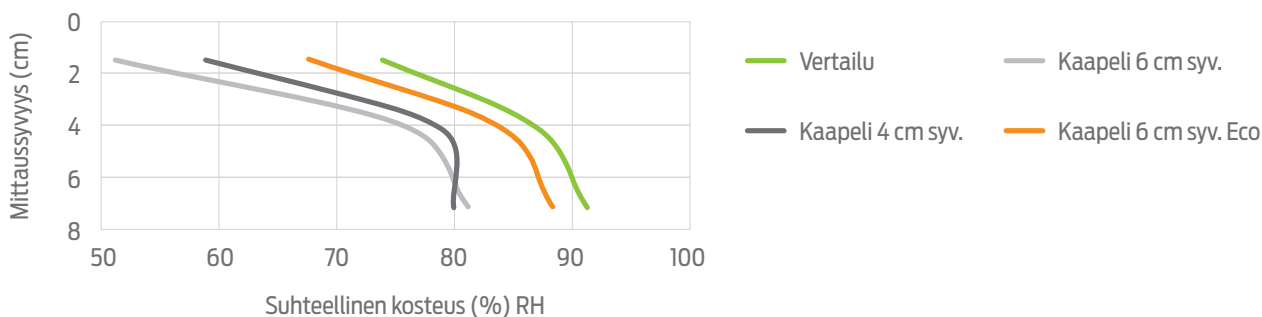
Kuva 11. Kuvassa näkyvät testikuormalavat, joille betoni-valut tehtiin. Lavat vasemmalta oikealle; kaapelin asennussyvyys 60 mm, asennussyvyys 40 mm ja termostaattiohjattu kaapeli BET Eco, asennussyvyys 60 mm. Lisäksi valettiin vielä vertailuvalu ilman kaapeleita. Kuormalavat säilytettiin valun jälkeen ulkona auringonsuojassa, jolla pyrittiin jäljittelemään normaaleja, kesäisiä ei erityisen hyviä kuivumisolosuhteita.

## Testivalut, yhteen suuntaan kuivuva maanvarainen laatta, betonin suhteellinen kosteus arvostelusyvytydellä 4 cm



Kuva 12. Kuvaajassa on esitetty testivalujen kosteusmittausten tulokset arvostelusyvytydellä 4 cm betonin yläpinnasta.

## Betonin kosteusjakauma eri kuivatustapauksissa (lämmitys päällä 7,5 viikkoa)



Kuva 13. Kuvaajassa on esitetty kuvan 12 testivalujen kosteusjakauma mitattuna 21.9.2015 jolloin lämmitys oli ollut päällä 7,5 viikkoa.

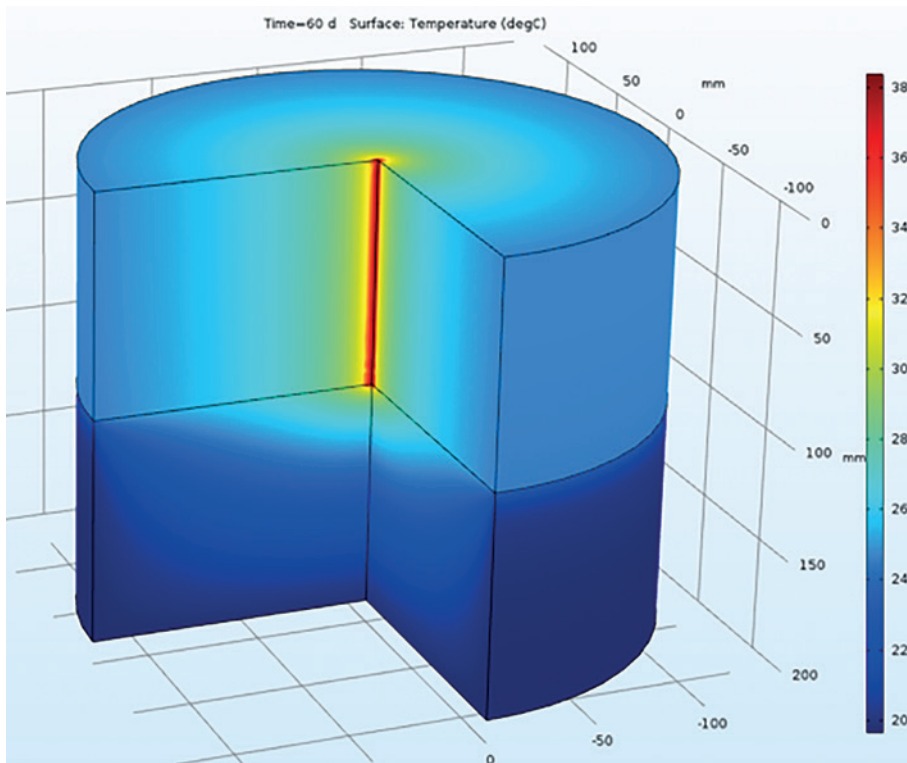
### 2.3.3 LABORATORIOKOKEEET TESTILIERIÖILLE JA ESIMERKKIRAKENTEIDEN SIMULOINTI

Laboratoriokokeessa tutkittiin betonin kuivumista käytettäessä BET-kaapelia. Kokeessa käytettiin lieriökoekappaleita. Kappaleet valittiin pyörähdyssymmetrisiksi, jotta kokeen tulosten perusteella voitaisiin mahdollisimman tarkasti validoida betonin kuivumisen simulointimalli. Laboratoriokoekappale sekä ote laskentamallista on esitetty kuvassa 15.

Lämmitystehon mallinnus vastaa hyvin laboratoriokokeen mittausta. Simuloinnissa haastavinta on betonin kuivumisen mallintaminen sekä kuivumisen lämpöriippuvuus. Betonin kuivumista mallinnettiin hydrataation huomioivalla mallilla, johon lisäksi määritettiin lämpöriippuvat korjaustekijät. Lämpöriippuvuus varmennettiin erillisillä kuivatuskokeilla eri lämpötiloissa (5 °C, 30 °C ja 60 °C) sekä lämmityslangallisten koekappaleiden kosteus seurannan perusteella.



