

LAB-ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Rakennustekniikka

Antti Kiianen

# **Paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallinta**

Opinnäytetyö 2020

## Tiivistelmä

Antti Kiianen

Paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallinta, 61 sivua, 1 liite

LAB-ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Rakennustekniikka

Opinnäytetyö 2020

Ohjaajat: lehtori Timo Lehtoviita, LAB ammattikorkeakoulu, toimitusjohtaja Jari Halonen, Rakennustoimisto Valiotalo Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rakennuksen paalulaattarakenteisen alapohjan rakenne- ja kosteusteknistä käyttäytymistä sekä laatia opinnäytetyön tilaajalle toimintamalli paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallintaan. Toimintamallin laatiminen pohjautui opinnäytetyössä käsiteltyjen lähteiden tutkimiseen ja opinnäytetyön esimerkkikohteessa työskentelyyn sekä kosteudenhallinnan konkreettisen toteuttamiseen työkohteessa.

Opinnäytetyön teoriaosuus on koottu useista rakennusalan yhdistysten julkaisuista ja ohjeista, vallitsevista ministeriöiden ja virastojen asetuksista ja määräyksistä sekä esimerkkikohteen virallisista rakentamisasiakirjoista ja niissä viitatuista standardeista. Opinnäytetyö on laadittu esimerkkikohteessa työskentelyn ohessa, jolloin muodostuvalla toimintamallilla on rooli jo käynnissä olevassa rakennushankkeessa.

Tämän opinnäytetyön tuloksena laadittava toimintamalli toimii kattavana tietolähteenä rakennuskosteuden ja kosteuslähteiden tunnistamiseen sekä käytännön toimintaohjeena tulevien paalulaattahankkeiden kosteudenhallinnan toteuttamiseen. Työn lopussa esitetään olemassa olevan Kuivaketju10-toimintamallin käytösopivuutta paalulaattakohteiden kosteudenhallintaan.

Asiasanat: paalulaatta, alapohja, kosteudenhallinta, Kuivaketju10

## **Abstract**

Antti Kiianen

Moisture management of pile slab structured base floor, 61 Pages, 1 Appendice

LAB University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Civil and Construction engineering

Construction engineering

Bachelor's Thesis 2020

Instructors: Mr. Timo Lehtoviita, Lecturer, LAB University of Applied Sciences,

Mr. Jari Halonen, CEO, Rakennustoimisto Valiotalo Oy

The purpose of this thesis was to study the moisture technical functioning of a pile slab structured base floor and thus compose an operating model of its moisture management for the commissioner of this study. The composing of the operating model was based on the sources used in this study and from working on an example construction project. Working on the example project included execution of a genuine moisture management at the worksite, which had a great influence in the content of this thesis.

The theory part of this thesis was assembled from numerous publications and instructions of various construction business associations, dominant decrees of agencies and departments and from the official documents of the example project. Also therefore the norms and standards behind those documents were used as secondary sources of this thesis. This thesis was composed concurrently with working on the construction site of the example project and thus the forming operating model had a part on the ongoing construction project.

The final result of this thesis is a functioning and informative operating model for moisture management of pile slab structured base floors. The model is to serve as a comprehensive source of information about structural moisture and of its harmful sources and as an executional guideline for the construction projects in the future. Applications of the existing operating model (Kuivaketju10) on a moisture management of pile slab project is presented at the end of this study.

Keywords: pile slab, base floor, moisture management, Kuivaketju10

# Sisällys

Käsitteet.....	6
1 Johdanto.....	7
2 Kosteus rakentamisessa.....	8
2.1 Rakennuksen kosteustekninen toimivuus.....	8
2.2 Kosteusrasitukset.....	8
2.3 Kosteuden siirtymistavat.....	10
2.3.1 Veden painovoimainen siirtyminen.....	10
2.3.2 Kapillaarivirtaus.....	10
2.3.3 Kosteuskonvektio.....	11
2.3.4 Diffuusio.....	11
3 Rakennushankkeen kosteudenhallinta.....	12
3.1 Kosteudenhallintaselvitys.....	13
3.2 Kosteudenhallintakoordinaattori.....	14
3.3 Kosteudenhallintasuunnitelma.....	14
3.3.1 Kosteusriskien kartoitus.....	15
3.3.2 Kuivumisaika-arviot.....	16
3.3.3 Olosuhdehallinta.....	19
3.3.4 Valvonta- ja mittaussuunnitelma.....	21
3.4 Materiaalien vastaanotto ja varastointi.....	22
4 Kuivaketju10.....	23
4.1 Kymmenen keskeisintä kosteusriskiä.....	25
4.2 Tilaaminen.....	26
4.3 Työmaatoteutus.....	27
4.4 Käyttöönotto ja käyttö.....	28
4.5 Kuivaketju10:n sähköinen järjestelmä.....	29
5 Paalulaatta.....	29
5.1 Paalulaattatyypit.....	30
5.2 Paalulaatta rakennuksen perustusrakenteena.....	32
5.3 Pohjatutkimukset.....	34
6 Esimerkkikohte.....	34
6.1 Paalulaatta esimerkkikohteessa.....	35
6.2 Esimerkkikohteen alapohjarakenne.....	36
6.3 Kosteus ja kosteudenhallinta esimerkkikohteessa.....	39
6.4 Materiaalitoimitukset.....	40
7 Esimerkkikohteen alapohjan kosteudenhallinta.....	41
7.1 Salaojitus.....	41
7.2 Kosteustekninen olosuhdehallinta.....	43
7.3 Esimerkkikohteen olosuhteiden seuranta.....	46
7.4 Wiiste SolidRH-järjestelmä.....	47
7.5 Olosuhdehallintaan käytettävät laitteet.....	51
8 Kuivaketju10 paalulaattakohteessa.....	54
8.1 Projektin luominen sähköiseen järjestelmään.....	55
8.2 Urakoitsijan tarkastuslista paalulaattakohteessa.....	59
9 Päätelmät.....	60
Lähteet.....	62

## Liitteet

Liite 1. Esimerkkiote Kuivaketju10:n suunnittelijan ja urakoitsijan tarkastuslistoista

## Käsitteet

Rakennuskosteus	Rakennusvaiheen aikana tai sitä ennen rakenteisiin tai rakennusmateriaaleihin joutunutta rakennuksen käytönaikaisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta, jonka on poistuttava.
RH	Suhteellinen kosteus [%] ( <i>relative humidity</i> ) ilmaisee todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrynpaineen välisen suhteen vallitsevassa lämpötilassa.
Kevytsora	Savesta paisuttamalla valmistettu ontto, soramainen rakennusmateriaali.
Kapillaarivirtaus	Huokosalipaineen paikallisten paine-erojen aiheuttama nesteen siirtymistä huokosessa aineessa.
Diffuusio	Aineen, kuten vesihöyryn siirtyminen suuremmasta vesihöyryn pitoisuudesta pienempään.
Konvektio	Vesihöyryn siirtyminen kaasuseoksen, kuten ilman mukana sen liikkeessä kokonaispaine-eron vaikutuksesta.
Haihtuminen	Aineen olomuodon muuttuminen nesteestä kaasuksi.
Kuivaketju	Materiaalin kuivana säilyminen sen eri vaiheissa aina sen valmistuksesta asennukseen.
Tuuletusaukko	Rakenteen ulkopuolelta tuuletustilaan johtava tuuletusilmavirran sisäänmeno- tai poistumisaukko.
Radon	Maaperässä esiintyvä terveydelle haitallinen jalokaasu.
EPS	Polystyreenistä valmistettu lämmöneriste, vanha tuotenimike Styrox.
kPa	Kilopascal, SI-järjestelmän mukaisen pascalin (1 N/1 m <sup>2</sup> ) kerrannaisyksikkö.
Läpileikkautuminen	Rakennetekninen ilmiö, jossa kappaleen leikkauskestävyys ylittyy tarkasteltavalla piirillä sitä rasittavan kappaleen voimasta.
Hydrataatio	Veden ja aineen yhdistämisestä aiheutuva reaktio. Esimerkiksi veden ja sementin välinen hydrataatio aikaansaa massan kovettumisen.

# 1 Johdanto

Perustamistavasta tai syntyvän rakennuksen ominaispiirteistä riippumatta rakennuksen kosteudenhallinta on avainasemassa, kun rakennetaan hyvän rakentamistavan mukaisesti. Kun rakentamisvaiheen kosteudenhallinta toteutetaan laadukkaasti ja oikeaoppisesti kerralla kuntoon, se kantaa pitkälle turvallisen ja kosteusteknisesti oikeaoppisesti toimivan rakenteen ja rakennuksen ansiosta.

Rakennuksen alapohjarakenne on yhdessä perustusten kanssa yleensä eniten kosteusrasituksille altistuva rakenne ja sen vuoksi alapohjarakenteen kosteudenhallintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kosteudenhallinnan päätavoitteena on aikaansaada lämpö- ja kosteusteknisesti oikeaoppisesti toimiva rakenne ja rakennus, joka toimii suunnitellusti koko rakennuksen elinkaaren ajan.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on luoda yritykselle paalulaattarakenteisten alapohjien kosteudenhallintaan teoriaa ja esimerkkikohteen ominaisuuksia lähteinä käytävä toimintamalli, jota voidaan hyödyntää tulevissa vastaavissa rakennushankkeissa. Opinnäytetyön tekeminen ajoittuu esimerkkikohteessa työskentelyn yhteyteen, jolloin työn tuloksia voidaan käyttää jo olemassa olevan rakennushankkeen paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallinnassa. Toimintamallin pääasiallinen käyttötarkoitus on kuitenkin vastaavanlaisissa tulevaisuuden hankkeissa.

Opinnäytetyö käsittelee paalulaattarakenteisen alapohjan teoriaa ja käyttötarkoituksia sekä rakennushankkeen kosteudenhallintaa. Kosteudenhallinta käsittää yleisen teoriaosuuden, josta se ohjautuu paalulaatan ja alapohjarakenteiden tapauksien tarkasteluun. Opinnäytetyössä analysoidaan myös olemassa olevan Kuivaketju10-kosteudenhallintatoimintamallin käytön sovelluksia paalulaattakohteen tapauksessa.

## **2 Kosteus rakentamisessa**

Suomen säätilat ja niiden radikaali vaihtelevuus asettavat haastavat kosteusolosuhteet rakennuksille ja niiden rakenteille jokaisena vuodenaikana. Vesi on yksi ilman osakaasuista, jolloin siltä ei voida välttyä, mutta sen haitallisuus rakenteille voidaan torjua oikeaoppisella toteutuksella ja riskien tunnistamisella. Kosteusongelmat vältetään, kun kaikki rakennushankkeen osapuolet pyrkivät kuivaan rakentamiseen (Sahlstedt ym. 2016, 4).

### **2.1 Rakennuksen kosteustekninen toimivuus**

Hankkeen pääsuunnittelijan tulee yhdessä rakenne- ja erityissuunnittelijan kanssa huolehtia rakennuksen suunnittelusta siten, että rakennus täyttää sen kosteustekniselle toimivuudelle asetetut tekniset vaatimukset suunnitellun käyttötarkoituksensa mukaisesti. Rakennuksen ja siihen kuuluvien rakenteiden tulee olla kosteusrasitukset huomioiden kosteusteknisesti moitteettomasti toimivia niiden suunnitellun käyttöiän ajan. Rakennuksen kosteuspitoisuus tai kosteuden kertyminen rakennuksen osiin ei saa vaurioittaa rakennusta eikä aiheuttaa rakennuksen käyttäjille minkäänlaista terveyshaittaa. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 b.)

Rakennuksen rakenteet tulee toteuttaa siten, että liiallisen kosteuden pääsy rakenteisiin estyy. Rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa tulee huomioida kosteuden poistumisteiden esteettömyys ja rakenteiden kuivattamisen mahdollisuus. (Merikallio 2001, 548.)

### **2.2 Kosteusrasitukset**

Kosteuslähteiden täsmällinen havaitseminen ja tunnistaminen ovat avainasemassa, kun pyrkimys on niiden ennaltaehkäisyyn ja torjuntaan. Kosteusrasituksia aiheuttavat kosteuslähteet jaetaan ulkoisiin ja sisäisiin kosteuslähteisiin. (Sisäilmäyhdistys ry b.)



Ulkopuolisia kosteuslähteitä ovat (Sisäilmäyhdistys ry b):

- sade- ja sulamisvedet
- maaperän kosteus ja pohjavesi
- pinta- ja hulevedet
- ulkoilman kosteus.

Sisäpuolisia kosteuslähteitä ovat (Sisäilmäyhdistys ry b):

- siivoamisesta ja peseytymisestä aiheutuva kosteus
- vesi- viemäri- ja lämmitysputkien tai niiden liitoskohtien vuodot
- talotekniikan laitteet ja kodinkoneet (kondenssivedet ja vuodot, kodinkoneet)
- rakennekosteus.

Kuten on tulkittavissa, rakennus ja sen rakenteet altistuvat monenlaiselle kosteusrasitukselle, joiden lähteet eivät välttämällä ole toisistaan riippuvaisia millään tavalla. Tämän vuoksi on ensisijaisen tärkeää kartoittaa kosteusrasitusten syntymekanismit ja siten pyrkiä ehkäisemään niiden haitallisuus. Yleisimmät kosteuslähteet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Rakennuksen yleisimmät kosteuslähteet (Sisäilmäyhdistys ry b)

Sade on voimakkain rakennuksen kosteusrasituksista. Suomessa vuosittainen sademäärä on noin 600 mm, josta merkittävä osa (noin 30 %) voi sataa syksyllä jopa muutaman päivän aikana. Tuuli voi aiheuttaa viistosadetta, jolloin sadevesi rasittaa rakennuksen vaakapintojen ohella myös pystypintoja. (Sisäilmäyhdistys ry b).

## **2.3 Kosteuden siirtymistavat**

Kosteus voi siirtyä rakennukseen tai rakenteeseen usealla eri tavalla. Kosteuden kulkeutumistapaan vaikuttavat käytettävien materiaalien ominaisuudet, rakennetyypit sekä tilojen ja rakenteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Kosteuden siirtymistavat tulee tuntea ja tiedostaa, jotta niiden haitallisuus voidaan torjua ja ennaltaehkäistä tehokkaasti.

### **2.3.1 Veden painovoimainen siirtyminen**

Vesi kulkeutuu painovoiman ansiosta aina alaspäin ja suurin osa rakennuksen kosteuden siirtymisestä perustuukin painovoimaiseen veden siirtymiseen. Tiettyissä rakennuksen kohdissa painovoimainen siirtyminen on usein toivottua, sillä muun muassa kylpyhuoneiden kaatolattioiden ja rakennuksen sadevesikourujen toiminta perustuu tähän kosteussiirtymiseen. Voimakkaasti kapillaarisissa materiaaleissa painovoimainen siirtyminen voi kuitenkin olla merkityksetön kapillaarivoimien suuruuden ylittäessä painovoiman. (Sisäilmayhdistys ry a.)

Ongelmatilanteita syntyy, kun vesi kulkeutuu painovoimaisesti kuivaksi tarkoitettuihin rakenteisiin muun muassa rakojen, saumojen ja halkeamien kautta (Sisäilmayhdistys ry a). Sen vuoksi rakenteiden ja erityisesti rakenteiden välisten liitos- ja saumakohtien oikeaoppinen tiivistäminen on tärkeää, sillä siten haitallista painovoimaista veden siirtymistä ei pääse alun perinkään tapahtumaan.

### **2.3.2 Kapillaarivirtaus**

Kapillaarivirtaus tarkoittaa veden siirtymistä kapillaariseen materiaaliin huokosalipaineen vaikutuksesta. Huokosalipaine syntyy vallitsevan ilmanpaineen ja aineen huokosissa olevan veden paine-erosta. (Vinha 2008, 378.)

Huokosalipaine vaikuttaa materiaalissa jokaiseen suuntaan vaikka usein puhutaan kapillaarisesta veden nousemisesta. Siten vesi voi myös siirtyä joka suuntaan rakenteessa tai materiaalissa. Kapillaarivirtauksen voimakkuus on riippuvainen käytettävästä materiaalista ja sen huokoisuudesta. Esimerkiksi tiilen kapillaarinen vedentunkeutumiskerroin on noin kymmenkertainen tavanomaiseen betoniin verrattuna ja siten sen kapillaarinen veden siirtymisnopeus on suurempi. (Sisäilmayhdistys ry a.)

Kapillaarivirtaus tulee huomioida etenkin maalle suorassa kontaktissa olevissa rakenteissa maan kosteuden vuoksi. Kapillaarisesti maasta siirtyvä kosteus on yleisin kosteusvaurioiden aiheuttaja betoni- ja tiilirakenteissa. Vaurio ilmenee muun muassa rakenteen pintakerroksen, kuten maalipinnan lohkeamisena ja irtoutumisena. Kosteuden kapillaarinen nousukorkeus on riippuvainen rakenteen vesihöyrytiivyydestä. Tiiviissä rakenteessa vesi pääsee nousemaan korkeammalle, koska vesi ei pääse haihtumaan rakenteesta ulos riittävän tehokkaasti. Myös rakenteen poikkileikkauksen pinta-ala vaikuttaa kapillaarisen kosteuden määrään, sillä suurempi pinta-ala kasvattaa kapillaarisesti siirtyvän veden määrää suhteessa kosteutta haihduttavaan pinta-alaan. (Sisäilmayhdistys ry e.)

### **2.3.3 Kosteuskonvektio**

Vesihöyryn siirtymistä ilmavirtauksen mukana kutsutaan kosteuskonvektioksi. Rakennuksessa ongelmatilanteita syntyy varsinkin kylmänä vuodenaikana, kun sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on suuri. Silloin sisäilma pyrkii rakennuksesta ulos sen ollessa lämpimämpää ulkoilmaan verrattuna. Kosteustekninen ongelma syntyy, kun ilman vesihöyry tiivistyy nestemäiseksi vedeksi kohdassaan viileän pinnan. Siten vettä voi kulkeutua haitallisesti kuivaksi tarkoitettuihin rakenteisiin ja rakennuksen osiin, kuten seinä- ja yläpohjarakenteisiin. Ongelma näkyy useimmiten yläpohjarakenteissa rakennuksen sisäisten paineolosuhteiden vuoksi. (Sisäilmayhdistys ry a.)

Rakennuksen sisäpuolelta ulospäin tapahtuvan kosteuskonvektion aiheuttamat haitat voidaan ehkäistä ilmansulkukerroksella, joka asennetaan lähelle rakennuksen vaipparakenteen sisäpintaa. Ilmansulkukerros katkaisee ilmavirtauksen pääsyn vaipan viileisiin osiin, jolloin kosteuden tiivistyminen niiden pintoihin on estetty. (Sisäilmayhdistys ry a.)

### **2.3.4 Diffuusio**

Kosteusteknisessä yhteydessä diffuusiolla tarkoitetaan vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan höyryn tai sen pitoisuuden osapaine-eroja kaasuoksessa. Lähes kaikki rakennusmateriaalit läpäisevät tietyn määrän vesihöyryä diffuusiolla. (Siikanen 2008, 84; Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 a.)

Diffuusiovirtauksen voimakkuus on suoraan riippuvainen vesihöyrynpitoisuuksien keskinäisestä erosta, suurempi vesihöyrynpitoisuusero aiheuttaa voimakkaamman diffuusiovirtauksen. Diffuusiovirtaukseen vaikuttaa oleellisesti myös materiaalin vesihöyrynläpäisevyys. Diffuusio ei ole riippuvainen lämpötilaeroista, vaikka sisäilmankosteus onkin pääsääntöisesti suurempi kuin ulkoilmankosteus. (Sisäilmayhdistys ry a.)

Kosteusteknisten ongelmien kannalta diffuusio voi aiheuttaa vaurioita, jos rakenteen sisäpuolelta kulkeutuu vesihöyryä rakenteen sisälle enemmän kuin rakenteesta on mahdollista poistua. Siten rakenteeseen voi aiheutua siirtyneen kosteuden tiivistymisestä aiheutunut kosteusvaurio. (Sisäilmayhdistys ry a.)

Käytettävä rakennusmateriaali ja materiaalin kerrospaksuus ovat kaksi olennaisinta diffuusiovauhtiin vaikuttavaa tekijää. Esimerkiksi tavanomaisen betonilaa-tan tapauksessa diffuusiovauhti on lähes mitätön verrattuna kapillaariseen veden nousemiseen. (Lindberg 2004, 434–435.)

### **3 Rakennushankkeen kosteudenhallinta**

Rakennushankkeen kosteudenhallinnan vaatimukset ja toimintaperiaatteet perustuvat useisiin lakipohjaisiin asetuksiin ja määräyksiin. Niistä merkittävin on 782/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, joka määrittää uuden rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden suunnittelua ja toteutusta. Asetus koskee myös olemassa olevan rakennuksen laajenustyötä, kerrosalaan laskettavan tilan lisäämistä, rakennuksen käyttötarkoituksen muutostyötä sekä korjaus- ja muutostyötä. Asetus pohjautuu maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999). (Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017; Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 e.)

Kosteudenhallinnan ensisijainen tarkoitus on estää kosteusvaurioiden synty ja ennaltaehkäistä kosteuden hallitsematonta syntyä tai pääsyä rakenteisiin. Kosteudenhallinta kattaa myös rakennuksen tai rakenteen sisäisen kosteuden hallitun poiston menettelyineen. Oikein toteutetulla kosteudenhallinnalla aikaansaa-

daan kosteusteknisesti oikeaoppisesti toimiva rakennus, joka on käyttäjilleen terveellinen ja turvallinen ympäristö koko rakennuksen suunnitellun käyttöiän ajan. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla rakennushankkeen kosteudenhallinnalla voidaan myös edesauttaa rakenteiden kuivumista. Kun rakenteet kuivuvat tavoitekosteuteensa suunnitellusti, aikatauluviivästyksiltä vältytään. Rakenteiden kuivustarpeen ja kosteudesta aiheutuvan materiaalihukan väheneminen näkyy myös rakennushankkeen kokonaistaloudessa. Hankkeen kosteudenhallinnasta vastaa pää toteuttaja, joka laatii rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen. (Merikallio 2001, 547; Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 c.)

### **3.1 Kosteudenhallintaselvitys**

Kosteudenhallintaselvitys on rakennushankkeeseen laadittava asiakirja, jossa rakennushankkeeseen ryhtyvä esittää vaatimuksensa, tavoitteensa ja laatutasonsa rakennushankkeen kosteudenhallinnalle. Selvityksen tulee kattaa näiden seikkojen laajuus hankkeen suunnitteluvaiheesta aina valmiin rakennuksen käyttöönottoon saakka. Rakennushankkeeseen ryhtyvän tulee huolehtia hankkeensa kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta itse tai se voidaan teetättää ulkoisella pätevällä asiantuntijataholla. Kosteudenhallintaselvityksessä esitetään vaatimukset hankkeen vaatimustasoille ja reunaehdoille, kosteudenhallintasuunnitelmalle, olosuhdehallintaan, rakenteiden kuivumiselle ja poikkeuksellisiin olosuhteisiin varautumiselle. Kosteudenhallintaselvitys toimii rakennushankkeeseen ryhtyvän kattavana lähtötietoasiakirjana hankkeensa kosteudenhallintaan. (Topten-rakennusvalvonnat 2018; Ympäristöministeriö 2020.)

Kosteudenhallintaselvityksen tulee sisältää hankkeen yleistiedot, kosteudenhallinnalliset vaatimukset sekä menettelytavat vaatimusten luotettavaan varmentamiseen. Selvityksessä esitetään myös tieto kosteudenhallinnan henkilöresursseista ja kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä. Kosteudenhallintaselvityksen sisällön laajuus riippuu rakennushankkeen ominaispiirteistä ja laajuudesta. Esimerkiksi pienikokoisessa muutostyö- ja korjaushankkeessa kosteudenhallintaselvitys voi olla lyhyimmillään kuvaus hankkeen toimenpiteistä, niihin liittyvistä kosteusriskeistä sekä valvonta- ja laadunvarmistustoimenpiteistä.

(Topten-rakennusvalvonnat 2018; Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 c.)

### **3.2 Kosteudenhallintakoordinaattori**

Kosteudenhallintakoordinaattori on rakennushankkeeseen ryhtyvän hankekohdaisesti nimeämä kosteudenhallinnan asiantuntijataho, joka nimetään hankkeeseen hankesuunnitteluvaiheessa. Kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävänä on valvoa ja ohjata rakennushankkeen kosteudenhallinnan toteutumista koko hankkeen keston ajan. Rakennushankkeeseen ryhtyvän tulee ilmoittaa kosteudenhallintakoordinaattorina toimiva henkilö rakennusvalvontaviranomaisille kosteudenhallintaselvityksen yhteydessä. (FISE 2020; Ympäristöministeriö 2020.)

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 asettaa vaatimukset kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyydelle. Määritetyt pätevyysvaatimukset ovat linjassa Kuivaketju10-toimintamallin sekä TOPTEN-rakennusvalvontojen tulkintakortin 117c 01 (Kosteudenhallintaselvitys, merkitys ja sisältö) kanssa. (FISE 2020.)

### **3.3 Kosteudenhallintasuunnitelma**

Kosteudenhallintasuunnitelma on rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen pohjautuva kosteudenhallinnallinen laadunvalvonta-asiakirja, jonka sisältö perustuu ympäristöministeriön asetuksen (216/2015) 15. §:ään. Kosteudenhallintasuunnitelmassa tulee esittää hankkeen kosteudenhallinnan vastuuhenkilöt. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 f.)

Rakennustyömaan kosteudenhallintasuunnitelma laaditaan rakennushankkeen alkuvaiheessa siten, että se on käytettävissä jo ennen työmaan aloitusta. Kosteudenhallintasuunnitelmalla parannetaan hankkeen kosteudenhallintaa ja ehkäistään kosteusvaurioiden riskiä. Kosteudenhallintasuunnitelmassa tulee esittää rakennuksen terveellisyyden kannalta olennaisia kosteusteknisiä tekijöitä, joihin vaikutetaan rakennushankkeen toteutuksen aikana. Suunnitelma tehdään

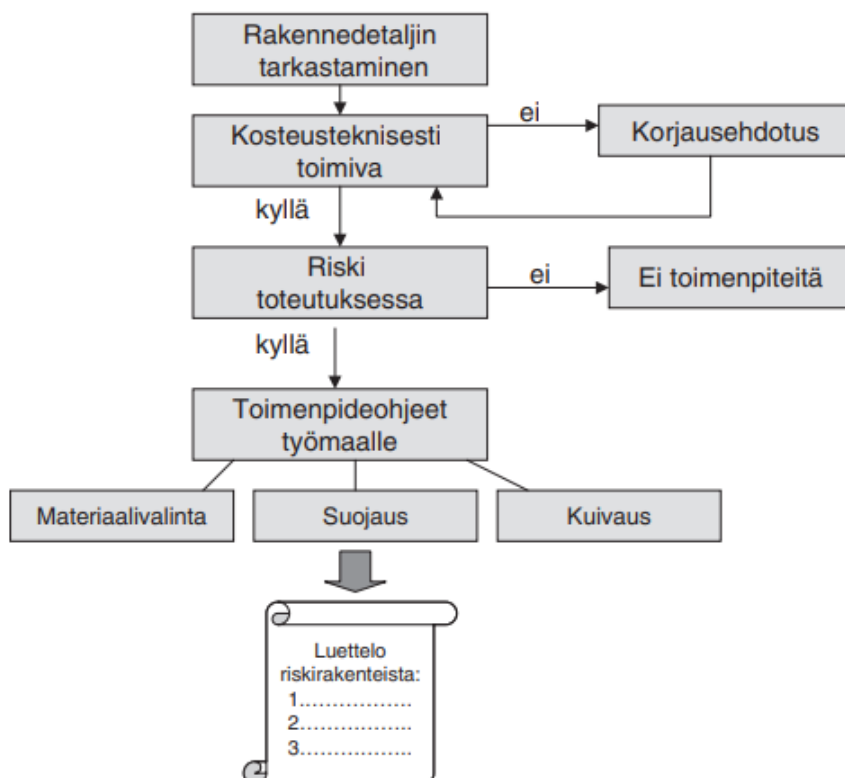
aina hankekohtaisesti ja sen sisältöön ja laajuuteen vaikuttavat hankkeen erityispiirteet ja vaatimukset. Kosteudenhallintasuunnitelmassa tulee esittää muun muassa (Ympäristöministeriö 2020, 21–22)

- rakennushankkeen perustiedot, erityispiirteet ja vastuuhenkilöt
- laatutavoitteet toimenpiteineen
- kosteusriskien kartoitus
- kuivumisaika-arviot
- olosuhdehallinta
- valvonta- ja mittaussuunnitelma
- mahdolliset erityisohjeet liittyen esimerkiksi märkätiloihin ja vuotoriskeihin.

Kosteudenhallinnan vastuuhenkilöllä tarkoitetaan henkilöä, joka vastaa hankkeen kosteudenhallinnan toteuttamisesta, valvonnasta ja työvaiheiden tarkastuksista rakennushankkeen aikana. Vastuuhenkilöt tulee nimetä aina hankekohtaisesti ja sellaisena voi toimia muun muassa rakennushankkeen vastaava työnjohtaja tai kosteudenhallinnasta vastaava työnjohtaja. Rakennushankkeen kaikki osapuolet tulee perehdyttää hankkeen kosteudenhallintasuunnitelman sisältöön, erityispiirteisiin ja velvollisuuksiin. Jokaisella työntekijällä on velvollisuus ilmoittaa työmaalla havaituista kosteudenhallinnallisista ongelmista työnjohdolle. Suurissa ja poikkeuksellisen haastavissa rakennushankkeissa perehdytyksiä voidaan järjestää säännöllisin väliajoin. (Ympäristöministeriö 2020, 22.)

### **3.3.1 Kosteusriskien kartoitus**

Kosteusriskien kartoitus on kosteudenhallintasuunnitelman osa-alue, jossa kartoitetaan rakennuskohteen ne kosteusriskit, joihin työmaatoteutuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kosteusriskien kartoittamisella tunnistetaan ne rakennuskohteen rakenteet ja käytettävät materiaalit, jotka voivat osoittautua kosteusteknisesti kriittisiksi. Kartoittamisen ensisijaisena tavoitteena on selvittää sellaisten rakenteiden ja hankkeessa käytettyjen rakenneratkaisujen mahdollisuus, joihin voi liittyä kosteusteknisiä ongelmia ja riskejä. Huolellisella kartoituksella voidaan ehkäistä kosteusvaurion syntymisen ja eliminoida mahdolliset rakennusfysikaaliset, kuten lämpö- ja kosteustekniset suunnitteluvirheet. Kosteusriskien kartoittamisen yleisperiaate on esitetty kuvassa 2. (Merikallio 2001, 547–548.)



Kuva 2. Rakennustyömaan kosteusriskien kartoitus (Merikallio 2001, 547) © Rakennustietosäätiö RTS 2020

Riskialttiista rakenteista ja materiaaleista voidaan laatia luettelo, jonka pohjalta hankkeen työnjohdon on helpompi kiinnittää huomiota näiden rakennedetaljien toteutusvaiheeseen (Merikallio 2001, 548). Nykyisin riskirakenteet esitetään pääosin hankkeen kosteudenhallintasuunnitelmassa, jolloin sen ulkopuolista, erillistä luetteloa ei välttämättä tarvita.

Kosteusriskien kartoitus käsittää kaikki rakennuskohteen rakennedetaljit ja arvioinnin niiden kosteusteknisen toiminnan riskialttiudesta. Kartoituksen ansiosta suunnitelmia voidaan tarvittaessa tarkentaa ja työmaan toimintaa voidaan ohjata koskien esimerkiksi kuivatusta, materiaalivalintoja ja sääsuojauksia. (Sisäilmayhdistys d.)

### 3.3.2 Kuivumisaika-arviot

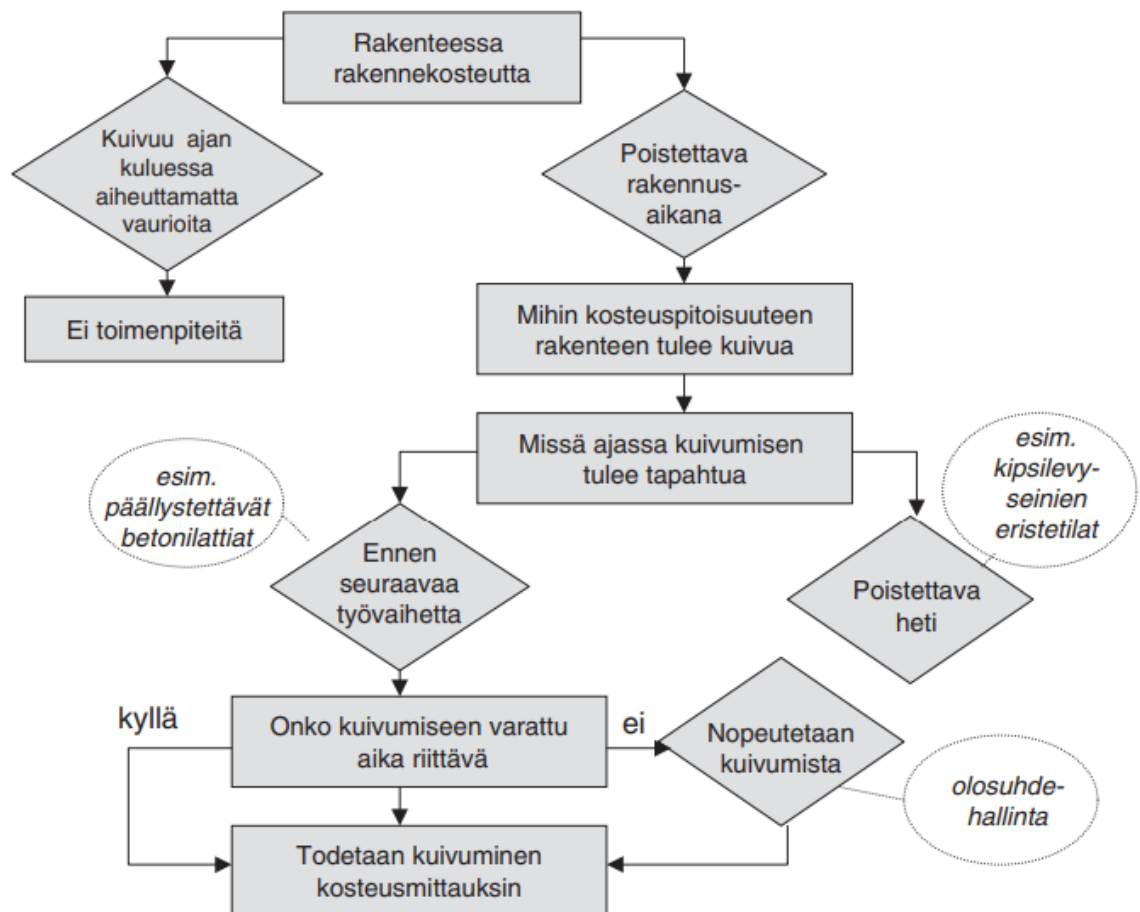
Rakennushankkeen kosteudenhallinnasta vastaavan henkilön tulee huolehtia siitä, että rakenteissa olevan kosteuden ja rakennuskosteuden määrä ja kuivumisaste sallii rakenteiden peittämisen sen kuivumista hidastavalla kerroksella.



Tällainen kerros voi olla esimerkiksi pinnoite tai toisen rakenne. Kuivumisasteen tulee olla sellainen, ettei rakenteen peittäminen tai pinnoittaminen aiheuta vaurioita kummallekaan kerrokselle. Kuivumisasteen selvittämisessä käytetään kosteusmittauksia, joiden toteutuksesta hankkeen päätoteuttaja vastaa. Mittausten avulla rakenteiden kosteuspitoisuus saadaan todettua asianmukaisesti ennen seuraavaan työvaiheeseen ryhtymistä. Realistinen kuivumisasteen arviointi edellyttää rakenteiden ja päällysteiden rakennusfysikaalisten ominaisuuksien sekä mittaustekniikoiden tuntemista. (Ympäristöministeriö 2020, 23–24; Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 d.)