Kuva 14. Koekappaleet, joissa mittausputket ovat asennettuna.

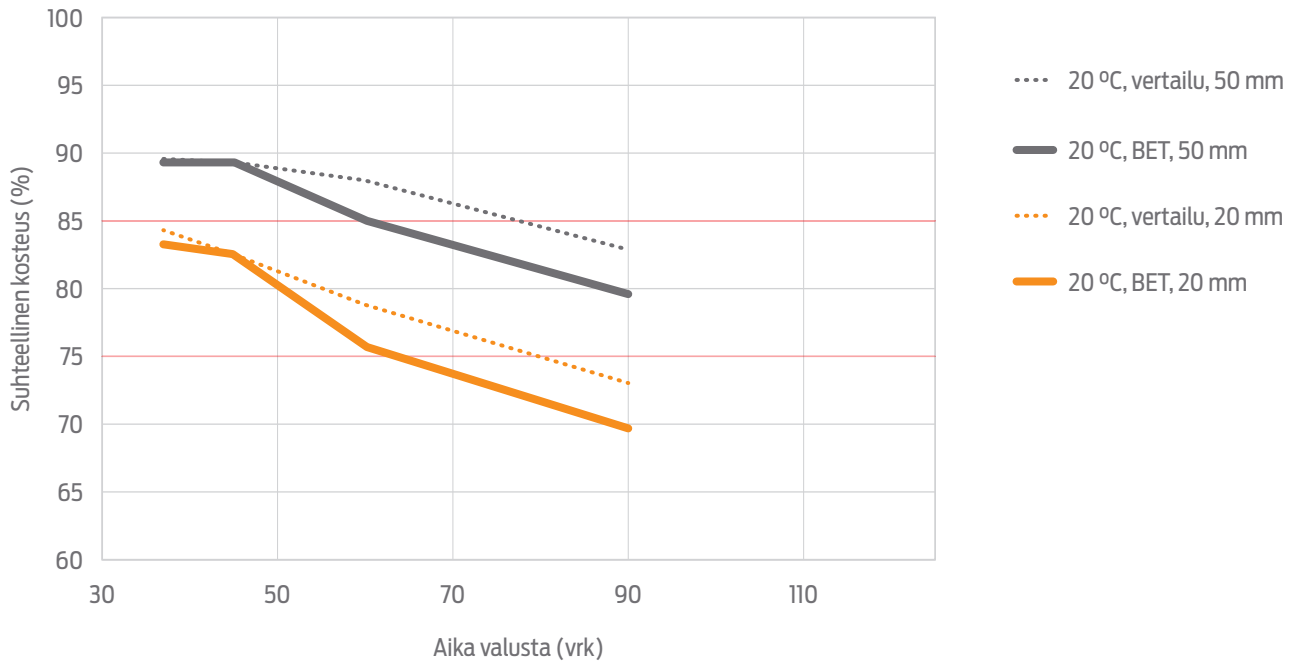


Kuva 15. Laskentamalli koekappaleen symmetria akselin kohdalta katkaisuna.



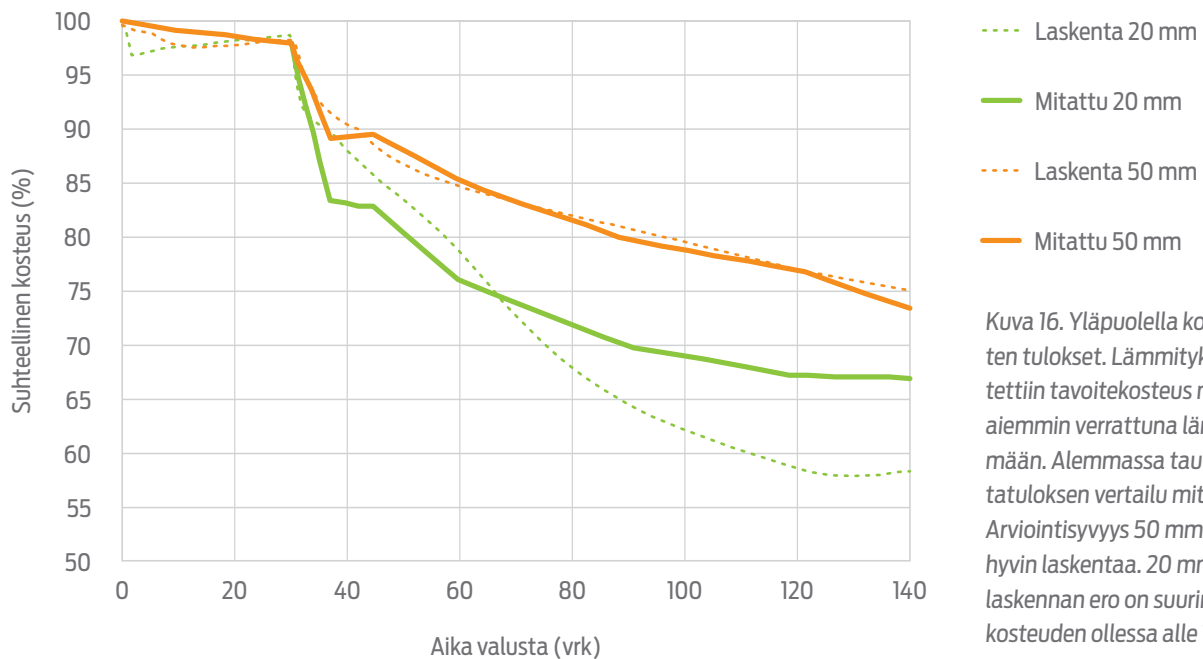
## Koekappaleiden kuivuminen – kosteusmittaukset