Lähes kaikki rakennuskohteen rakenteet sisältävät ylimääräistä kosteutta, jonka on poistuttava. Enemmistössä rakenteita tämä kosteus pääsee poistumaan ilman kosteusteknisiä ongelmia, mutta joidenkin rakenteiden kosteudensietokyky ei salli kosteuden hidasta poistumista. Tällaisia rakenteita ovat muun muassa kevyet kipsilevyrakenteet, joihin päässyt kosteus voi aiheuttaa nopeasti mikrobivaurion synnyn. (Merikallio 2001, 548.)

Useat rakenteet vaativat riittävän kuivumisajan ennen seuraavaan työvaiheeseen ryhtymistä. Tällaisia ovat erityisesti betonirakenteet, jotka päällystetään kosteuserkällä pinnoitusmateriaalilla. Usein päällystystyö edellyttää alusrakenteen kuivumista päällysmateriaalin vaatiman kriittisen kosteusarvon alapuolelle. Kun rakenteiden kosteusolosuhteet tunnetaan, tarvittavat kuivumisajat voidaan selvittää ja tietoa voidaan käyttää muun muassa aikataulusuunnittelussa ja kuivauslaitteiden hankinnassa. Havainnollistava kaavio rakennekosteuden aiheuttamasta kuivatustarpeesta on esitetty kuvassa 3. (Merikallio 2001, 548; Sisäilmayhdistys ry d.)



Kuva 3. Rakenteen kuivatustarpeen arviointi (Merikallio 2001, 549) © Rakennustietosäätiö RTS 2020

Rakenteen kuivumisen tulkitaan alkavan hetkestä, jolloin lisäkosteuden siirtyminen rakenteeseen on estetty ja rakenteessa on riittävät lämpöolosuhteet (>10 °C). Kuivumisen etenemiseen voidaan vaikuttaa muun muassa olosuhdehallinnalla ja nopeammin kuivuvien materiaalien käyttämisellä. (Merikallio 2001, 548.)

Kuivumisaika-arviot ovat aina laskennallisia kokeisiin ja mittauksiin perustuvia arvioita, jotka antavat suuntaa todellisen kuivumisajan kestolle. Kuivumisaikoja voidaan arvioida ja laskea erilaisilla tarkoitukseen luoduilla ohjelmilla ja laskureilla kuten Betoniyhdistyksen laskentaohjelmalla BY1021. BY1021 mallintaa rakenteen kuivumiskäyttäytymisen rakennetyyppikohtaisesti ja ilmoittaa laskennallisen kuivumisajan viikkoina. Laskentaohjelman käyttämät muuttuvat laskentaparametrit ovat (Komonen 2013):

- paikallavaletun betonirakenteen paksuus [mm]

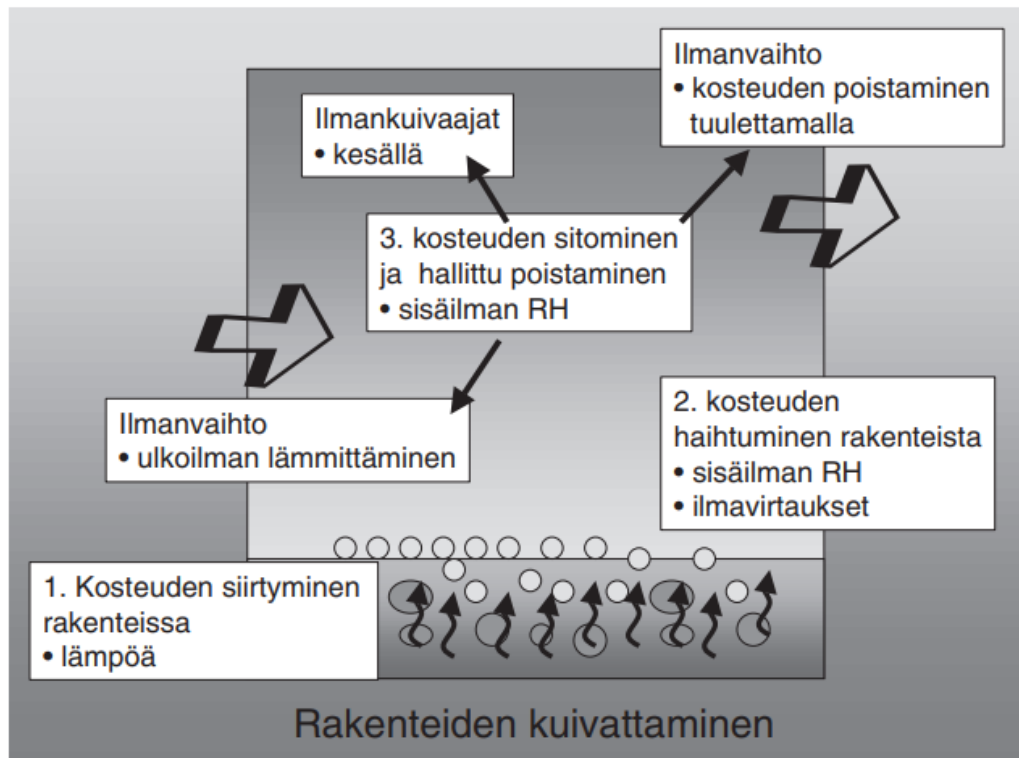
- rakenteen tavoitekosteus [%]
- betonin vesi-sideainesuhde
- alusrakenteen kosteus [%]
- jälkihoito
- kuivumisolosuhteet [T ja RH].

BY1021-laskentaohjelmaa voidaan käyttää myös esimerkiksi betonin hydrataation lämmöntuoton laskemiseen ja betonivalussa käytettävien lämmityslankojen kuivatusvaikutuksen arviointiin. Ohjelmalla voidaan arvioida laskennalliset arvot hyvin tarkasti, mutta todellinen tulos rakenteen kosteusolosuhteista saadaan vain rakennuskosteusmittauksilla. (Komonen 2013; Vahanen 2018.)

### **3.3.3 Olosuhdehallinta**

Rakennustyömaan olosuhteiden hallinta on tärkeä osa hankkeen kosteudenhallintaa, sillä sen avulla kosteusriskien haitallisuus voidaan ehkäistä tehokkaasti. Oikeaoppisella olosuhdehallinnalla rakenteiden ja materiaalien työaikainen kastuminen voidaan estää ja olosuhteet saadaan optimoitua rakenteiden kuivumiselle edullisiksi. (Merikallio 2001, 550.)

Olosuhdehallinnalle ominaisia konkreettisia toimenpiteitä ovat muun muassa rakenteiden ja käytettävien materiaalien oikeaoppinen suojaaminen ja rakennuskohteen kuivattaminen ja lämmittäminen. Paikallavalettujen betonirakenteiden kuivattamiselle ilmankosteuden raja-arvona voidaan pitää 50 % RH:ta eikä sen matalamman RH:n merkitys kosteuden poistumiselle ole enää suuri. Sen sijaan ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 70 % rakenteen kuivuminen hidastuu. Erittäin suuri ilman kosteuspitoisuus aiheuttaa kosteuden siirtymisen ilmasta rakenteeseen. Rakennusaikaisen kuivattamisen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. (Merikallio 2001, 550–551.)



Kuva 4. Rakenteiden kuivattamisen rakennusfysikaalinen periaate (Merikallio 2001, 551) © Rakennustietosäätiö RTS 2020

Rakenteiden ja kokonaisten rakennuksen osien suojauksella pyritään poistamaan sääolosuhteiden haitallinen vaikutus rakenteiden ja materiaalien laadulle ja kosteusolosuhteille. Suojaus voidaan toteuttaa erillisillä sää- ja julkisivusuojilla. Pienikokoisten rakenteiden ja materiaalien suojaus toteutetaan usein kevyt- ja raskaspeittein sekä erilaisilla tilapäisratkaisuilla. (Sisäilmayhdistys ry d.)

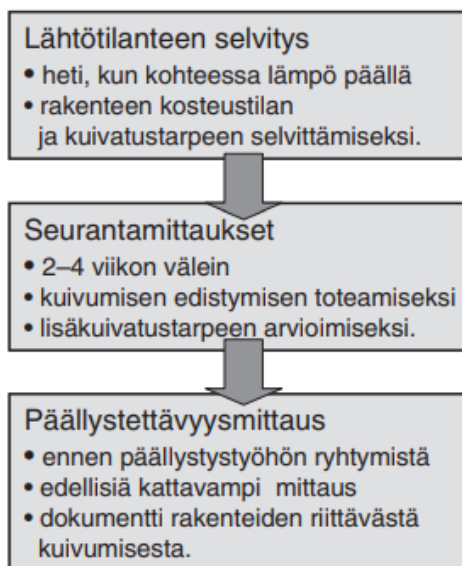
Asianmukaisilla suojauksilla estetään rakenteiden ja rakennustuotteiden vaurioituminen ja terveydelle haitallisten home- ja mikrobikasvustojen syntyminen, mutta sillä voi olla myös muunlaisia positiivisia vaikutuksia rakennushankkeelle. Kunnollisella olosuhdehallinnalla on vaikutus myös työskentelyolosuhteisiin, joka voi heijastua sairaspöissaolojen vähenemiseen ja työtehokkuuden ja -mukavuuden paranemiseen. (Sisäilmayhdistys d.)

Rakennustyömaan olosuhdehallinnalla saavutetaan materiaaleille vaaditut asennusolosuhteet, rakenteiden kuivuminen ja lopulta terveellinen rakennus. Vastuu olosuhdehallinnan konkreettisesta toteutuksesta tulee olla jokaisella työmaan työntekijällä. (Kuivaketju10 c 2018, 2.)

### 3.3.4 Valvonta- ja mittaussuunnitelma

Rakennushankkeen kosteudenhallinnasta vastaava taho valvoo kosteudenhallinnan toteuttamista työkohteessa. Jokaisen työmaalla toimivan tulee tiedostaa kosteusteknisesti kriittiset seikat ja huolehtia oman toimialueensa kosteusteknisen toiminnan oikeaoppisuudesta. Eri osapuolten kosteudenhallintaan liittyvät tehtävät ja vastuut sovitaan sopimusasiakirjoissa. Kosteudenhallinnan valvontaan ja vastuisiin liittyvät olennaiset seikat esitetään kosteudenhallintasuunnitelman valvontaosiossa. (Merikallio 2001, 553.)

Rakennustyömaalle laaditaan kosteusmittaussuunnitelma, joka sisältää tiedot suoritettavista kosteusmittausmenetelmästä tai -menetelmistä ja niihin käytettävistä laitteistoista. Mittaussuunnitelmassa tulee myös esittää tehtävien mittausten laajuus, aikataulu sekä mittauspisteiden sijainti. Suunnitelmassa tulee myös tuoda ilmi mittaussyvyyksien ja -sijaintien valintaperusteet. Rakenteiden kosteusmittausten avulla voidaan selvittää rakenteiden todellisen kuivumisen tilanne ja mahdolliset poikkeamat rakenteen kosteusteknisessä käyttäytymisessä. Rakennuskosteusmittausten toteutuksen periaate on esitetty kuvassa 5. (Merikallio 2001, 552–553; Ympäristöministeriö 2020.)



Kuva 5. Rakennuskosteusmittausten toteutuksen kulku (Merikallio 2001, 552) © Rakennustietosäätiö RTS 2020

Mittaustöihin ryhtyessä mitattavien rakenteiden lähtötilanne on syytä selvittää, jotta alkuperäinen olosuhdetilanne tunnetaan. Lähtötilanteen selvittämisen jälkeen tehtävillä seurantamittauksilla kosteusolosuhteiden tilannetta ja muuttamista voidaan tulkita. Mittausten seurannan perusteella kuivatuksen tarpeisiin voidaan reagoida olosuhdemuutoksilla. Päälystettävien rakenteiden olosuhteet tulee mitata kattavasti ja lupa päälystystöille voidaan myöntää vasta hyväksytyjen mittaustulosten myötä. Päälystystöiden mittauksista tulee tuottaa kattavat dokumentit, joiden perusteella rakenteen riittävä kuivuminen on todennettavissa. (Merikallio 2001, 552.)

Kosteudenhallinnallisia mittauksia ovat rakennekosteusmittausten ohella sisäilman lämpö- ja kosteusmittaukset. Kun rakennuskosteusmittausten tuloksia verrataan rakennuskohteen sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteisiin, voidaan tulkita niiden välinen yhteys. Siten voidaan päätellä mihin suuntaan työmaan olosuhteita tulee muuttaa, jotta tavoitellut rakenteiden olosuhteet saavutetaan. Mittaussuunnitelman tulee sisältää vastuuhenkilöiden (kosteudenhallinnasta vastaava, rakennuttajan edustaja, vastaava mestari ja kosteustekninen suunnittelija tai pääsuunnittelija) allekirjoitukset. (Seppälä 2013, 13–17.)

### **3.4 Materiaalien vastaanotto ja varastointi**

Työmaalle tilatut rakennusmateriaalit tulee suojata vastaanottaessa, jos niitä ei saada heti rakennuksen sisälle tai muuhun suojaan. Rakennusmateriaalit pakataan toimittajan puolesta kuljetuksen ajaksi, mutta monesti pakkauksen suojaus ei ole riittävä. Materiaalien ja rakennusosien suojauksessa tulee huomioida materiaalien vastaanoton ja välivarastoinnin ohella mahdollinen pitempiaikainen varastointi ja niihin kohdistuvien sääolosuhteiden vaikutus. (Sahlstedt ym. 2013, 160.)

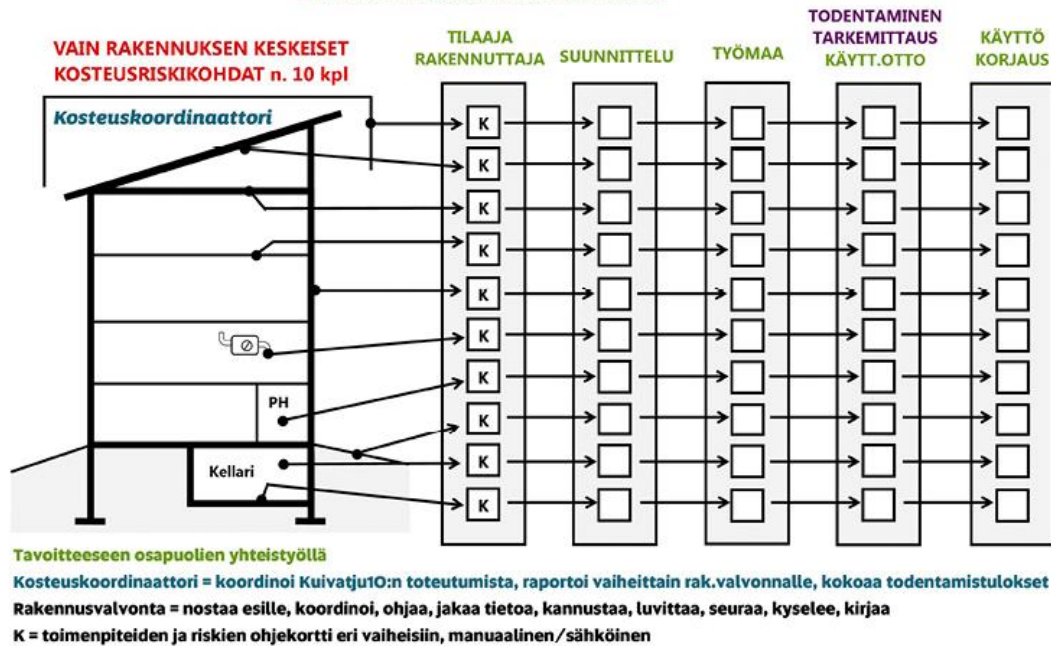
Rakennusmateriaalien suojaamisen olosuhteiden tulee olla mahdollisimman lähellä käytönaikaisia olosuhteita, jolloin materiaaliin kohdistuva kosteusolosuhteiden muutos ei ole suuri. Varastointipaikkoja suunniteltaessa tulee huomioida maan kantavuus ja vesien poisjohtaminen. (Sahlstedt ym. 2013, 159–160.)

Materiaaleja varastoitaessa tulee huomioida mahdolliset varastointialueella olevat rakenteet. Esimerkiksi rakennuksen rungon sisään varastoitaessa tulee huolehtia, etteivät paikallavalurakenteiden päälle varastoidut materiaaliniput häiritse rakenteen kuivumista. (Sisäilmayhdistys ry d.)

## **4 Kuivaketju10**

Kuivaketju10 on Oulun kaupungin rakennusvalvontaviraston yhdessä Suomen ympäristöministeriön kanssa kehittämä rakennushankkeen kosteudenhallinnan toimintamalli, jolla pyritään kosteusvaurioiden synnyn ehkäisemiseen niin rakentamisvaiheen kuin valmiin rakennuksen koko elinkaaren aikana. RALA (Rakentamisen Laatu ry) vastaa Kuivaketju10:n ylläpidosta ja jatkokehityksestä. (Kuivaketju10.)

Toimintamalli perustuu kosteusriskit kartoittavaan toimintaketjuun, jossa mahdolliset kosteusvaurion aiheuttajat havaitaan ja tunnistetaan jokaisessa hankkeen työvaiheessa aina rakennuksen käyttöönottoon saakka ja niiden ehkäiseminen ja torjunta todetaan luotettavalla tavalla. Kuivaketju10 sisältää riskilistan ja riskien todentamisohjeen, joita hankkeen suunnittelijat täydentävät kohteen erityispiirteillä. Siten toimintamallin sisältö saadaan yksilöityä kullekin rakennushankkeelle. Erityispiirteet aiheutuvat muun muassa rakennushankkeen sijainnista, asema-kaavan ominaispiirteistä, hankkeen rakenneratkaisuista ja käytettävistä materiaalivalinnoista. Toimintamallin periaate on esitetty kuvassa 6. (Kuivaketju10.)



Kuva 6. Kuivaketju10-toimintamallin periaate (Saari 2017)

Kuivaketju10-toimintamallin takana ovat lisääntyneiden kosteus- ja homevaurioituneiden rakennusten ilmentyminen ja siitä aiheutuvat kustannukset sekä Suomalaisen rakentamisen negatiivissävytteisen maineen kehittyminen. Kosteus- ja homevaurioituneista rakennuksista aiheutuneiden kustannuksien on arveltu olevan jopa miljardiluokkaa. Kuivaketju10:n kehittäminen alkoi vuonna 2015 ja kehitystyössä olivat mukana muun muassa useat rakennusalan toimijat ja järjestöt, Suomen eri kaupunkien rakennusvalvonnat sekä erilaiset pilottihankkeet. (Saari 2017.)

Kuivaketju10 pohjautuu vallitseviin rakentamista ja rakennusten kosteusteknistä toimivuutta koskeviin määräyksiin ja ohjeisiin, joista olennaisin on 782/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Ympäristöministeriö on toinen Kuivaketju10:n pääkehittäjistä, joten asetus on toimintamallissa hyvin määräävässä roolissa.

PKS-Rava on kokoelma rakentamisen TOPTEN-käytäntöjä ja yleisiä ohjekortteja, joka on laadittu Suomen rakennusvalvontojen ja rakennusalan toimijoiden toimesta. Kokoelman tavoitteena on tukea vallitsevien rakentamissäännösten ja



määräysten käytännön soveltamista, edistää hyvää rakentamistapaa, ennaltaehkäistä rakentamisvirheitä, lisätä rakentamisen sujuvuutta sekä jakaa yleistä tietoa rakentamisesta. (PKS-Rava 2020.)

PKS-Ravan ohjekortit ja TOPTEN-käytännöt perustuvat ympäristöministeriön vallitseviin asetuksiin ja säädöksiin. Ympäristöministeriö on Kuivaketju10:n toinen kehittäjä, joten Kuivaketju10 voidaan katsoa linjautuvaksi PKS-Ravan ohjeiden kanssa. Siten Kuivaketju10:n voidaan todeta täyttävän PKS-Ravan käytännöissä ja ohjeissa esitetyt vaatimukset.

#### 4.1 Kymmenen keskeisintä kosteusriskiä

Kuivaketju10-toimintamallin riskilista sisältää kymmenen keskeisintä kosteusriskiä, jotka perustuvat yleisiin havaintoihin suomalaisen rakentamisen ongelmakohdista. Kymmenen keskeisintä kosteusriskiä ovat esitetty kuvassa 7. (Kuivaketju10 f.)

- 
1. Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita.
  2. Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle.
  3. Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan.
  4. Kosteutta siirtyy ilmansulkukerroksen vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.
  5. Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin.
  6. Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja.
  7. Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet.
  8. Kosteiden betonirakenteiden päälystäminen aiheuttaa päälystemateriaalin turmeltumisen.
  9. Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen.
  10. Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti.

Kuva 7. Kymmenen keskeisintä kosteusriskiä (Kuivaketju10 b 2018, 1)

Kymmenen keskeisintä kosteusriskiä on syytä tunnistaa, sillä vain siten niiden torjuminen on mahdollista. Kymmenen keskeisimmän kosteusriskin hallinnalla voidaan välttää peräti 80 % kosteusvaurioiden aiheuttamista kustannuksista (Kuivaketju10 a 2018, 3).

## 4.2 Tilaaminen

Kuivaketju10:n käyttö alkaa rakennushankkeen tilaajan päätöksestä toteuttaa rakennushanke Kuivaketju10:n toimintatapojen ja periaatteen mukaisesti. Tilaaja nimeää hankkeeseen kosteudenhallintakoordinaattorin, joka valvoo ja koordinoi Kuivaketju10:n toteutusta hankkeen aikana aina rakennuksen käyttöönottoon saakka. Tilaajan tulee ilmoittaa ja sopia Kuivaketju10:n käytöstä hankkeen urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kanssa jo tarjouspyyntövaiheessa. Kuivaketju10 kirjataan hankkeen pakolliseksi vaatimukseksi myös hankkeen lopullisiin urakka- ja suunnittelusopimuksiin. (Kuivaketju10 g.)

Hankkeen suunnitteluvaiheessa toimintamalli koskee erityisesti rakenne-, arkkitehti-, LVI-, sähkö- ja automaattisuunnittelijoita. Suunnittelijoiden tulee perehtyä Kuivaketju10-riskilistan sisältöön ja huomioida sisältö hankkeen erityispiirteissä ja suunnitelmissaan. Tämän kokonaisuuden pohjalta luodaan hankkeen lopullinen riskilista ja riskien todentamisohje, jotka kosteudenhallintakoordinaattori hyväksyy. (Kuivaketju10; Kuivaketju 10 g.)

Kuivaketju10 sisältää sähköisen järjestelmän, joka yksilöidään toimijalle ajankohtaisten hankkeiden toimintamallin toteutuksen ja seurannan helpottamiseksi. Sähköinen järjestelmä sisältää hankkeen tiedot, hankekohtaisen kustomoidun riskilistan ja dokumentointiosion toimintamallin toteutumisesta (Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä). Siten Kuivaketju10:n toteutus ja koordinointi on hallittua ja dokumentaatio yksinkertaisempaa.

Kuivaketju10-toimintamallin käyttö rakennushankkeessa vähentää kosteudenhallintaselvityksessä vaadittavien esitettävien toimenpiteiden ja alakohtien määrää. Kun rakennushanke toteutetaan Kuivaketju10-toimintamallin mukaisesti, ei kaikkia TOPTEN 117c 01A-ohjekortin mukaisia ohjeita tarvitse erikseen kosteudenhallintaselvityksessä esittää, vaan niiden katsotaan sisältyvän toimintamallin kokonaisuuteen. Edellytyksenä tälle on, että kaikki rakennushankkeen osapuolet

sitoutuvat Kuivaketju10-toimintamallin noudattamiseen ja toimintamallin toteutuksessa huomioidaan kaikki hankkeen erityispiirteistä johtuvat kosteusriskit. (Toppen-rakennusvalvonnat 2018.)

Kuivaketju10-toimintamallin käyttö rakennushankkeessa ei vähennä hankkeen kosteudenhallintasuunnitelman laajuutta tai merkitystä, vaan sen rooli korostuu entisestään. Kuivaketju10:n mukaisesti toteutetussa rakennushankkeessa työvaihe- ja rakennekohtaisia kosteudenhallintasuunnitelmia laaditaan useita kappaleita, joiden pohjalta hankkeen varsinaista kosteudenhallintasuunnitelmaa täydennetään ja päivitetään. Esimerkiksi rakennesuunnittelija voi laatia rakennekohtaisen kosteudenhallintasuunnitelman kyseessä olevalle rakenteelle ja sen sisältämille työvaiheille, jonka avulla työmaalla laadittua kosteudenhallintasuunnitelmaa täydennetään. Myös näiden kosteudenhallintasuunnitelmien tulee täyttää Ympäristöministeriön asetuksessa 782/2017 esitetyt vaatimukset. (Seppälä 2020.)

### **4.3 Työmaatoteutus**

Hankkeen pääurakoitsija vastaa Kuivaketju10:n toteuttamisesta työmaalla. Pääurakoitsijan tulee perehdyttää kaikki työmaan toimijat Kuivaketju10:n toimintaperiaatteisiin ja varmistua, että työntekijät tuntevat työvaiheet, joita toimintamallin riskien toteaminen erityisesti koskee. Urakoitsijan päätehtävä Kuivaketju10:ssä on todentaa hankkeen työvaiheiden onnistuminen suunnittelijoiden tarkentaman todentamisohjeen sisältämän tarkistuslistan mukaisesti. Todentamisohje sisältää urakoitsijan tarkistuslistan, jonka avulla urakoitsija todentaa työvaiheiden onnistumisen työmaalla. (Kuivaketju10 h.)

Kuivaketju10:n mukainen todentaminen sisältää dokumentointivelvoitteen, jolla varmistetaan todentamisen oikeaoppisuus koskien tarkistuslistan sisältöä ja oikeita tarkistusajankohtia. Kokonaisvastuu todentamisesta määritetään yhdelle henkilölle, joka hyväksytetään hankkeeseen nimetyllä kosteudenhallintakoordinaattorilla. (Kuivaketju10 h.)

#### 4.4 Käyttöönotto ja käyttö

Rakennuksen käyttöönottovaihe on jaettu Kuivaketju10:ssä kahteen vaiheeseen. Ensimmäinen käyttöönottovaihe sisältää samat tehtävät ja toimintatavat kuin työmaatoteutus, jolloin pääurakoitsijan olennaisin tehtävä on dokumentoida riskejä sisältävien työvaiheiden oikeaoppinen toteutus urakoitsijan tarkistuslistan mukaisesti. Tarkistuslista sisältää erityisesti rakennuksen käyttöönottovaiheeseen liittyviä riskejä. (Kuivaketju10 e.)

Rakennuksen toinen käyttöönottovaihe sisältää lopullisen arvioinnin toimintamallin toteutuksesta. Arviointi tapahtuu kosteudenhallintakoordinaattorin seurannan ja raportoinnin sekä urakoitsijan tarkastuslistan mukaisen dokumentoinnin pohjalta. (Kuivaketju10 e.)

Kuivaketju10:n mukaisesti toteutetun rakennushankkeen käyttöönoton loppuyhteenvetona muodostetaan toimintamallin onnistumista ja mahdollisia poikkeamia käsittelevä loppuraportti. Mikäli havaittuja poikkeamia ei korjata, niiden merkityksellömyys tulee voida perustella. Loppuraportti hyväksytetään hankkeen tilaajalla, suunnittelijoilla, kosteudenhallintakoordinaattorilla ja urakoitsijalla. (Kuivaketju10 e.)

Kuivaketju10 asettaa vaatimuksia rakennuksen käytönaikaiselle ylläpidolle, jolla pyritään rakennuksen kuivana ja terveellisenä säilymiseen koko rakennuksen käyttöiän ajan. Rakennuksen huoltokirjaan sisällytetään Kuivaketju10-osio, jonka laativat urakoitsija yhdessä kosteudenhallintakoordinaattorin ja suunnittelijoiden kanssa. Huoltokirjan osio sisältää kaikki Kuivaketju10-riskilistan kohdat, jotka vaativat rakennuksen käytönaikaisia toimenpiteitä. Huoltokirjassa tulee esittää riskikohtia koskevat tarkastukset ja kunnossapitotoimenpiteet. Kuivaketju10-statuksen säilyminen edellyttää toimintamallin uudelleen arvioimista säännöllisin väliajoin rakennuskohteessa. Ensimmäinen väliarviointi suoritetaan tyypillisesti kaksi vuotta rakennuksen käyttöönoton jälkeen juuri ennen hankkeen takuuajan päättymistä. Väliarvioinnin jälkeiset jatkoarvioinnit suoritetaan viiden vuoden välein. (Kuivaketju10 d.)

#### **4.5 Kuivaketju10:n sähköinen järjestelmä**

Kuivaketju10:n sähköinen järjestelmä on Rakentamisen Laadun (RALA) luoma maksuton internetpalvelu, jonka tehtävänä on helpottaa rakennushankkeen Kuivaketju10-toimintamallin toteutusta ja seurantaa. Sähköinen järjestelmä sisältää hankekohtaisen toimintamallin riskilistan, jossa Kuivaketju10:n edellyttämät tehtävät ja vastuut on määritelty hankkeen eri osapuolille. Riskilista muodostuu toimintamallin kymmenen keskeisimmän kosteusriskin ja hankkeen erityispiirteiden yhteisvaikutuksesta. Yhtenäisen järjestelmän ansiosta toimintamallin toteutusta ja kosteusriskejä koskeva tieto on ajan tasalla ja jokaisen hankkeen osapuolen käytössä. Sähköinen järjestelmä edesauttaa myös hankkeen osapuolten välistä tiedonkulkua. (Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä; RALA 2020.)

Kuivaketju10:n mukaisesti toteutettavan rakennushankkeen jokainen osapuoli saa tunnukset toimintamallin sähköiseen järjestelmään. Sähköisen järjestelmän pääkäyttäjä on hankkeen kosteudenhallintakoordinaattori, joka valvoo toimintamallin toteutusta ja etenemistä. Sähköinen järjestelmä on käytännöllisin tapa toteuttaa rakennushanke Kuivaketju10:n mukaisesti. (RALA 2020.)

### **5 Paalulaatta**

Paalulaatalla tarkoitetaan yhtenäistä, paaluilla perustettua teräsbetonista laattarakennetta, jonka katsotaan olevan painumaton rakenne (Liikennevirasto 2014, 12). Paalulaatta on alun perin infrarakentamisessa käytetty pohjavahvistus- ja perustamistapa, josta se on alkanut yleistyä myös talonrakennuksen kohteissa.

Paalulaatta soveltuu käytettäväksi kohteissa, joissa muiden perustamis- tai pohjavahvistustapojen käyttö ei ole geoteknisesti mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa. Tyypillisimpiä paalulaatan käyttökohteita ovat sijainnit, joissa rakennus perustetaan syvälle pehmeikölle ja joissa rakennuspohjan alueen penkereet ja luiskat ovat matalia. Paalulaattaa voidaan käyttää myös tilanteissa, kun varaudutaan maaperän kuormitustilojen muutoksiin. (Liikennevirasto 2014, 12.)

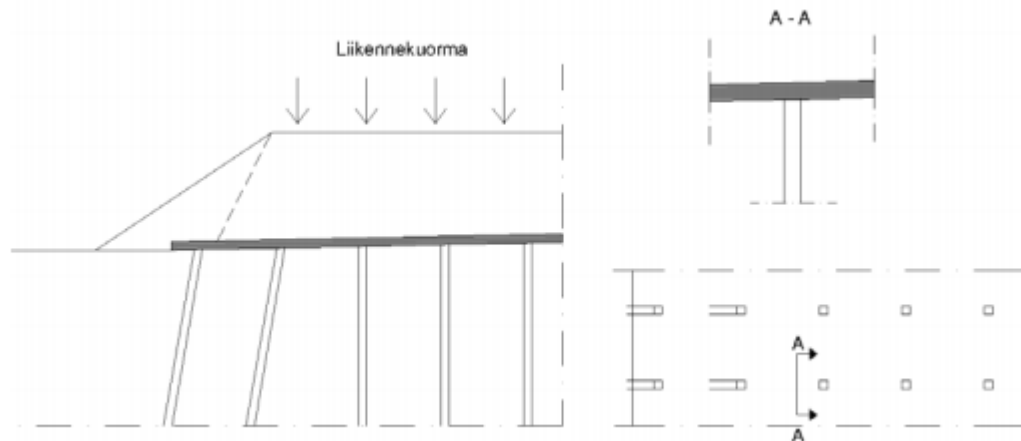
Paalulaatta suunnitellaan tehtäväksi yhtenä valuna, jolloin rakenteesta tulee tiivis ja saumaton. Jos valu kuitenkin suunnitellaan tehtäväksi eri vaiheissa, tulee varmistua laatan eri vaiheessa valettujen osien keskinäisestä liittorakenteellisesta toiminnasta. (Liikennevirasto 2014, 13.)

Paalulaatta mitoitetaan Liikenneviraston ohjeen 31/2017 NCCI<sub>2</sub> mukaan. Ohje on betonirakenteiden suunnitteluun käytettävä eurokoodin soveltamisohje, jota käytetään laajalti yleisten teiden siltojen, kevyenliikenteen siltojen, rautatiesiltojen sekä muiden vastaavien betonirakenteiden suunnittelussa. Paalulaatta mitoitetaan murtorajatilassa taivutukselle, leikkaukselle ja läpileikkaantumiselle. Käyttörajatilamitoituksessa tulee tarkastaa halkeamaleveydet tavalliselle ja pitkäaikaiselle kuormitusyhdistelmälle. (Liikennevirasto 2017, 3; Liikennevirasto 2014, 38.)

## **5.1 Paalulaattatyypit**

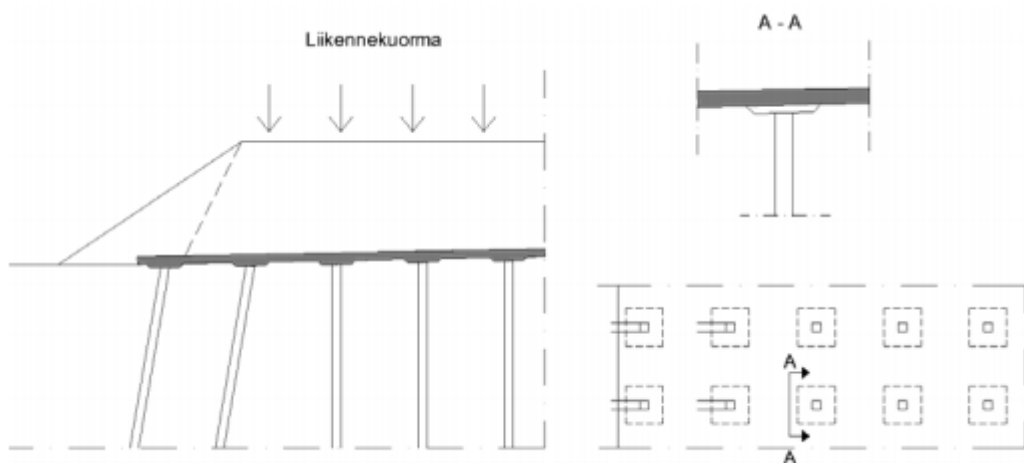
Yleisimmin käytettyjä paalulaattatyyppejä on kolme erilaista, joiden rakenteellinen toiminta ja käyttökohteet poikkeavat toisistaan. Paalulaattatyypit ovat tasapaksu laatta, sienilaatta ja palkkilaatta. Laattatyypin valintaan vaikuttavat laatan massoihin liittyvät kustannukset, suunnitellun laatan muoto, muotti- ja raudoitustyön haastavuus, alustyön haastavuus sekä varautuminen paalujen epätasaisiin painumiin. (Liikennevirasto 2014, 13.)