BET-kaapelein varustettujen kappaleiden lämmitys kytketty päälle 30 vrk kohdalla



## Koelieriön kuivumisen vertailu

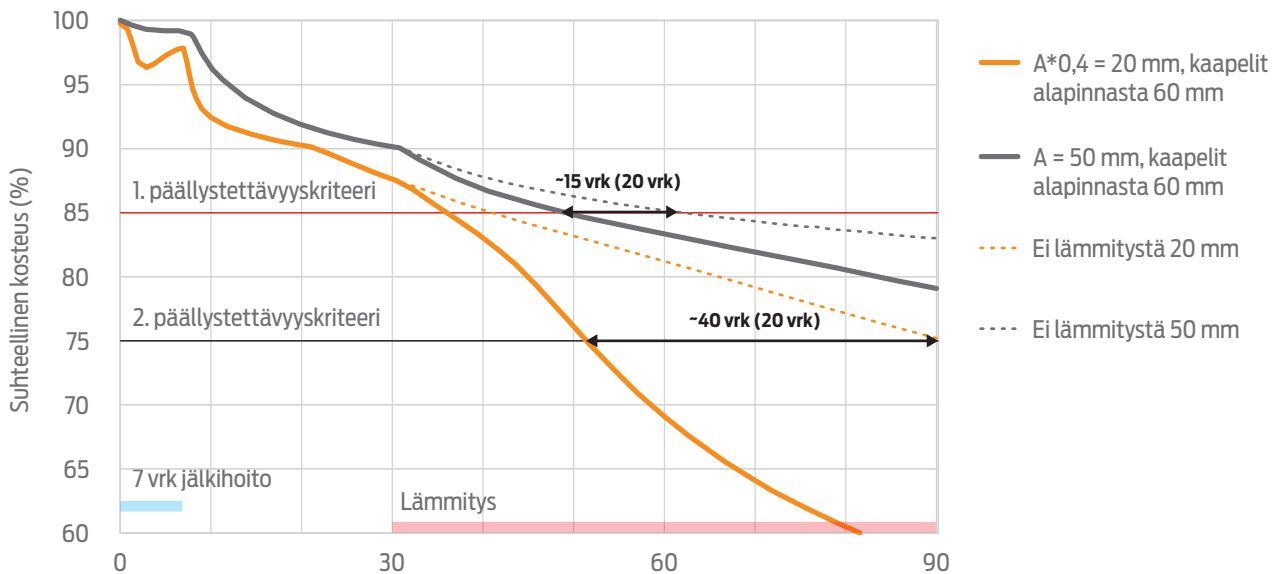
Laskenta / mitattu



Kuva 16. Yläpuolella kosteusmittausten tulokset. Lämmityksellä saavutettiin tavoitekosteus noin 20 päivää aiemmin verrattuna lämmittämättömään. Alemmassa taulukossa laskentatuloksen vertailu mittaustulokseen. Arviointisyvyys 50 mm vastaa erittäin hyvin laskentaa. 20 mm syvyydellä laskennan ero on suurimmillaan kosteuden ollessa alle 75 % RH.

## Kahteen suuntaan kuivuva laatta 250 mm

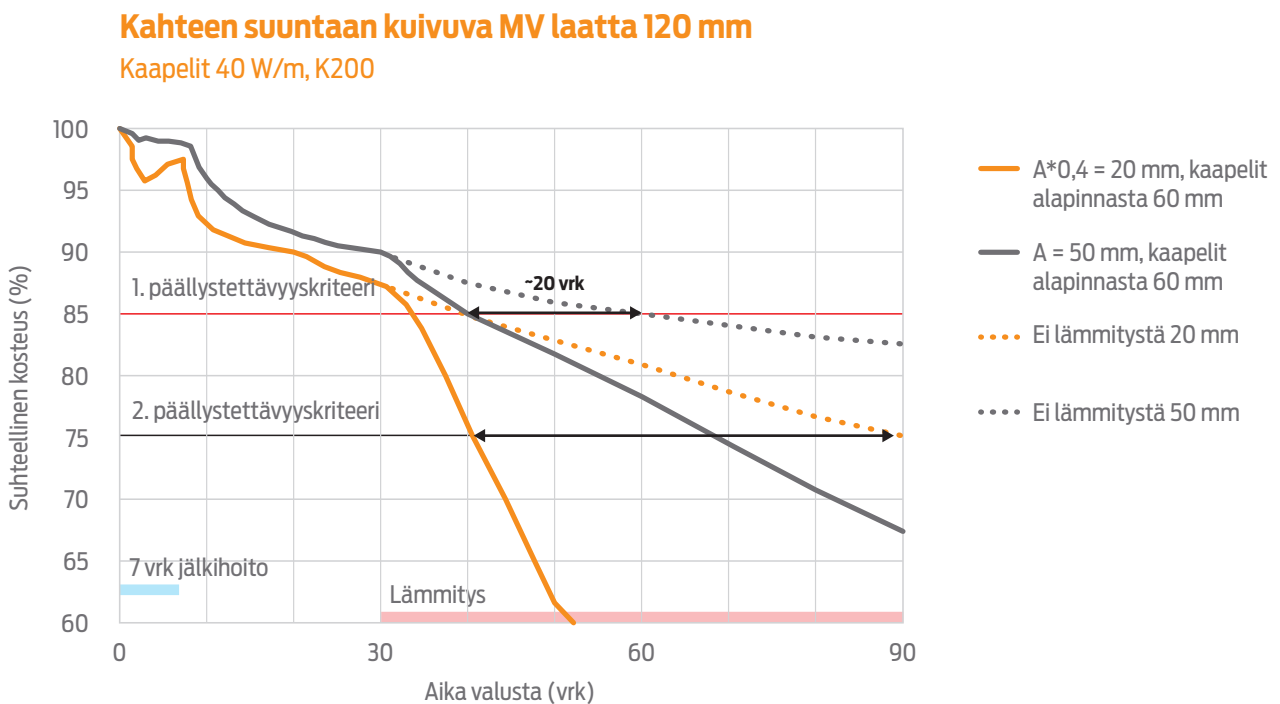
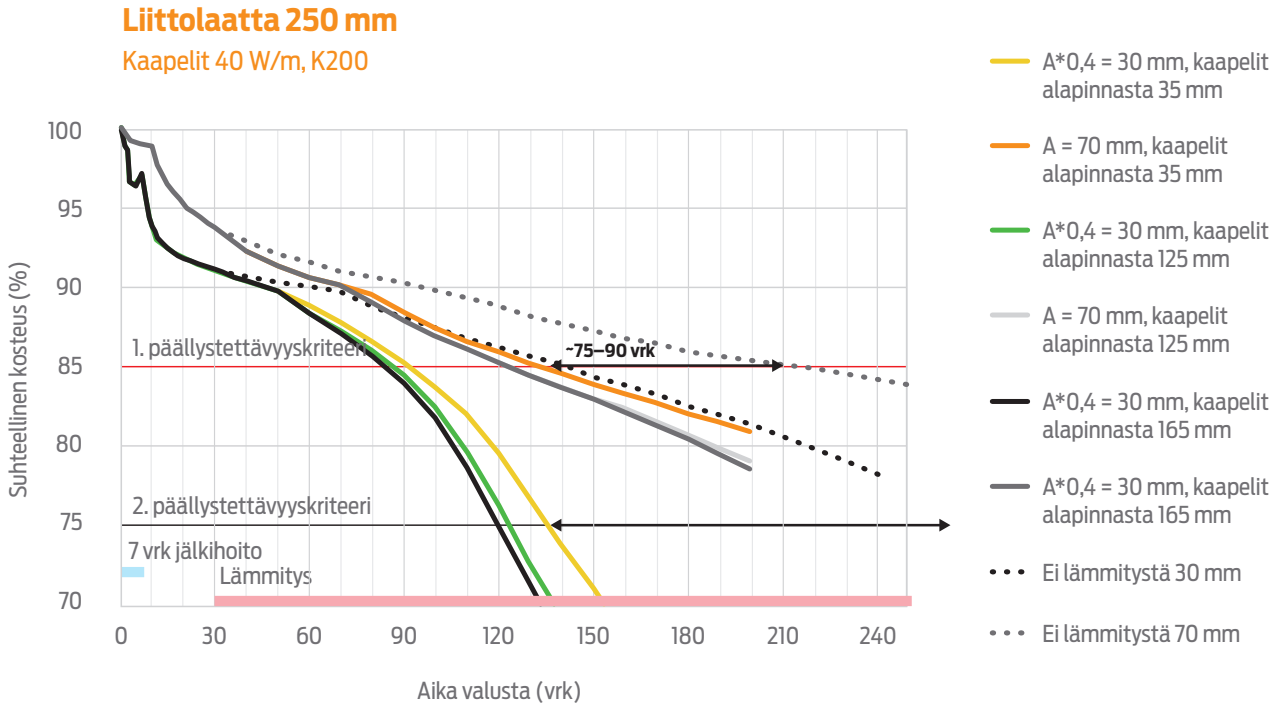
Kaapelit 33 W/m, K300