Tasapaksu laatta (Kuva 8) on kolmesta laattatyypistä yksinkertaisin, joka heijastuu sen rakentamisen helppouteen ja nopeuteen. Tasapaksu laatta voi olla leikkausraudoitettu tai leikkausraudoittamaton ja se sallii paalujen sijaintipoikkeamia laajemmin verrattuna kahteen muuhun laattatyyppiin. Tasapaksu laatta on massiivinen betonirakenne, jonka vuoksi se ei ole rakenneteknisesti edullisin toteuttaa. Läpileikkautuminen on usein etenkin leikkausraudoittamattomissa laatoissa mitoitettava tekijä, joka heijastuu suuriin laattapaksuuksiin. (Liikennevirasto 2014, 13.)



Kuva 8. Tasapaksun laatan periaatekuva (Liikennevirasto 2014, 14)

Sienilaatta (Kuva 9) on paalulaattatyyppi, jonka paksuuden usein määrittää laatan läpilleikkautuminen. Sienilaatta on Suomen yleisin paalulaattatyyppi. Sienilaatan rakentaminen on työläämpää kuin tasapaksun laatan tekeminen, koska sieniosa on muotoiltava laatan valua varten erillisesti. Sienilaatta on lähes poikkeuksetta tasapaksua laattaa kevytrakenteisempi ja siten edullisempi toteuttaa pienemmän materiaalimenekin ansiosta. Mikäli laatan sienijä ja laattaosat valetaan eri vaiheissa, valuosien rakennetekninen liittävaikutus tulee varmistaa suunnittelussa. (Liikennevirasto 2014, 13.)

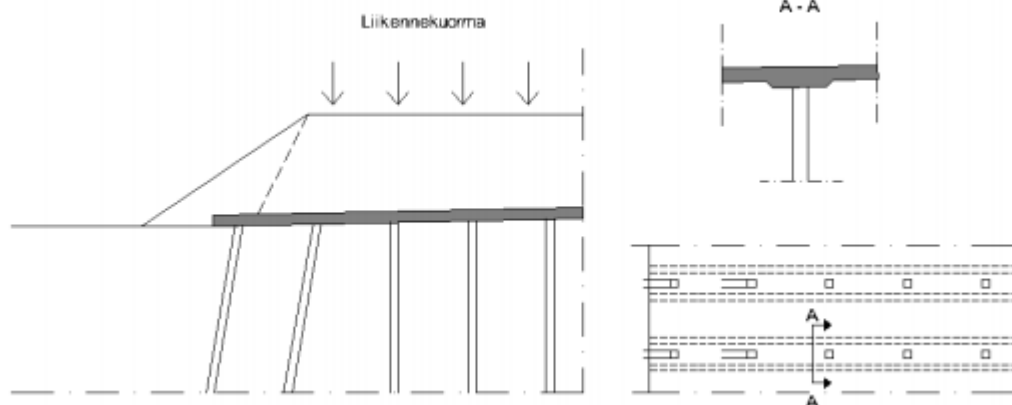


Kuva 9. Sienilaatan periaatekuva (Liikennevirasto 2014,14)

Palkkilaatta (Kuva 10) on paalulaattatyyppi, jonka rakenteellinen toiminta perustuu laatan pääraudoituksen kantavuussuuntien dimensioihin ja ominaisuuksiin.

Palkkilaatassa pääraudoitus kulkee niin palkkilinjojen myötäisesti kuin kohtisuoraan niitä vastaan. Laatan pääasiallinen rakennetekninen toiminta perustuu tähän pääraudoitusten yhteisvaikutukseen. Palkkilaatan palkkirakenteet voidaan valaa muotteja käyttäen tai muotoilemalla palkkiosat yhtenäiseen työalustaan. (Liikennevirasto 2014, 13.)

Palkkilaatan etuja ovat rakenneteknisen mallinnuksen yksinkertaisuus ja pienemmät raudoituskustannukset verrattuna muihin laattatyyppeihin. Palkkilaatta sallii suurempien paalukokojen käyttämisen laatan palkkien kuormanjakokyvyn ansiosta. Paalutustyö laatalle tulee tehdä erityistä tarkkuutta noudattaen, sillä palkkilaatta on erityisen herkkä paalujen sijaintipoikkeamia vastaan. Suuri betonimekaniikka yhdessä haastavan ja kalliin muottityön kanssa selittää palkkilaatan vähemmän käytön. Palkkilaattoja käytetään pääasiassa infrarakentamisessa esimerkiksi ratarakenteita perustaessa. (Liikennevirasto 2014, 13.)



Kuva 10. Palkkilaatan periaatekuva (Liikennevirasto 2014, 14)

## 5.2 Paalulaatta rakennuksen perustusrakenteena

Paalulaatan käyttö rakennusten perustusrakenteena on yleistynyt teknologian kehittymisen myötä ja rakentamisympäristöjen muuttuessa haastavimmiksi. Infrarakentamisen suurten suuruusluokkien hankkeet viime vuosikymmeninä ovat aikaansaaneet vankan perustamistekniikan, jota voidaan hyödyntää talonrakennustekniikassa yhä enemmän.



Nykyaikaisten paalujen ja paalulaatan ansiosta pystytään rakentamaan kaupunkien ja taajamien heikkopohjaisillekin alueille, jotka ovat sijainniltaan haluttuja mutta niille rakentamista on aikaisemmin vältetty heikkojen pohjaolosuhteiden vuoksi. Talonrakentamisessa yleisin paalulaattaratkaisu on tasapaksu paalulaatta, joka on perustettu teräsbetonisilla, lyötävillä tukipaaluilla. Myös teräsputkipaalujen käyttö on lisääntynyt teräslaatujen lujuuksien kehittyessä. (Jääskeläinen 2009 Törrön 2017 mukaan.)

Paalulaatan käyttö rakennuksen perustusrakenteena on kannattavaa, mikäli rakennussijainnin maapohjan kantavuus ei ole riittävä maanvaraisille perustuksille. Etenkin pientalokohteita kaavoitetaan pehmeikköalueille yhä useammin, jolloin muut perustamis- tai pohjavahvistustavat eivät ole välttämättä edes mahdollisia toteuttaa. Paalutustyyppisiä ja -tapoja on monia, joista useita voidaan soveltaa jopa omakotirakentamiseen. (Rantala 2014.)

Paalulaattaa käyttäessä alapohjarakenne on kantava. Paalujen ansiosta rakennus ei painu, vaikka rakennussijainnin maa olisikin altis painumalle. Maan painuma voi muodostaa tuulettumattoman tyhjän tilan paalulaatan ja painuneen maanpinnan väliin. Tämän vuoksi paalulaattarakenteinen alapohjarakenne tulee suunnitella hyvin tuulettuvaksi, ettei rakenne aiheuta riskiä tai haittaa rakenteille ja rakennuksen käyttäjien terveydelle. Tarvittava rakenteen tuulettuminen voidaan toteuttaa esimerkiksi tuulettuvalla ryömintätilalla tai alapohjarakenteen tuulettuvalla rakennekerroksella. (Rantala 2014.)

Paalulaatalla perustaessa voi korvata muiden perustamis- ja pohjavahvistusmenetelmien käytön ja säästää rakennushankkeen kokonaistaloudessa. Paalulaatan käyttökohteet ovat usein sellaisia savimaita tai pehmeikköjä, joissa muiden perustamistapojen, kuten maanvaraisen laatan käyttö edellyttäisi laajoja maaperän vahvistustöitä. Silloin perustamisen toteuttaminen voisi vaatia muun muassa laajan massanvaihdon alueella, joka töineen ja maatäyttöineen olisi huomattavan suuri kulu hankkeen taloudessa, eikä siten teknistaloudellisesti järkevää. Paalulaattaa käyttäessä heikon maa-aineksen geotekniset ominaisuudet voidaan ohittaa, jolloin vastaavilta työvaiheilta vältytään. Harkittaessa käytetäänkö potentiaa-

lisesti heikon maaperän alueella paaluperustusta vai työvaiheellisesti edullisempaa maanvaraista perustusta tulee huomioida mahdollisten perustusten vahvistustöiden hankaluus ja hintavuus (Rantala 2014).

### **5.3 Pohjatutkimukset**

Rakennushankkeeseen ryhdyttäessä tulee suorittaa kattavat suunnittelun vaatimat pohjatutkimukset perustamistavan valintaa ja perustusrakenteiden sekä muiden pohjarakennustöiden suunnittelua ja toteutusta varten. Pohjatutkimusten yleisvaatimuksille ohjeita ja määräyksiä antavat Liikenneviraston ohjeet 5/2014 Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu, 11/2012 Sillan geotekninen suunnittelu, 10/2015 Geotekniset tutkimukset ja mittaukset sekä RIL 254-2016 Paalutusohje PO 2016. Pohjatutkimuksia koskevat määräykset perustuvat standardeihin SFS-EN-1997-1 ja SFS-EN 1997-2. (Liikennevirasto 2014, 9; Rakennusteollisuus RT 2018, 3.)

Paalutustyötä suunniteltaessa kohteen maaperän tiiveys ja maakerrosten väliset rajat tulee selvittää niin paaluilla läpäistävien kuin paaluja kantavien maakerrosten osalta sekä kantavien maakerrosten alapuolisilta osin, jos se havaitaan suunnitelmissa tarvittavaksi. Paaluilla läpäistävien maakerrosten osalta tulee määrittää maakerrosten muodonmuutos- ja lujuusominaisuudet. (Liikennevirasto 2014, 9.)

Paalulaatalle paalutustyötä suunniteltaessa tulee määrittää mahdollinen paalulaatan valualustana toimivan maan painuma sekä mahdollisen negatiivisen vaipahankauksen esiintyminen. Pehmeiksi havaittujen maakerrosten kokoonpuristuvuusominaisuudet tulee selvittää paalutukseen vaikuttavien siirtymärakenteiden osalta. Sijainnin alueellisen vakavuuden selvittämiseksi maan pehmeiköllä on tehtävä riittävät lujuusmäärityskokeet. (Liikennevirasto 2014, 9.)

## **6 Esimerkkikohde**

Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteena toimii rakentamisvaiheessa oleva paalulaatalla perustettu asuinkerrostalo, jonka alapohjan kosteudenhallintaa työ kä-

sittelee. Kohde sijaitsee vesistön äärellä tuulisella alueella, jolloin maaston olosuhteet aiheuttavat haastavat kosteustekniset olosuhteet rakentamisaikaiselle kohteelle ja valmiille rakennukselle. Etenkin kohteen alapohjan paalulaatan rakenne- ja kosteustekniseen toteutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota rakentamisvaiheen aikana.

## **6.1 Paalulaatta esimerkkikohteessa**

Esimerkkikohteen perustamistapaa suunniteltaessa alueen maaperän historia ja maan geotekniset ominaisuudet tarjosivat kaksi teknistaloudellisesti järkevää perustamisvaihtoehtoa, tuulettuvan alapohjarakenteen ja paalulaatan. Kun otettiin huomioon alueen maaperän ominaisuudet yhdessä välittömässä läheisyydessä olevan vesistön kanssa, paalulaatta todettiin niin työtekniisesti kuin taloudellisesti parhaaksi perustamisvaihtoehdoksi esimerkkikohteelle.

Esimerkkikohteen paalulaatta on perustettu 155:llä RR<sub>s</sub> 125/6,3 teräspaalulla, joihin kiinnitettiin kalliokärjet. Paalut asennettiin hydraulivasaralla lyömällä peruskallioon saakka. RR<sub>s</sub>-paalut on SSAB:n korkealujuusteräksestä (S550J2H) valmistettuja jatkospaaluja, jonka tunnuksen loppuosa viittaa paalun kokoon. (SSAB 2020, 4). Tässä tapauksessa paalun putkiprofiilin halkaisija oli 125 mm ja paalun putken seinämän paksuus 6,3 mm.

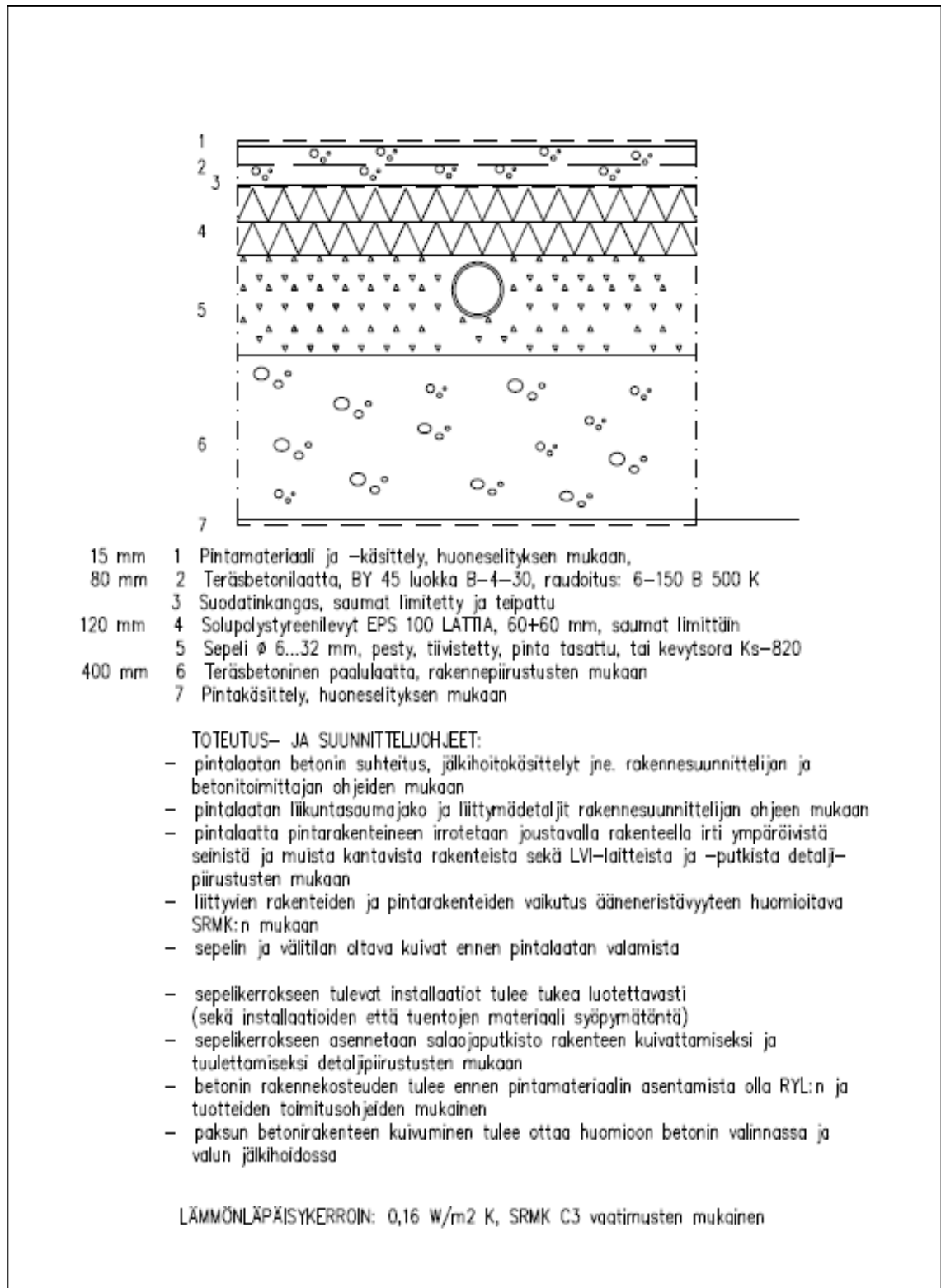
Teräksinen RR<sub>s</sub>-paalu toimii tukipaaluna, jolloin paalun kantavuus perustuu paalun kärkivastuksen kallioon kiinnittymisen aiheuttamaan tukireaktioon ja pieneltä osin vaippahankauksen aiheuttamaan kitkavoimaan (Tielaitos 1999, 13). Paalu katkaistiin jälkilyöntien jälkeen suunniteltuun korkoon ja paaluputken päälle asennettiin teräksiset 250x250x25 paaluhatut, jotka edesauttavat laatan kuorman jakautumista paaluputkelle. Paalujen sijoittelu on toteutettu suunnitelmien mukaisesti siten, että laatalla on tasainen kantavuus ja pistekuormien, kuten seinälinjojen kohdalla paaluja on tiheämmin.

Paalulaatan rakennuspohja on toteutettu routimattomista kitkamaista (jakava sora 0/150, karkea murske) ja täytöt tiivistettiin kerroksittain RIL-132 tiivistysohjeita noudattaen. Rakennuspohjatöissä tarkastettiin myös täytön korkoasema ja tulevan laatan sijaintipisteet. (Pohjatutkimus- ja perustamistapalausunto).

Rakennuspohjan ja syntyneen paalukentän päälle valettiin 400 mm paksu paalulaatta yhdellä valukerralla. Katkeamattoman valun vuoksi paalulaatassa ei ole yhtään saumaa, jonka ansiosta laatta on täysin yhtenäinen rakenne. Paalulaataan ei jätetty yhtään läpivientiä ja sen sekä laatan saumattomuuden ansiosta rakenne on täysin tiivis eikä sisällä mitään kosteuden painovoimaista siirtymistä sallivia siltoja tai vapaita aukkoja. Betoni on rakennusmateriaalina kapillaarinen, joten maaperän kosteus voi yhä kulkeutua siihen kapillaarivirtauksen avulla, mutta tämä on huomioitu alapohjarakenteen toteutuksessa.

## **6.2 Esimerkkikohteen alapohjarakenne**

Paalulaatta muodostaa vankan perustan alapohjarakenteelle, jonka muut rakennekerrokset toteutettiin vaiheittain. Paalulaatan päälle asennettiin 650 mm paksu kerros kevytsoraa, joka toimii ensisijaisesti kapillaarisen veden nousemisen katkaisevana kerroksena mutta myös osaltaan rakenteen lämmöneristeenä. Kevyt-soran etuja ovat muun muassa materiaalin keveys, palamattomuus, eristävyys ja kestävyys (Leca). Esimerkkikohteen alapohjarakenteen rakennekerrosten vahvuudet muuttuivat lievästi rakennustöiden edetessä, mutta pääperiaate pysyi samana eikä radikaaleja muutoksia tehty. Alapohjan rakennetyyppi on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Esimerkkikohteen alapohjan rakennetyyppi

Vaihtoehtoisia materiaaleja kevytsoran tilalle olivat muun muassa pesty sora tai vaahtolasi mutta kevytsora valittiin sen lämpö- ja kosteusteknisten ominaisuuksien sekä yksinkertaisen työstettävyytensä vuoksi. Luonnonkivistä murskattu

pesty sora-aines oli toinen pääasiallinen harkittu vaihtoehto, mutta se olisi tuonut väkisinkin pieniä määriä kosteutta rakenteeseen. Sen vuoksi kevytsora valittiin käytettäväksi materiaaliksi. Kaikki alapohjarakenteen sisällä kulkevat runkoviemärit ja -putket, tilojen väliset läpiviennit ja erillinen tuuletusputkisto sijaitsevat kevytsoratilassa.

Kevytsora asennettiin puhaltamalla, jolloin sen tarkka asennus ja puhalluskalustolla tiloihin pääsy oli helppoa. Kevytsorakerros tiivistettiin täryttämällä siten, että maantiivistäjälaitteen kuormitus jaettiin suuremmalle pinta-alalle erillisellä vanerilevyllä. Vanerilevyn käytön ansiosta kevytsoraraket pysyivät ehjinä ja tärytettävä kerros tiivistyi tasaisesti suunnitellulla tavalla. Kevytsoraa asentaessa on tärkeää huomioida täytön korkotaso ja tiiveys, sillä tilaan ei saa jäädä mitään myöhempiä painumia aiheuttavia katveita tai muunlaisia täyttämättömiä kohtia.

Tiiviin ja tasaisen kevytsorakerroksen päälle asennettiin kaksi 150 mm paksua EPS100-eristelevyä saumat limitettynä. Eristelevyn tunnuksen "100" tarkoittaa kyseisen tuotteen puristuslujuutta, tässä tapauksessa lujuuden ollessa 100 kPa. EPS-levyt toimivat alapohjarakenteen varsinaisena lämmöneristeenä ja alkupe- räisestä eristevahvuudesta suurennettu 300 mm:n yhteiskerros paksuus loi tukevan alusmuotin pintalaatan valulle. Tukeva eristekerros helpotti tilassa työskentelyä ja kulkua esimerkiksi pintalaatan raudoitus- ja valutöiden yhteydessä. Käytetyn EPS-eristeen ilmoitettu lämmönjohtavuuden arvo  $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$ .

Alun perin EPS-kerroksen paksuudeksi suunniteltiin 60 mm + 60 mm rakennetyypin mukaisesti, mutta juuri paremman kantavuuden, tukevuuden ja lämmöneristävyuden ansiosta eristevahvuutta kasvatettiin. EPS-kerrosten päällä jouduttiin työskentelemään alapohjan pintalaatan rakentamisen yhteydessä ja oli tärkeää, etteivät EPS-eristelevyt halkeilleet tai kärsineet minkäänlaista vahinkoa. Paksunnettu EPS-eristekerros palveli hyvin tätä tarkoitusta. Eristekerroksen rakentamistöitä on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Ensimmäinen EPS-kerros asennettuna kevytsoran päälle

EPS-levyjä täytyi työstää sopivan kokoisiksi ja muotoisiksi kappaleiksi tilojen pinta-alojen ja muotojen vuoksi, mutta syntyneitä hukkapaloja pystyttiin hyödyntämään toisessa eristekerroksessa ja oviaukkojen eristeläpivientien yhteydessä. Levyjen väleihin jääneet saumat tiivistettiin tarpeen tullen polyuretaanivaahdolla.

Alapohjarakenteen pintalaatta toteutettiin 100 mm paksulla paikallavaletulla betonilaatalla, joka raudoitettiin T6-150 rauditusverkolla kahden silmukan limityksellä. Pintalaatta erotettiin tilaa ympäröivistä väliseinistä solumuovisella irrotuskaistalla, jolloin tuore pintalaatan betoni ei ole suorassa kontaktissa muihin pintoihin. Irrotuskaistan ansiosta pintalaatalle saatiin liikkumavaraa esimerkiksi laatan kuivumisliikkeiden varalle ja solumuovinen materiaali katkaisi kylmäsiltojen muodostumisen laatan ja ympäröivien seinien välille.

### 6.3 Kosteus ja kosteudenhallinta esimerkkikohteessa

Opinnäytetyön esimerkkikohteen kosteudenhallinta toteutetaan hyvän rakennustavan edellyttämien toimintatapojen ja vaadittavien kosteudenhallinnallisten asiakirjojen mukaisesti. Rakennuskohteeseen on laadittu kosteudenhallintasuunnitelma heti hankkeen alkutaipaleella, jonka avulla kosteudenhallintaa toteutetaan ja sen noudattamista valvotaan.

Esimerkkikohteen paalulaatta on poikkeuksellisen paksu paikallavalurakenne talonrakentamiskohteessa ja se tekee laatasta pitkäaikaisen kosteuslähteen koko rakenteelle. Paalulaatta on valettu maata vasten, jolloin sen tehokas kuivuminen on rajoitettu vain ylöspäin. Siten paalulaatta käsitellään yhteen suuntaan kuivuvana rakenteena ja sen synnyttämä kosteustuotto tulee huomioida alapohjan kosteudenhallintaa suunniteltaessa ja toteuttaessa.

Paalulaatta on suuren osan rakennuksen runkovaiheesta paljas ja suojaamaton rakenne, sillä alapohjarakenteen muiden kerrosten rakentaminen oli yleisaikataulussa vasta myöhemmin. Siten paalulaatta on pitkään altis monenlaisille rakennusaikaisille kosteusrasitteille myös sen yläpuolelta.

Rakennuksen runko, kuten välipohjat ja paalulaatta, altistuvat erilaisille kosteusrasituksille vaipan heikon tiiveyden ja talvivuodenajan sääolosuhteiden vuoksi. Suurimmat yksittäiset kosteusrasitukset syntyivät talven aikana, kun hetkellä ylimmälle välipohjalle kertynyt lumi sulii rakennusaikaisen lämmityksen toimesta ja valui alempiin kerroksiin aukkojen ja tiivistämättömien saumojen lävitse. Sade- ja sulamisvedet poistettiin ensisijaisesti vesi-imurein ja kastunutta betonitilaa kuivatettiin 9 kW:n lämmityspuhaltimilla, jolloin rakenteiden pintoihin sitoutunut kosteus saatiin poistettua.

## **Mittaukset**

Kohteen alapohjan pintalaattaan sekä välipohjiin suoritettiin porareikämittaukset ulkoisen urakoitsijan toimesta. Mittausten avulla alusrakenteen kuivuminen ja sen eteneminen saatiin selvitettyä. Mittaustulosten avulla pinnoitustöiden ajankohdat voitiin suunnitella turvallisesti ja rakenteiden lämpö- ja kosteusolosuhteista saatiin kirjallista dokumentaatiota. Porareikämittauksista laadittiin erillinen raportti, jossa tulivat ilmi mittaustulokset eri mittaussyvyyksillä (28 mm ja 56 mm), mitausajankohta ja -paikka.

## **6.4 Materiaalitoimitukset**

Kaikki esimerkkikohteen materiaalihankinnat pyritään suunnittelemaan siten, että ne voidaan toimittaa ideaalisina täsmätoimituksina, jolloin pitkäaikaiselta varastoinnilta ja suojaamiselta vältytään. Kaikkia materiaaleja ja tarvikkeita ei voida



kuitenkaan hankkia tällä tavalla, jolloin materiaalit varastoidaan rakennuksen sisälle tai rakennuksen välittömään läheisyyteen sääpeitteillä suojaten. Pihalle varastoidut materiaalit, kuten puutavara on varastoitu siten, että se on työskentelykohteen läheisyydessä ja materiaali on suojattu peitteillä oikeaoppisesti kaikkina aikoina.

## **7 Esimerkkikohteen alapohjan kosteudenhallinta**

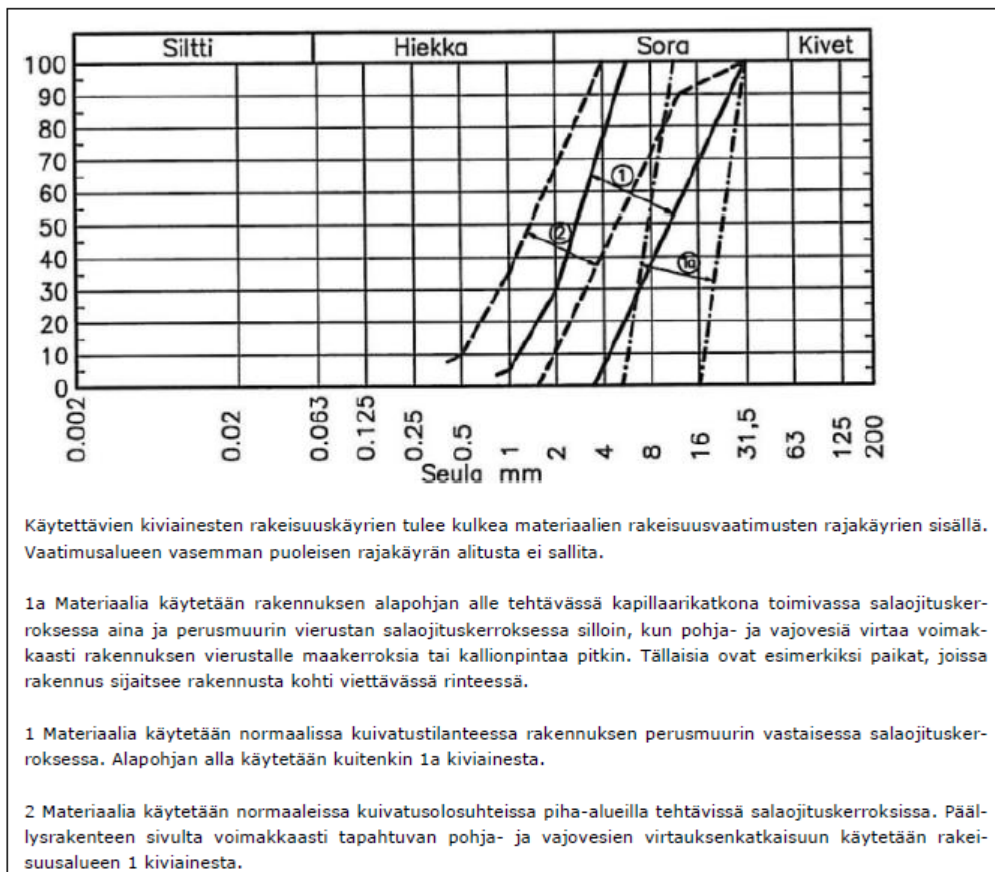
Kohteen alapohjan kosteudenhallinnan ensisijainen tavoite on luoda kosteusteknisesti oikeaoppisesti toimiva alapohjarakenne, joka toimii suunnitellusti koko rakennuksen elinkaaren ajan. Paksun paikallavaletun paalulaatan ja haastavien maaperäolosuhteiden takia alapohjan kosteudenhallinta on poikkeuksellisen tärkeää verrattuna esimerkiksi tavanomaisen maanvaraisen perustuksen tapaukseen. Pyrkimys alapohjarakenteen toteuttamisvaiheessa on se, ettei rakenne pääsisi alun perinkään altistumaan sille haitallisille kosteusrasituksille. Se voi kuitenkin maaperän kosteuden ja muiden kosteuslähteiden vuoksi osoittautua suorastaan mahdottomaksi, jolloin pyrkimys suuntautuu kosteusrasituksia ennaltaehkäisevään ja torjuvaan toimintaan ja rakenteen kosteuden hallittuun poistoon.

### **7.1 Salaojitus**

Alapohja- ja perustusrakenteet ovat rakennuksen eniten kosteusrasitetuimmat rakenteet maaperän kosteuden ollessa jatkuvana kosteusrasitteena rakenteille (Sisäilmayhdistys ry c). Maaperästä rakenteeseen pyrkivän kosteuden määrää voidaan suuresti ehkäistä oikeaoppisesti toimivalla salaojituksella.

Salaojajärjestelmän tarkoituksena on johtaa maaperässä oleva vesi hallitusti pois rakennuksen ympäriltä ja alta ja siten ehkäistä perustusrakenteiden kastuminen. Salaojajärjestelmän tulee olla täysin erillinen rakennuksen sadevesijärjestelmästä, sillä suuret sadevesistä syntyneet vesimäärät salaojaputkessa voivat aiheuttaa veden johtumisen takaisin rakennuksen perustuksiin. Virheellinen salaojajärjestelmä aiheuttaa kosteusvaurioita alapohja-, perustus- ja ulkoseinärakenteisiin ja vauriot voivat ilmetä muun muassa mikrobivaurioina ja pintamateriaalien irtoamisina ja värimuutoksina. (FISE 2018.)

Esimerkkikohde salaojitettiin suunnitelmien mukaisesti Suomen Rakentamismääräyskokoelman ja ympäristöministeriön ohjeita ja määräyksiä noudattaen, jolloin maaperän kosteusrasitusten vaikutus olisi mahdollisimman pieni. Salaojitus noudattaa RIL-132-2000 (Talonrakennuksen maarakenteet) sekä RIL-126-2009 (Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus) ohjeita ja määräyksiä. Kohteessa käytetyt salaojasoramateriaalit ovat kuvan 13 rakeisuusalueen 1 mukaisia. (Pohjatutkimus- ja perustamistapalausunto).

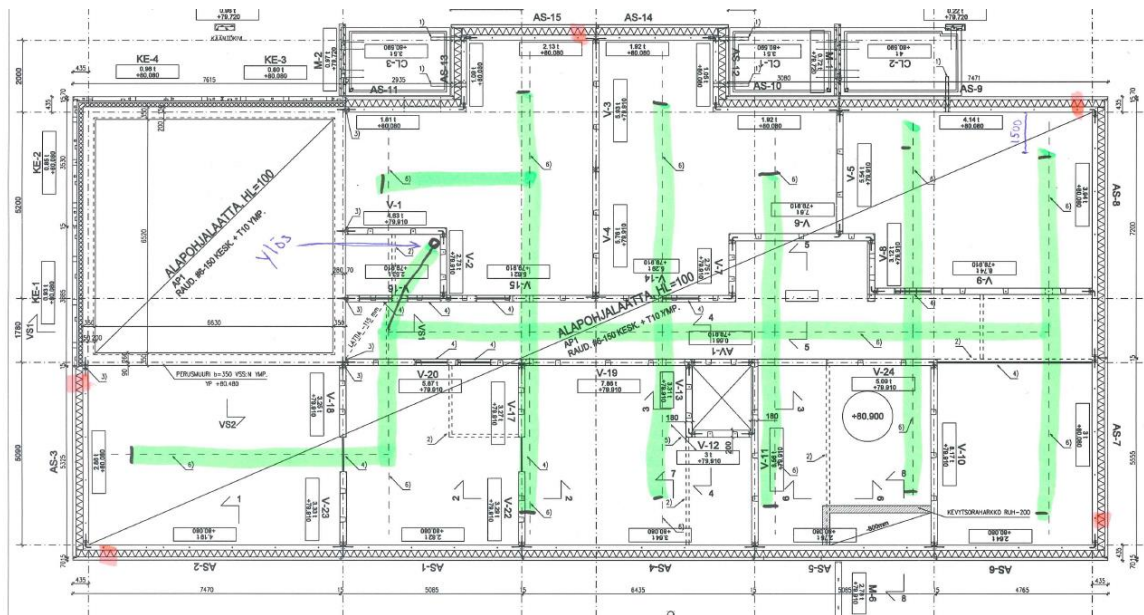


Kuva 13. Salaojitusmateriaalin rakeisuusvaatimukset RIL-126-2009:n mukaisesti (Pohjatutkimus- ja perustamistapalausunto)

Kun salaojituksessa käytettävät materiaalit ovat suunnitelmien mukaisia, se heijastuu salaojajärjestelmän oikeaoppiseen toimintaan. Salaojajärjestelmän rakentamis- ja korjaustöissä tulee aina noudattaa vallitsevia asetuksia ja ohjeita (FISE 2018).

## 7.2 Kosteustekninen olosudehyallinta

Paalulaatan päällä olevan kevytsoratilän alapintaan asennettiin tuuletusputkisto, jonka tarkoituksena on parantaa alapohjarakenteen tuulettuvuutta ja siten pitää tilän suhteellinen kosteus alhaisena ja rakenteen olosuhteille edullisena. Tuuletusputkisto toteutettiin erillisen suunnitelman (Kuva 14) mukaisesti.



Kuva 14. Tuuletusputkistosuunnitelma

Tuuletusputkisto haaroittuu rakennuksen ensimmäisen kerroksen tilajaon mukaisesti kattaen koko alapohjan pinta-alan, jolloin sen tuulettava vaikutus on tasainen kaikkialla. Tuuletusputkiston rakennuksen käytävän myötäisestä runkoputkesta haaroitettiin erillinen putkihaara, joka kulkee rakennuksen tekniikkakuilussa kerrosten lävitse rakennuksen vesikatolle asti, jossa se kytkettiin huippumuriin. Huippumurin ansiosta kevytsoratilän ilmanvaihto ja tuulettavuus on tehokampaa verrattuna painovoimaiseen ilmanvaihtoon ja siten konvektiollinen kosteuden poissiirtyminen on tehokasta.

Tuuletusputkisto toteutettiin rei'itetyillä salaojaputkillalla ( $\varnothing = 110 \text{ mm}$ ) ja niiden haara- ja liitoskappaleilla (Kuva 15). Putkien päät tulpattiin tiiviisti (Kuva 16) ja päät jätettiin 1,5 m etäisyydelle sokkeleiden sisäpinoista, jolloin tuuletusjärjestelmään kulkeutuva ilma ei ole suoraan peräisin korvausilma-aukoista. Putkien päiden tukkimisen vuoksi putkeen ei pääse kulkeutumaan kevytsoraa ja tuuletus tapahtuu putkien hienojen aukkojen välityksellä suunnitellusti.