Kuva 17. Laboratoriokokeessa käytetyn 250 mm lieriön lämmityskaapeli 6,5 W / 0,2 m vastaa tehoa 32,5 W/m, jonka teho/bet. tilavuus on 662 W/m<sup>3</sup>. Laskentamallin kahteen suuntaan kuivuvan 250 mm laatan lämmityskaapelin teho käytettiin 33 W/m k200 jaolla, joka teho/bet. tilavuus on 660 W/m<sup>3</sup>. Näin ollen kahteen suuntaan kuivuva laatta vastaa hyvin lieriöstä.

Laskentamallin kuivumisaikaerot lämmitetyn ja lämmitättömän rakenteen arvostelusyvytydellä (A) vastaavat hyvin lieriötestin kuivumisaikeroja vastaavalla syvyydellä (15 ja 20 vrk). Pintarakenteen 20 mm tarkastelupisteen perusteella laskentamallin lämmittämätön rakenne poikkeaa jonkin verran lieriövertailusta. Vertailu lämmitetyn ja lämmittämättömän tapauksen välillä tehdään arvostelusyvytyden A mukaan, jolloin vertailu on hieman varman puolella eikä lämmityksen vaikutusta kuivumiseen yliarvioita.

Kuvassa 17 on esitetty liittolaattarakenteen sekä maanvastaisen rakenteen tarkastelut. Tarkasteluissa lämmitys on 40 W/m.



Kuva 18. Tarkastelun perusteella liittolaatan tapauksessa saavutetaan päällystettävyyssriteeri noin 70 ja maanvastaisen laatan tapauksessa 15 päivää aiemmin verrattuna lämmittämättömään rakenteeseen.

Liittolaatan tapauksessa tarkasteltiin myös lämmitys-kaapelien korkeusaseman vaikutusta kuivumiseen. Arviointisyvydeltä (A) tarkasteltuna ei eri tapausten välillä ollut suurta eroa riippumatta siitä, olivatko kaapelit 35 mm ala- tai yläpinnasta. Toisen päällystettävyysskriteerin kohdalta tarkasteltuna rakenteen pintaosan (30 mm) kuivuminen oli nopeinta, kun kaapelit olivat sijoitettuna laatan puolenvälin yläpuolelle. Tarkastelun perusteella kokonaiskuivumisen kannalta saavutetaan paras tulos, kun lämmityskaapelit ovat noin laatan paksuuden kolmasosan (1/3) etäisyydellä laatan yläpinnasta.

Tarkastelut tehtiin perustuen w/s 0,65 NP-betonilla valettujen koelieriöiden laboratoriokokeisiin. Taulukossa 2 on esitetty yhteenvedona esimerkkilaskelmat kolmelle tyypilliselle rakenteelle. On otettava huomioon, että laskentatulokset suuntaa antava ja betonilaadulla sekä kuivumisolosuhteilla on lopulta erittäin suuri vaikutus betonin todelliseen kuivumiseen.

RAKENNE	ARVIOITU KUIVUMISAIKA (VIIKKOA) A < 85% RH JA 0,4*A < 75% RH	SAAVUTETTAVA HYÖTY (VIIKKOA)
Välipohjalaatta 250 mm kahteen suuntaan kuivuva	8	2-3
Välipohjalaatta 250 mm yhteen suuntaan kuivuva	19	10-12
Alapohjalaatta 120 mm yhteen suuntaan kuivuva	6	2-3

### 2.3.4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tehtyjen tutkimusten mukaan betoninlämmityskaapeleilla on selkeä betonin kuivumista tehostava vaikutus. Tulosten perusteella lämpötilarajoittamattoman kaapeli tehostaa kuivumista hieman enemmän kuin lämpötilarajoitettu BET Eco -kaapeli. BET Eco -kaapelin etuna on että se ei nosta työskentelyolosuhteiden lämpötilaa korkeammaksi säästämällä samalla energiaa. Kaikissa koekohteissa kaapelilla varustettu betonivalu saavutti päällystysten määrittämän tavoitekosteuden vertailuvaluu nopeammin. Nopeampi kuivuminen mahdollistaa päällystystöiden aikaisemman aloittamisen.

Laboratoriokokeessa lämpötilarajoittamattomalla kaapelilla varustettu 100 mm valu kuivui jälkihoitoajan jälkeen tavoitekosteuspitoisuuteen puolet lyhyemmässä ajassa

verrattuna vertailuvaluun. Myös lieriökappaleiden laboratoriokokeeseen perustuvan laskennallisen tarkastelun perusteella 120 mm laatan tapauksessa voidaan päästä noin puolet lyhyempään kuivumisaikaan lämmittämättömään rakenteeseen verrattuna.

**Tarkastelujen perusteella suurin hyöty lämmityksestä saadaan paksuilla yhteen suuntaan kuivuville rakenteilla esim. 250 mm liittolaatta. Tällöin voidaan päästä 2-3 kuukautta lyhyempään kuivumisaikaan käyttäessä lämmityskaapeleita.**





**3**

**BETONIN  
LÄMMITYSKAAPELIEN  
MITOITUS JA KÄYTTÖ**

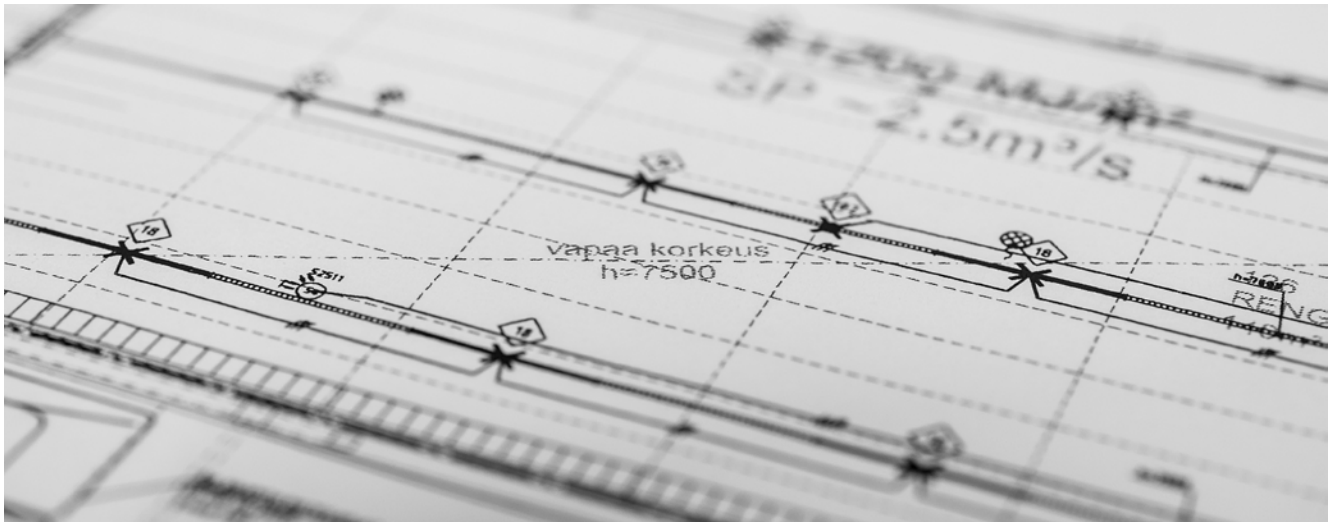


# 3.1 Lämmitystarpeen mitoitus ja asennuksen suunnittelu

## 3.1.1 LÄMMITYSTEHDON MÄÄRITTÄMINEN

Tasaisen kuivumisen varmistamiseksi kuivatettavalle alueelle pitää asentaa kaapelit kauttaaltaan. Asennussyvyydellä, asennustiheydellä ja kaapelin teholla/juoksumetri voidaan optimoida riittävän nopea kuivuminen kuhunkin tapaukseen. Näin varmistetaan betonin riittävän nopea kuivuminen ja pintarakenteiden tavoitteenmukainen sekä terveellinen ja turvallinen toimivuus.

Mitoituksessa käytettävä ohjeellinen teho on noin 200–300 W/m<sup>2</sup> riippuen kohteesta ja olosuhteista. Mikäli halutaan varmistua riittävästä tehontarpeesta tai haluttaessa optimoida kaapelimäärää, Pistesarjat Oy tarjoaa kohdekohtaista suunnittelua. Kohdekohtaisella suunnittelulla voidaan varmistaa riittävä tehontarve, jotta rakenteissa saavutetaan haluttu lämpötila.