Kuva 15. Tuuletusputkiston haara



Kuva 16. Tuuletusputken tulpattu pää

Tuuletusputkisto sijoitettiin keskeisesti rakennuksen käytävälínjan ja tilojen myötäisesti. Kerroksen betonielementteihin oltiin jätetty varauksena aukot putkien läpiviennettä varten (Kuva 17). Siten tuuletusputket saatiin asennettua suoraan ja suunnitelluille paikoille ilman ylimääräisten läpivientien teettämistä.



Kuva 17. Varausaukko tuuletusputken läpiviennille

Tuuletusputkisto kytkeytyy vesikatolla olevaan huippumuriin (Kuva 18), joka koneistaa alapohjan kevytsoratilán poistoilmanvaihdon. Imuri luo moottorillaan imun



alapohjan tuuletusputkistoon, jolloin kevytsoratilaan virtaa syntyneen paine-eron vuoksi korvaavaa ilmaa muualta. Tämä poisto- ja tuloilman virtaus aikaansaa tilan tuulettumisen.



Kuva 18. Huippuimuri esimerkkikohteen vesikatolla

Huippuimurin käytön vuoksi alapohjarakenteeseen syntyy alipaine rakennuksen sisäilmaan nähden. Syntynyt paine-ero on hyödyllinen rakennuksen radontorjunnan kannalta kosteusteknisen toiminnan ohella. Kohteen perustamis- ja pohjatutkimuslausunnossa on kuitenkin todettu, ettei rakennussijainti sisällä radonia, joten alapohjan tuuletusputkiston pääasiallinen tehtävä on tilan tuulettamisen toteuttaminen.

Etenkin kohteen alapohjan koneistetun poistoilmanvaihdon kaltaisessa tapauksessa on olennaista huomioida korvausilman riittävä ja oikeaoppinen saatavuus. Korvausilma tulee saada hallitusti suunniteltua reittiä, eikä tahattomien ja haitallisten ilmavirtauksien avulla, joita paine-ero voi aiheuttaa. Rakenneosan korvausilmakäyttäytyminen on riippuvainen rakenteen ja sen liitoskohtien tiiveydestä. Koneelliselle poistoilmanvaihdolle kriittisiä vuotokohtia ovat koko rakenne ja etenkin sen liitoskohdat (Hengitysliitto 2020).

Esimerkkikohteen alapohjarakenteen tarvittava korvausilma saadaan viidestä keskeisesti sokkelielementteihin jätetystä tuuletusaukosta ( $\varnothing = 160$  mm). Tuuletusaukot sijaitsevat rakennuksen sokkelissa tasaisin välimatkoin, jolloin korvausilman pääsy kevytsoratilaan on yhtenäinen tuuletusaukkojen kesken. Tuuletusaukot suojattiin tuuletussäleiköillä (Kuva 19), jolloin ilma pääsee virtaamaan tilaan ilman, että kevytsora tukkii aukon katkaisten ilman kulkeutumisen. Tuuletusaukkoihin asennetaan ulkopuolelle tuuletuspaalut (Kuva 20) myöhemmin pihatöiden yhteydessä.



Kuva 19. Tuuletussäleikkö



Kuva 20. Tuuletuspaalu (Vilpe)

Tuuletusaukkojen sijoitusta, kokoa ja lukumäärää suunniteltaessa tulee huomioida tuulettuvan tilan lämpötekniset olosuhteet. Liiallinen tuuletusaukkojen määrä tai liian suuri koko voi aiheuttaa tilaan liian matalan lämpötilan, joka osaltaan voi aiheuttaa lämpötekniisiä ongelmia alapohjarakenteessa.

### 7.3 Esimerkkikohteen olosuhteiden seuranta

Opinnäytetyön esimerkkikohteessa seurataan sisätilojen lämpö- ja kosteusolosuhteita kerroskohtaisten mittareiden avulla sekä muodostetaan tulosten perusteella kosteus- ja lämpötilaolosuhteita seuraava pöytäkirja. Pöytäkirjassa esitetään ulkoilman lämpö- ja kosteusolosuhteet mittaushetkellä, jolloin niiden yhteyttä sisätilojen olosuhteisiin voidaan tulkita yhdessä mittaushetkellä olevan lämmitysjärjestelmän kanssa. Lopputuloksena saadaan tarkka mittaustulostaulukko, josta

voidaan havaita ulkoilman, rakennuksen tiiveyden ja vallitsevan rakennusaikaisen lämmityksen vaikutuksia sisätilojen lämpö- ja kosteusteknisiin olosuhteisiin. Esimerkkikohteen rakenteiden ja tilojen olosuhdeseuranta toteutetaan tavanomaisilla lämpötila- ja kosteusmittareilla sekä Wiiste SolidRH järjestelmällä.

#### **7.4 Wiiste SolidRH-järjestelmä**

Wiiste SolidRH on rakenteiden suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaamiseen ja seurantaan käytettävä järjestelmä. Järjestelmä on kehitetty erityisesti paikallavalettujen betonirakenteiden pinnoitettavuusmittauksiin sekä pitkäaikaiseen rakennekosteuden seurantaan. Kaikki SolidRH-järjestelmän anturit ovat langattomia. Järjestelmä on käytännöllinen, sillä se mahdollistaa seurantamittaukset myös rakennuksen käytön aikana ilman rakenteiden rikkomista. (Wiiste 2016.)

Opinnäytetyön esimerkkikohteessa suoritettiin paikallavaluvälipohjien ja alapohjarakenteen kevytsoratilän olosuhdeseuranta hyödyntäen Wiiste-tuoteperheen mittauslaitteistoa ja -tekniikoita. Paikallavaluvälipohjiin asennettiin betonivalun aikana kaksi kappaletta Wiiste SolidRH SH1-mittausantureita (Kuvat 21 ja 22) määrättyihin paikkoihin, jolloin välipohjien olosuhteita betonin iän myötä voitiin seurata. Kriittisimmät hetket seurannalle olivat valun jälkeiset lähipäivät, mutta mittauksia otettiin myös myöhemminkin olosuhteiden seurannan vuoksi.



Kuva 21. SH1-mittausanturi



Kuva 22. SH1-mittausanturi välipohjassa

Esimerkkikohteen alapohjarakenteen lämpö- ja kosteusteknisiä olosuhteita seurataan Wiiste SH4-anturin (Kuva 23) avulla. Kohteen alapohjarakenne oli erittäin kosteusrasitettu laatan kosteustuoton, maaperän kosteuden ja lukuisten ulko- ja sisäpuolisten kosteusrasitusten vuoksi. Sen vuoksi alapohjan lämpö- ja kosteusolosuhteita katsottiin olevan tarpeellista seurata.



Kuva 23. Wiiste SH4-lämpötila- ja kosteusanturi suojaputkessa

Wiiste-anturit ovat aina valmiina mittaukseen varten eikä ne vaadi erillistä käynnistämistä tai sammuttamista. Vallitsevalla lämpötilalla on suuri vaikutus betonin



suhteelliseen kosteuteen ja sen vuoksi oikean ja realistisen mittaustuloksen saamiseksi betonin tai muun materiaalin lämpötilan tulee olla vakiintunut lähelle lopullista käyttölämpötilaansa. Lämpötilan vaihtelusta aiheutuva mittausrvirhe voi syntyä esimerkiksi auringonvalosta tai oviaukosta vuotavasta pakkasilmasta. (Wiiste 2016.)

Alapohjarakenteessa käytettävän SH4-mittausanturin kaapeli suojattiin erillisellä suoja-putkella, jolla sen vahingoittuminen pyrittiin ehkäisemään. Anturin molemmat päät tiivistettiin tiukasti tiivistysteipillä, jolloin putken ja anturin väliin ei pääse kosteutta tai irtokappaleita, jotka voisivat häiritä mittaustuloksia. SH4-anturissa on neljä metriä pitkä kaapeli, jolloin mittauspää voitiin sijoittaa paikkaan, johon lukulaitteella ei itsessään pääse. Tässä tapauksessa anturi asennettiin asuintilan kohdalle alapohjan kevytsorakerrokseen keskeisesti (Kuva 24), jolloin siitä saatava mittaustulokset olisi mahdollisimman tarkkoja.



Kuva 24. Suoja-putkessa oleva Wiiste SH4-anturi ennen kevytsoran puhallusta

Alapohjarakenteen SH4-mittausanturin sijoittelussa tulee huomioida, ettei anturipää ole välittömässä yhteydessä ulko- tai väliseiniin, tuuletus- tai viemäriputkistoihin tai muuhun kriittisesti mittaustuloksiin vaikuttavaan tekijään. Anturin tarkoitus on mitata kevytsoratilaa kosteutta ja lämpötilaa, joten esimerkiksi anturissa kiinni oleva viemäriputki voi vaikuttaa mittaustulokseen. Kevytsoraa puhaltaessa anturia ja sen kaapelia tuli varoa ja sen vahingoittamista välttää, sillä suoja-putkesta huolimatta se ei kestä suuria rasituksia.

Wiiste-mittausantureiden luku tapahtuu erillisellä Wiiste-SolidRH SD1 lukulaitteella (Kuva 25). Lukulaite kertoo kyseisen anturin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvot yhden desimaalin tarkkuudella.



Kuva 25. Wiiste-SolidRH RD1-lukulaite (esimerkkimittaus)

Wiiste-SolidRH RD1-lukulaite on akkukäyttöinen lukupää, joka on yhteensopiva kaikkien Wiiste-antureiden kanssa. RD1-lukulaitetta käytettiin myös ulkoilman olosuhteiden mittaamiseen, jolloin antureista saataville mittaustuloksille saatiin

vertaileva arvo. SolidRH RD1-lukulaitteen saa kytkettyä kaapelilla tietokoneeseen, jolloin mittaustulokset voidaan siirtää pilvipalveluun tiedonhallintaa ja raportointia varten. Anturia lukiessa tulee huomioida anturin ympäröivä materiaali, sillä esimerkiksi metalliset materiaalit voivat estää mittaamisen tai häiritä sitä. (Wiiste 2016).

Suuresta huolellisuudesta huolimatta Wiiste SH4-mittausanturi oli vioittunut ja siten alapohjarakenteen kevytsorakerroksen olosuhteista ei saatu realistisia mittaustuloksia. Anturin johto oli luultavasti altistunut kosteudelle tai kolhiintunut ennen anturin asennusta, joka aiheutti mittaustulosten virheellisyyden.

## **7.5 Olosuhdehallintaan käytettävät laitteet**

Esimerkkikohteen varsinainen, lopullinen lämmitys käynnistettiin noin puolessa välissä rakennushanketta. Tämän vuoksi rakennusaikaisen lämmityksen merkitys oli suuri runkovaiheen ajoituttua talvikaudelle ja sen toteutustapa tuli suunnitella toimivaksi ja ristiriidattomaksi taloteknisten laitteiden ja linjojen kanssa.

Rakennusaikainen lämmitys käynnistettiin, kun kohteen ensimmäinen välipohja oli valettu. Lämmitysjärjestelmänä toimi öljykäyttöinen 195 kW Heatmobil, joka lämmitti ja puhalsi ilmaa sisätiloihin erillisen ilmakehän kautta. Heatmobilin etuja olivat ilmakehän monipuolinen siirtäminen ja haaroittaminen lämmitystarpeen muuttuessa. Myöskin lämmittimen tuloilma oli mahdollista ottaa suoraan jo ennalta lämpimästä sisäilmasta, jolloin lämmityksen hyötysuhdetta saatiin parannettua. Runkotöiden edetessä ylempiin kerroksiin Heatmobilin paikallinen puhallin teho alkoi kärsiä, kun puhallinletku oli haaroitettu moneen osaan. Vuodenaika oli tällöin kylmimmillään ja näiden seikkojen vuoksi rakennusaikainen lämmitysjärjestelmä päätettiin vaihtaa.

Korvaavaksi rakennusaikaiseksi lämmitystavaksi valittiin vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, joka osoittautui kohteeseen sopivammaksi ja energiatehokkaammaksi lämmitysratkaisuksi. Vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä koostui pihalle sijoitettavasta 350 kW lämpökontista, erillisestä polttoainesäiliöstä ja rakennuksen sisäisistä lämminvesikanavista ja niihin kytkettyistä lämpöpuhaltimista. Lämpökontti sisältää öljypolttimen tekniikoineen, joka sitoo polttimen luoman lämmön



lämmönvaihtimen välityksellä vesikiertoon. Vesikierron linjat kulkevat rakennuksen läpi esimerkiksi kattoihin kiinnitettynä, jolloin ne eivät häiritse työntekoa tai muuten ole tiellä. Linjat kytkeytyvät useisiin 15 kW vesikiertoisiin lämpöpuhaltimiin (Kuvat 26 ja 27), jotka puhaltavat vesikierron sitoman lämmön rakennuksen sisätiloihin.



Kuva 26. 15HV päälämpöpuhallin      Kuva 27. 15HV lämpöpuhallin

Kaukolämpöpuhaltimet osoittautuivat toimivaksi ratkaisuksi, sillä niiden puhallussuuntaa pystytään ohjaamaan halutulla tavalla ja lämmitysteho on suuri. Kaukolämpöpuhaltimiin oli saatavilla vaihdettavia suodattimia, joka edesauttoi pölynhallinnan toteutusta.

Paikalliset kosteusesiintymät poistettiin vesi-imureilla sekä 3 kW ja 9 kW lämpöpuhaltimilla. Suurempien kosteiden alueiden kuivatukseen käytettiin simpukka-puhaltimia (Kuva 28), jotka kierrättivät ilmaa tehokkaasti samalla kuivaten suur-  
retkin alueet.



Kuva 28. 2800 m<sup>3</sup>/h simpukkapuhallin

Simpukkapuhaltimia hyödynnettiin myös esimerkiksi maalaus- ja tasoitustöiden jälkitöissä, kun kokonaisen kerroksen ilmankosteus oli suurentunut. Yleisesti ottaen kohteen sisätilojen lämpö- ja kosteusolosuhteet olivat kuivumiselle niin edulliset läpi rakennushankkeen runkovaiheen, ettei erityisempiä toimenpiteitä vaadittu kosteusesiintymien poistoon. Sisätilojen lämpö- ja kosteusolosuhteita seurataan viikoittain ja arvot dokumentoidaan erilliseen olosuhdeseurantataulukoon, josta ote on esitetty kuvassa 29.

mittauspäivämäärä:	mittauspaikka:	RH [%]	T [°C]	RH <sub>ulkoilma</sub> [%]	T <sub>ulkoilma</sub> [°C]
10.2.2020	1. kerros	29,4	20,8	87,6	-1,0
10.2.2020	2. kerros	31,2	20,7	87,6	-1,0
10.2.2020	3. kerros	33,1	20,6	87,6	-1,0
10.2.2020	4. kerros	33,4	20,7	87,6	-1,0
10.2.2020	5. kerros	36,0	21,1	87,6	-1,0
14.2.2020	1. kerros	31,4	19,1	88,0	0,0
14.2.2020	2. kerros	31,4	18,8	88,0	0,0
14.2.2020	3. kerros	31,6	18,9	88,0	0,0
14.2.2020	4. kerros	32,4	18,8	88,0	0,0
14.2.2020	5. kerros	33,5	18,3	88,0	0,0

Kuva 29. Ote olosuhdeseurantataulukosta

Kuten on tulkittavissa, rakennusaikaisen kohteen olosuhteet olivat suotuisat paikallavalurakenteiden kuivumiselle ja syntyneiden kosteusesiintymien hallitulle poistolle. Mittauksissa käytettävät sisätilojen lämpö- ja kosteusmittarit sijaitsevat kerroksissa keskeisesti siten, että niiden antamat tulokset ovat mahdollisimman realistisia.

## **8 Kuivaketju10 paalulaattakohteessa**

Kuivaketju10 tarjoaa useita kosteudenhallinnan organisointia ja toteutusta edesauttavia etuja kohteeseen, jossa perustamistapana on paalulaatta. Suurimpia etuja ovat Kuivaketju10-toimintamallin kattavuus ja kohteen ominaispiirteiden sisällyttäminen toimintamallin sisältöön, jolloin toimintamalli saadaan kustomoitua kohteelle ominaisille erityistarpeille. Paalulaattakohteen kosteusteknisiä erityishuomiota vaativia piirteitä ovat muun muassa paksun paikallavalurakenteen pitkäaikainen kuivuminen ja kosteustuotto sekä suuren pinta-alan omaavan rakenteen jatkuva altistuminen maaperän kosteusrasituksille. Alapohjarakennetta rasittaa yleisesti myös ulkopuoliset pintavedet sekä rakennuksen sisäpuolelta ilmankosteus (Sisäilmäyhdistys ry c).

Paalulaattakohteen työmaatoteutuksen Kuivaketju10:ssä huomioitavat seikat koostuvat Kuivaketju10:n yleisistä ohjeista ja huomioista sekä paalulaatan käytön tuomista erityispiirteistä. Kuivaketju10:n yleisiä ja olennaisia työmaatoteutuksessa huomioitavia seikkoja ovat muun muassa (Kuivaketju10 c 2018)

- materiaalien ja rakenteiden suojaaminen ja yhteinen vastuu suojauksista
- betonirakenteiden kuivumisolosuhteiden varmistaminen ja kosteuspituuksien mittaaminen
- kosteudenhallintakoordinaattorin säännölliset tarkastuskäynnit
- kosteudenhallintasuunnitelman kattavuus
- työvaiheiden etenemisen dokumentointi.

Yleisillä työmaatoteutuksessa huomioitavilla asioilla tarkoitetaan sellaisia hankkeen työmaatoteutuksen kosteudenhallintaan liittyviä Kuivaketju10:n seikkoja,

jotka eivät ole riippuvaisia kohteen erityispiirteistä. Siten ne ovat yleispäteviä toimintamallin ohjeita, jotka pätevät jokaiselle Kuivaketju10:n mukaisesti toteutetulle työmaalle.