## 3.1.2 ASENNUSSUUNNITELMA

Lämmitystehdon määrittämisen jälkeen laaditaan betonin lämmityskaapeleiden asennussuunnitelma. Suunnitelmalla pyritään minimoimaan kaapelin menekki sekä samalla käyttämään mahdollisimman pitkiä yksittäisiä kaapeleita sähkösyöttöjen vähentämiseksi. Suunnitelmassa huomioidaan eri laattojen tai alueiden lämpötilojen säätäminen, sekä sähkösyötön varmistaminen rakennushankeen edetessä. Betonin lämmityskaapeleiden käyttöä suunniteltaessa huomioidaan myös tilamuutosten tuomat haasteet, sekä sähköturvallisuus ja sähkökeskusten paikat. Suurimpina haasteina on pystyä toteuttamaan lämmitysjärjestelmän asennus ja sähköistys siten, ettei tarvitsisi siirrellä väliaikaisia työmaasähkökeskuksia eikä lämmitys- tai syöttökaapeleita katkaistaisi rakennustöiden edetessä. Yleisimpiä syitä kaapelin vahingoittami-

selle ovat muun muassa: väliseinätukien kiinnikkeiden kiinnittäminen lattialaataan, putkistojen läpivientien tai muiden reikien poraaminen ja muut kuivatettavaan betoniin kohdistuvat poraamiset.

Asennussuunnitelmaa laadittaessa kannattaa käyttää hyväksi lopullisia rakenne-/huoneistokuvia, joiden avulla voidaan pienentää kaapeleiden vaurioitumisriskiä kuivatusjakson aikana. Asennussuunnitelmassa pitää myös huomioida kaapeleiden kiinnitysmahdollisuudet, varmistamalla esimerkiksi raudotteiden sopivuus kiinnitysalustaksi. Asennussyvyys on hyvä ilmoittaa myös työmaamestareille, jotta työmaalla osataan määritellä muille urakoitsijoille turvasyvyiden reikien poraamiseen ilman vaaraa kaapeleiden vioittamisesta.

---

### 3.1.3 SÄHKÖISTYKSEN RIITTÄVYYS JA SÄHKÖN SYÖTÖN VARMISTAMINEN

Asennussuunnitelmaa laadittaessa on hyvissä ajoin huomioitava betonin lämmityskaapeleiden tarvitsema energian määrä, sekä virran riittävyyden huomioimien koko kuivatusprojektin ajan. Mikäli mahdollista, tulisi kuivatukselle järjestää oma sähkönsyöttöjärjestelmä, jotta järjestelmä toimisi halutulla tavalla koko hankkeen ajan. Omalla sähkönsyötöllä estetään muun muassa työmaille yleisen sähkön ”lainaamisen” aiheuttamat katkokset lämmityksessä. Työmailla saatetaan tulla ”lainaamaan” sähköä lähimmästä sähkökeskuksesta ja näin ollen irrotetaan kuivatuksen liittyvät pistokkeet keskuksista. Kui-

vatuskaapelit on myös mahdollista kytkeä työmaa-aikaisiin sähköistysjärjestelmiin ilman pistotulppaa kiinteiden kytkentärasioiden kautta.

Asennussuunnitelmassa sekä asennusvaiheessa on erittäin tärkeää miettiä, minne kaapelien sähkönsyöttö tullaan sijoittamaan ja toteutetaanko kytkentä pistotulpalisilla vai kiinteästi kytkettävillä kaapeleilla. Kaapeleiden sähkönsyöttö voidaan toteuttaa esimerkiksi alempien kerrosten alakatoissa tai muissa vastaavissa rakenteissa, jolloin kytkennät eivät ole yhtä alttiita vaurioitumaan.

---

### 3.1.4 KAAPELEIDEN TESTAUS JA VARASUUNNITELMA

Ennen kaapelien asentamista ja kaapeleiden asennuksen jälkeen tulee jokainen kaapeli mitata vastusmittarilla. Mittauksella varmistetaan, että kaapelit ovat tulleet ehjinä työmaalle ja että ne ovat säilyneet ehjänä asennuksen aikana. Kaapeleiden sähkönvastus on suositeltavaa mitata myös juuri ennen valua kaapelin halutun toimivuuden varmistamiseksi. Mittaustulokset tulee merkitä asennuspöytäkirjaan.

Kaapeleiden käytönaikaista toimivuutta voidaan helpoiten seurata mittaamalla lämmitettävän rakenteen lämpötilaa esimerkiksi valuun asennettavalla lämpötila-anturilla tai lämpökuvauksella. Lämpötilan seurannan järjestäminen on hyvä huomioida jo asennusvaiheessa. Asennusvaiheessa tulee myös huomioida mahdolliset ra-

kennuttajan raportointitarpeet lämpötilan ja ilmankosteuden mittaamiselle. Mittausanturit on hyvä asentaa samalla kun kaapelitkin asennetaan, jotta varmistutaan niiden oikeasta mittaussyvyydestä. Loggereille tulee valita mahdollisimman suojaisa paikka, kuitenkin siten että niiden tuloksia voidaan vaivattomasti käydä lukemassa järjestelmän toimivuuden varmistamiseksi.

Asennussuunnitelmassa tulee määritellä korvaavat lämmitys- ja kuivatusmenetelmät, mikäli kaapelit vioittuvat esimerkiksi kaapeliin poraamisen seurauksena kesken lämmityksen. Kaapeleiden vioittuessa voidaan esimerkiksi tehostaa tilojen lämmitystä tai käyttää levymallisia PST-kuivauslämmittimiä.



## 3.2 Asennus

Kaapelin asennusväli vaihtelee yleensä 15–20 cm:n välillä. Myös rakenteen reunan ja kaapelin väliin jätetään väli. Tällöin kaapelin menekki vaihtelee välillä 5–6,6 m per neliometri. Asennusväli riippuu kuivatettavan rakenteen paksuudesta ja kuivatustarpeesta. Minimiasennusväli on 70 mm.

Vaakarakenteessa kaapeli tulisi asentaa kosteusmittauksen arvostelusyvytyttä syvemmälle. Yhteen suuntaan kuivuvala rakenteella, kuten maanvarainen laatta, arvostelusyvyys on 0,4 x laatan paksuus. Esimerkiksi, jos laatan paksuus on

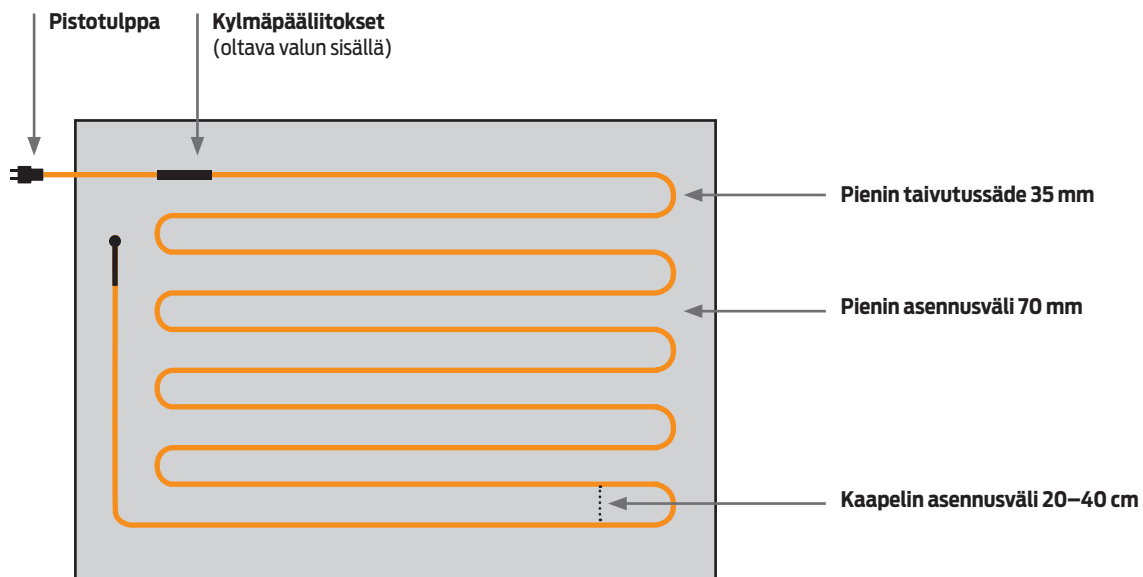
150 mm, on kosteusmittauksen arvostelusyvyys 60 mm ja kaapeli tulisi asentaa tätä syvemmälle, noin 70–80 mm syvyyteen.

Kaapelin alin asennuslämpötila on  $-15\text{ °C}$ . Lämmitettävän betonin lämpötila saa nousta enintään  $+60\text{ °C}$ :een siten, että yhtenäisen massan eri kohtien lämpötilaero on kuitenkin enintään  $+20\text{ °C}$ .

### 3.2.1 YLEISET ASENNUSOHJEET

#### BET-betoninlämmityskaapelin asennusohje

- Kaapeli asennetaan aina betonimassan sisään
- Kaapelia syöttävä piiri on suojattava vikavirtasuojakytkimellä, laukaisuvirta enintään 30 mA
- Kaapelia saa käyttää vain ja ainoastaan betonin lujuudenkehityksen ja kuivumisen nopeuttamiseen
- Tarkista, että kaapeli on suunnitellun mukainen ja mittaa että vastus ( $R\ \Omega$ ) on toleranssialueella, sekä eristysvastus ( $M\ \Omega$ ) maahan
- Kela kaapeli auki ja kiinnitä nippusiteillä suoraan verkkoon/teräkseen asennusväli huomioiden. HUOM! Kaapeli on asennettava niin, että se ei joudu kosketuksiin lämmöneristeiden kanssa (polyuretaani, EPS, mineraalivilla yms.) Muuten kaapeli saattaa vaurioitua.
- Kaapelin ja sen kytkentäkaapeliosan on oltava kokonaisuudessaan betonivalun sisällä
- Kaapelia ei saa missään tapauksessa asentaa ristikkäin. Pienin sallittu asennusväli on 70 mm
- Tarkista, että vastus ( $R\ \Omega$ ) on toleranssialueella, sekä eritysvastus ( $M\ \Omega$ ) maahan täyttää vaatimukset
- Kaapelin saa kytkeä päälle vasta valun jälkeen. Lämmityksessä tulee huolehtia, että betonin lämpötila ei nouse liian korkeaksi lujuuskadon ja rakenteen halkeilun estämiseksi.



Kuva 19. Havainnekuva asennuksessa käytettävistä etäisyyksistä.

### 3.2.2 SÄHKÖMÄÄRÄYKSET

- Asennus on suoritettava voimassa olevien määräysten mukaisesti.
- Lämpökaapeli on asennettava kauttaaltaan massan sisään (myös liitososa).
- Lämpökaapeli ei saa ylittää liikuntasaumaa.
- Kaapelin saa asentaa vain palamattomia rakenteita vasten sähköturvallisuusmääräysten mukaisesti.
- Kaapeli täyttää voimassa olevat EU-direktiivit

## 3.3 Lämmityksen aloittaminen

Kaapeli kytketään päälle kaksi viikkoa valusta, jolloin betoni on saavuttanut riittävän lujuuden ja lämmityksen mahdollisesti korkeista lämpötiloista ei ole enää haittaa betonin lujuudenkehitykselle. Lämmityksellä ei saa kuitenkaan nostaa kovettuneen betonirakenteen lämpötilaa yli +60 °C niin, että rakenteen eri osien lämpötilaero on yli +20 °C.

Kaapeleita voidaan käyttää myös betonin valunjälkeisen lujuudenkehityksen nopeuttamiseen. Tällöin kaapeleiden käyttöä voidaan jatkaa haluttaessa ja käyttää niitä betonin kuivattamiseen. Kaapelilla kuivatettaessa ei suositella

niin sanottua pumppavaa kuivatusta, jossa lämmitystä pidetään päällä jaksottain, vaan lämmityksen annetaan olla päällä koko ajan. Tutkimustemme mukaan pumppaamisella saavutettu hyöty ei ole siitä aiheutuvaan vaivaan nähden kannattavaa. Kuivatuksen jälkeen betonin kosteuspitoisuus tulee varmistaa kosteusmittauksin ennen päällystystöiden alkua.

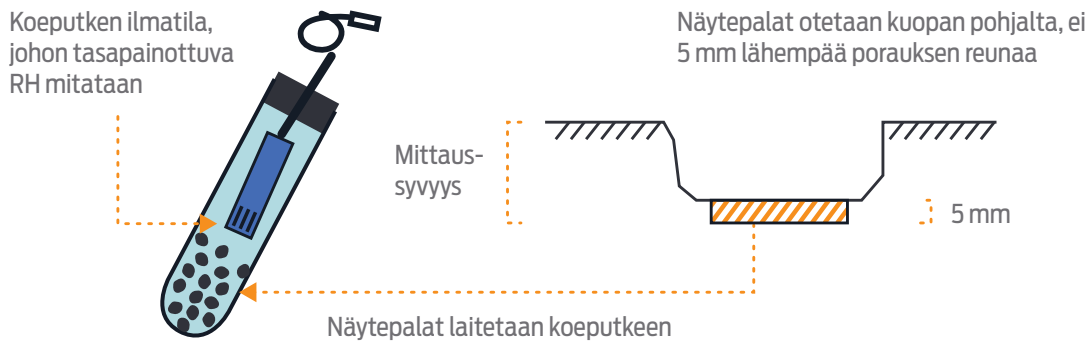
Lämmitys lopetetaan, kun rakenteiden tavoiteltu kosteuspitoisuus on saavutettu. Betonin lämmityskaapelit eivät sovellu myöhemmässä vaiheessa (valmiissa rakennuksessa) käytettävään lämmittämiseen.



## 3.4 Riittävän kuivumisen varmistaminen

Betonilämmityskaapeleiden käyttö ei vähennä työmaalla tehtävien laadunvarmistuskokeiden tarvetta betonin pinnoitettavuuden määrittämiseksi. Betonin päällystettävyyden varmistamiseksi tulee rakenteen suhteellinen kosteuspitoisuus määrittää esimerkiksi porareikä- tai näytepalamenetelmällä ohjekortin RT 14-10984 ”*Betonin suhteellisen kosteuden mitta*us” mukaisesti. Päällystettävyyttä arvioitaessa suhteellisen kosteuden arviointisyvyys ja päällystettävyyden kriittinen kosteuspitoisuus valitaan lattian- ja seinänpäällystysliiton julkaisusta ”*betonirakenteiden päällystämisen ohjeet*”.

Suosittelavaa on tehdä kosteusmittaukset näytepalamenetelmällä, jolloin betonin korkeampi lämpötila ei vaikuta mittaustuloksiin. Porareikämittausta käytettäessä tarkasteltavan rakenteen lämpötilan tulee mittaushetkellä vastata rakenteen normaalia käyttölämpötilaa. Kosteusmittauksen tulee suorittaa kaapeleiden väliltä, koska kaapeleiden kohdalla kosteuspitoisuus on tutkimusten mukaan alhaisempi.



Kuva 20. Periaatekuva näytepalamittauksesta. Mittaussyvyys määritetään tutkittavan rakenteen mukaan tapauskohtaisesti. (RT-Kortti RT 14-10984.)



## 3.5 Virhetilanteet ja turvallisuus

---

Betonin lämmityskaapeleita käytettäessä on huomioitava mahdolliset vaurioriskit betonin liiallisen lämmityksen seurauksena. Lämmityskaapeleiden rikkoutumiseen esimerkiksi kaapeliin porattaessa tai kaapelin muista syistä johtuvaan toimimattomuuteen tulee varautua suunnitteleamalla lämmitykselle ja kuivatukselle vaihtoehtoinen tapa vikatilanteissa. Kaapeleiden rikkoutumiseen tai muuhun vioittumiseen tulee erityisesti varautua, mikäli kaapeleita käytetään talvibetonointiin.

### **Takuu on voimassa seuraavin edellytyksin:**

- Mahdollisista vioista on ilmoitettu ostopaikkaan
- Pistesarjoille on annettu tilaisuus vianetsintään vian syyn vahvistamiseksi. Vianetsintää ei sitä ennen saa suorittaa ilman Pistesarjojen suostumusta
- Korjaustyötä ei ole aloitettu ennen kuin Pistesarjat on suorittanut vianetsinnän, ellei Pistesarjat ole kirjallisesti hyväksynyt muuta järjestystä.

Betonin lämmityskaapeleita saa käyttää vain betonivalun työnaikaisen lämmitykseen eikä kaapeleita ole tarkoitettu rakennuksen pitkäaikaiseen lämmitykseen.

4

## YHTEENVETO

# Yhteenveto lämmityskaapelien käytöstä betonin kuivatuksen nopeuttamisessa

Betonin lämmityskaapeilla voidaan tehostaa betonirakenteiden kuivumista. Kaapeleiden avulla voidaan toteuttaa myös talivaluja ilman rakenteen ulkopuolisia lämmitysratkaisuja.

Betonin lämmityskaapeleiden käytöstä tulee laatia suunnitelmat. Asennuksen ja käytön aikana tulee noudattaa valmistajan kirjallisia ohjeita sekä yleisiä sähkömääräyksiä.

Kaapeleiden kunto ja suunnitelmien mukainen toiminta tulee tarkistaa ennen valua sekä lämmitysjakson aikana, jotta varmistetaan kaapeleiden suunnitelmien mukainen toiminta.

Ennen rakenteiden pinnoitusta tulee varmistua rakenteiden riittävän alhaisesta kosteuspitoisuudesta.



---

## LÄHTEET

1. Merikallio, Tarja & Niemi, Sami & Komonen, Juha (2007). Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Rakennusmedia
2. Merikallio, Tarja (2015). Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Rakennustieto Oy.
3. RT-Kortti RT 14-10984. Sijaitsee osoitteessa <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10984.html.stx>
4. Merikallio, Tarja (2009). Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Väitöskirja, Teknillinen korkeakoulu.