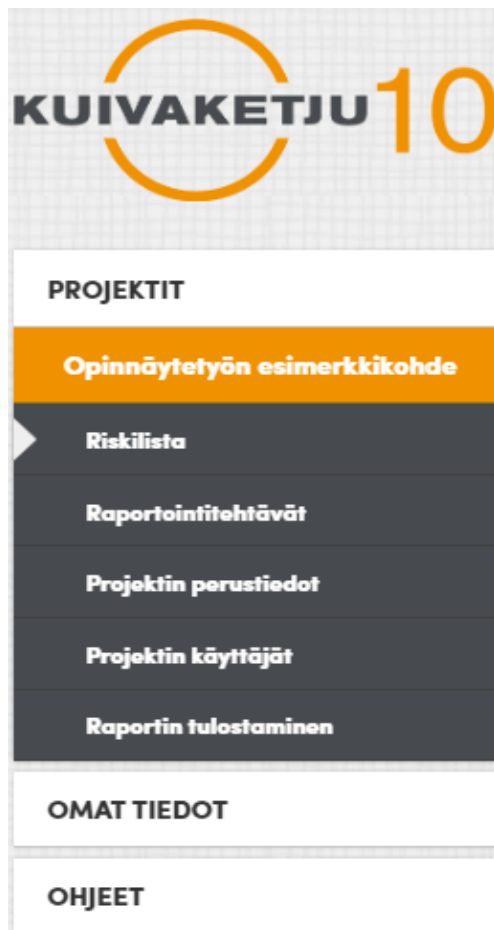
Paalulaattarakenteen käyttö lisää hankkeen kosteudenhallinnan haastavuutta ja siten sen tuomat erityispiirteet tulee huomioida Kuivaketju10-toimintamallin toteutuksessa. Paalulaattarakenteen tuomia erityishaasteita voidaan katsoa olevan muun muassa

- poikkeuksellisen paksu paikallavalurakenne ja sen pitkäaikainen kuivuminen
- paalulaatan jatkuva altistuminen maaperän kosteudelle
- paalulaatan pitkäaikainen altistuminen sade- ja sulamisvesille sekä muille rakentamisaikaisille kosteuslähteille
- laatan suuren kosteustuoton huomioiminen koko alapohjarakenteen kosteudenhallinnassa
- laatan tiiveys, saumattomuus ja läpiviennit.

Opinnäytetyön esimerkkikohdetta ei ole toteutettu Kuivaketju10-toimintamallin mukaisesti mutta toimintamallin sopivuutta paalulaattakohteessa voidaan analysoida joka tapauksessa, kun paalulaatan aiheuttamat erityishaasteet tunnistetaan. Tutkitaan Kuivaketju10:n sopivuutta ja käyttöä paalulaattakohteessa toimintamallin sähköisen järjestelmän avulla.

### **8.1 Projektin luominen sähköiseen järjestelmään**

Paalulaattakohteen Kuivaketju10:n toiminnan tarkastelu aloitetaan luomalla kuvitteellinen projekti Kuivaketju10:n sähköiseen järjestelmään (Kuva 30). Projektilla ei kuvata tässä tapauksessa mitään tiettyä hanketta, vaan sen tarkoituksena on kuvata yleistä paalulaattakohdetta, joka toteutetaan Kuivaketju10:n mukaisesti.



Kuva 30. Yleisnäkymä sähköisen järjestelmän projektivalikosta (Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä)

Projektin luomisen jälkeen järjestelmän yleisvalikko koostuu riskilistasta, raportointitehtävistä, projektin ja sen käyttäjien tiedoista sekä yleisraportin muodostamis- ja tulostamiskohdasta. Näistä toimintamallin tarkastelun kannalta olennaisin kohta on riskilista. Sähköisen järjestelmän riskilista koostuu toimintamallin kymmenestä keskeisimmästä kosteusriskistä, joihin todellisessa käyttötilanteessa olisi sisällytetty hankkeen ominaispiirteet jo suunnitteluvaiheessa. Riskilista (Kuva 31) sisältää myös erittelyn, ketä tai keitä hankkeen osapuolia kyseinen riski koskettaa.



RISKI 1	RISKI 2	RISKI 3	RISKI 4	RISKI 5	RISKI 6	RISKI 7	RISKI 8	RISKI 9	RISKI 10			
TIL	KHK	PÄÄ	ARK	RAK	LVI	SÄH	UR	YLL	GEO	MIT	RF	LUKU

## Riskilista

Vain minua koskevat

Järjestelmässä on otettu käyttöön käytettävyyssuodistus. Löydät Kuivaketju10-riskilistan suunnittelu- ja todentamistehtävät tästä näkymästä riskeittäin. Muut tehtävälisterit on siirretty raportointitehtävät-osioon. Riskilistan tehtävien erillisistä muokaus- ja kuittausvaiheista on luovuttu. Tarkemmat ohjeet löydät tehtäväkohtaisista info-napeista ja ohjeet-osion käyttöohjeesta.

Riskilista	TIL	ARK	RAK	LVI	SÄH	UR	KHK	Valmis
<b>RISKI 1</b> Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakennetta	✓	✓				✓	✓	✓
<b>RISKI 2</b> Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle	✓	✓				✓	✓	✓
<b>RISKI 3</b> Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan	✓	✓				✓	✓	✓
<b>RISKI 4</b> Kosteutta siirtyy ilmansulkukerroksen vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.			✓			✓	✓	✓
<b>RISKI 5</b> Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin			✓	✓		✓	✓	✓
<b>RISKI 6</b> Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja				✓		✓	✓	✓
<b>RISKI 7</b> Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet		✓	✓	✓		✓	✓	✓
<b>RISKI 8</b> Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
<b>RISKI 9</b> Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen	✓		✓			✓	✓	✓
<b>RISKI 10</b> Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti					✓		✓	✓

Kuva 31. Sähköisen järjestelmän riskilista (Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä)

Riskilistassa esitetyt kosteusriskit voidaan avata yksityiskohtaisesti auki, jolloin järjestelmä esittää kaikki kyseiseen kosteusriskiin liittyvät suunnittelu- ja todentamistehtävät. Siten järjestelmä muodostaa järjestelmällisen ja pykäläkohtaisen menettelytavan kosteudenhallintaan, johon toimintamallin käyttö ja laadunvarmistus perustuukin. Ote avatusta kosteusriskistä on esitetty kuvassa 32, jossa kyseessä on kymmenen keskeisimmän kosteusriskin ensimmäinen riski.

### 1.1.4

**Suunnittelutehtävä**

ARK  KHK

Määritetään kaikkien rakennusten ensimmäisen kerroksen korkeustasot. Ensimmäisen kerroksen lattiapinnan tulee olla 30 cm valmiin maanpinnan yläpuolelle. ▼

**Todentamistehtävä** Ei dokumentointilupaa

UR  KHK

Mitataan rakennuksen ensimmäisen kerroksen kaikkien lattiapintojen korkeustasot.

**Todentamisdokumentti:** Tarkepiirustus ▼

### 1.1.5

**Suunnittelutehtävä**

ARK  KHK

Merkitään maanpinnan korkeustasot rakennusten nurkkapisteissä ja kolmen metrin etäisyydellä nurkista. Maanpinnan tulee viettää 1:20 kallistuksella rakennuksesta poispäin vähintään 3 m:n matkan. ▼

**Todentamistehtävä** Ei dokumentointilupaa

UR  KHK

Mitataan korkeustasot rakennuksen nurkkapisteissä ja 3 m:n etäisyydellä nurkista.

**Todentamisdokumentti:** Tarkepiirustus ▼

Kuva 32. Ote avatusta kosteusriskistä (Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä)

Järjestelmässä avattu kosteusriski sisältää kaikki kyseiselle kosteusriskille ominaiset työvaiheet suunnittelu- ja todentamistehtävineen. Lisäksi pykälissä kerrotaan kyseisen tarkasteltavan kohdan dokumentointi- ja todentamistapa, joka tässä esimerkkitapauksessa on pois käytöstä. Kuka tahansa hankkeen osapuolista voi muokata todentamistehtäväikkunan sisältöä, kunnes todentamistehtävälle on annettu dokumentointilupa pääkäyttäjän toimesta. Dokumentointiluvan antamisen jälkeen suunnittelutehtävän suunnittelijat ja kosteudenhallintakoordinaattori voivat muokata tehtäväikkunaa, kunnes todentamistehtävä on kuitattu. Viime kädessä urakoitsija todentaa toimintamallin onnistumisen aina urakoitsijan tarkastuslistan mukaisesti. (Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä.)

Toimintamallin toteutuksesta vastaava hankkeen pääurakoitsija voi kuitata todentamistehtävän tehdyksi, kun suunnittelutehtävässä on kosteudenhallintakoordinaattorin kuittaus ja todentamisen yhteydessä on liitetty dokumentti. Urakoitsijan kuittauksen jälkeen kosteudenhallintakoordinaattori kuittaa tehtävän tehdyksi. Dokumentointiluvan antamisesta ja hallinnoimisesta vastaavat hankkeen päävastuulliset suunnittelijat yhdessä kosteudenhallintakoordinaattorin kanssa. Luvan myöntämisen jälkeen urakoitsija ja kosteudenhallintakoordinaattori voivat lisätä todentamisen yhteydessä dokumentteja. (Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä.)

## **8.2 Urakoitsijan tarkastuslista paalulaattakohteessa**

Kun paalulaattarakenteisen kohteen kosteudenhallinta on toteutettu Kuivaketju10:n ohjeita ja pykälää noudattaen, toimintamallin onnistuminen urakoitsijan osalta todennetaan urakoitsijan tarkastuslistan avulla. Todentaminen tapahtuu riskikohtaisesti työmaalla tehtäviä mittauksia ja varmistusmenetelmiä käyttäen. Dokumentaatio toteutetaan pääsääntöisesti valokuvoin, mutta myös erilaisia tarkempiirustuksia voidaan vaatia. Sähköisen järjestelmän ansiosta jokainen kohteen erityispiirre ja toimintamallin yleiset periaatteet ovat huomioitu toteutuksessa, jolloin niiden luotettava todentaminen on systemaattista. (Kosteusvauriokorjaus.)

Paalulaattakohteen ominaispiirteiden sisällyttäminen Kuivaketju10:n todentamishjeeseen ja siten urakoitsijan tarkastuslistaan alkaa jo hankkeen suunnitteluvaiheessa. Kun paalulaattahanke on päätetty toteuttaa Kuivaketju10:n mukaisesti, hankkeen suunnittelijat aloittavat Kuivaketju10:n riskilistan sisällön muokkaamisen paalulaattahankkeen ominaispiirteiden perusteella. Siten riskilistasta muovaantuu kyseiselle hankkeelle yksilöity ja kattava kokonaisuus, jossa rakennushankkeelle ominaiset kosteusriskit ovat tunnistettu ja ehkäistävissä.

Ote kuvitteelliselle paalulaattakohteelle muokatuista suunnittelijan ja urakoitsijan tarkastuslistoista on esitetty liitteessä 1. Kyseessä on esimerkkiote Kuivaketju10:n tarkastuslistasta, jonka riskeihin on yhdistetty paalulaattarakenteen aiheuttamat erityispiirteet. Todellisuudessa suunnittelu- ja todentamisratkaisut olisivat sisällytetty riskikohtaisesti oikeisiin toimintamallin alapykälisiin, mutta työteknisistä syistä ne ovat tässä opinnäytetyössä esitetty samassa liitteessä.

Paalulaattarakenne näkyy urakoitsijan tarkastuslistassa siten, että osa suunnitteluratkaisuista on nimenomaa paalulaattakohteelle ja sen kosteusriskeille muovattuja ratkaisuja ja urakoitsijan todentaminen tapahtuu niiden sanelemien ehtojen mukaisesti. Suuri osa toimintamallin suunnitteluratkaisuista on yhä Kuiva-ketju10:n alkuperäiseen riskilistaan perustuvia yleisohjeita, mutta osa riskeistä on nimenomaa paalulaatan käytön aiheuttamia erityispiirteitä toimintamallin sisältöön. Kun toimintamallin riskilista on räätälöity hankekohtaisesti paalulaattahankkeen kosteustekniset erityispiirteet huomioiden, sen urakoitsijan tarkastuslistan mukainen riskien torjumisen todentaminen on tehokasta.

## **9 Päätelmät**

Käyttäessä paalulaattaa rakennuksen perustamistapana maakerrosten geoteknisten ominaisuuksien merkitys pienenee, mutta maaperän kosteusolosuhteiden vaikutus pysyy ennallaan. Sen vuoksi raskaasti kosteusrasitetun paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallinta tulee toteuttaa hyvän rakentamistavan mukaisesti erityisellä huolellisuudella. Vain alapohjalle kohdistuvat kosteusrasitukset ja -riskit tunnistaen niiden tehokas torjuminen ja ennaltaehkäisy on mahdollista. Kun alapohjan kosteudenhallinta toteutetaan mainitulla tavalla, lopputuloksena saadaan toimiva rakenne ja rakennus, joka takaa käyttäjilleen turvallisen ja terveellisen asuin- ja käyttöympäristön.

Paalulaattaa voidaan käyttää rakennuksen perustamistapana laajalti monenlaisissa kohteissa, mutta toisinaan se voi olla teknistaloudellisesti myös se kaikista edullisin perustamisvaihtoehto. Kun tulevan rakennuksen perustamistapaa harkitaan ja suunnitellaan, valinnassa on suotavaa huomioida rakennushankkeen kokonaistalouden yksittäisen perustustyövaiheen kustannuksien ohella. Paaluttaminen ja suurimennekkisen paikallavalurakenteen valaminen voi esiintyä hankkeen taloudessa kustannuspiikkinä, mutta sillä voidaan vähentää tai jopa kokonaan ohittaa muita maarakennus- ja perustamistöiden kustannuksia. Siten paalulaatta voi muodostaa vankan, painumattoman perustusrakenteen rakennukselle, joka on myös kustannustehokas vaihtoehto.

Paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallinta on rakennushankkeessa merkittävässä roolissa, sillä laatta altistuu voimakkaille kosteusrasituksille rakentamishankkeen aikana eivätkä ne saa näkyä valmiissa rakenteessa tai rakennuksessa millään tavalla. Paalulaattahankkeessa laatan valu on yksi hankkeen ensimmäisistä työvaiheista, joten sen altistuminen rakentamisvaiheen ja maan kosteudelle on hyvin pitkäkestoinen rasite. Paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallinta voidaan toteuttaa nykyiset määräykset ja asetukset kattavan hankkeen kosteudenhallintasuunnitelman avulla, mutta Kuivaketju10-toimintamallin käyttö on suositeltavaa. Tämän opinnäytetyön esimerkkikohdetta ei ole toteutettu Kuivaketju10-toimintamalliin sitoutuen, mutta hankkeen kosteudenhallinta on sisällöltään ja periaatteiltaan hyvin samankaltainen toimintamallin kanssa. On kuitenkin suotavaa, että tulevaisuudessa vastaavanlaisissa hankkeissa Kuivaketju10:n käyttöä harkittaisiin. On kuitenkin huomioitava, että päätös sen käytöstä tulee tehdä jo rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa.

Tämän opinnäytetyön tuloksena kehitettiin toimintamalli paalulaattarakenteisen alapohjan kosteudenhallintaan, joka on opinnäytetyön tilaajan käytössä ja tukena tämän tulevaisuudessa rakennushankkeissa. Toimintamallin tavoitteena on toimia selkeänä toteutusohjeena tulevaisuuden hankkeissa, jolloin siitä voi kehittyä varsinainen toimintatapa vastaavanlaisten hankkeiden alapohjien toteutukseen ja kosteudenhallintaan. Opinnäytetyö ja siten toimintamalli pyrkii siihen, että lukija tiedostaa ja tunnistaa yleisimmät kosteusriskit ja alapohjarakenteen kosteusteknisen toiminnan periaatteet. Teoriaosuuden sisäistäminen toimii pohjana toimintamallin noudattamiselle ja soveltamiselle. Toimintamallia tullaan mahdollisesti kehittämään tulevien rakennushankkeiden käyttö- ja soveltamiskokemuksien perusteella.

## Lähteet

FISE 2018. Virhekortit. Suunnittelu. Puutteellinen salaojitus. <https://fise.fi/virhekortti/puutteellinen-salaojitus/>. Luettu 3.4.2020.

FISE 2020. Pätevyyspalvelu. Hae pätevyyttä. Valvojat ja koordinaattorit. Kosteudenhallintakoordinaattori. <https://fise.fi/patevyyspalvelu/hae-patevyytta/valvojat/kosteudenhallintakoordinaattori/>. Luettu 25.3.2020.

Hengitysliitto 2020. Sisäilma. Ilmanvaihto. Ilmanvaihtojärjestelmät. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>. Luettu 25.5.2020.

Komonen, J. 2013. Juha Komonen kokosi ohjepaketin rakentamisen kosteudenhallintaan. Rakennuslehti 10/2013. <https://www.rakennuslehti.fi/2013/10/juha-komonen-kokosi-ohjepaketin-rakentamisen-kosteudenhallintaan/>. Luettu 15.5.2020.

Kosteusvauriokorjaus. Etusivu. Materiaalipankki. Muut julkaisut. Kuivaketju10. Kuivaketju10 todentamisohe. Ohje ladattavissa <https://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/materiaalipankki/download/23-kuivaketju10/201-kuivaketju10-todentamisohe>. Luettu 13.5.2020.

Kuivaketju10. Etusivu. <http://kuivaketju10.fi/>. Luettu 22.3.2020.

Kuivaketju10 a 2018. Kuivaketju10 – Käyttöönoton ohjekortti. [http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Ka%CC%88ytto%CC%88o%CC%88notto\\_150313.pdf](http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Ka%CC%88ytto%CC%88o%CC%88notto_150313.pdf).

Kuivaketju10 b 2018. Kuivaketju10 – riskilista. [http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Riskilista\\_150313.pdf](http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Riskilista_150313.pdf).

Kuivaketju10 c 2018. Kuivaketju10 – työmaatoteutuksen ohjekortti. [http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/04/Kuivaketju10-Tyo%CC%88maatoteutus\\_150313.pdf](http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/04/Kuivaketju10-Tyo%CC%88maatoteutus_150313.pdf).

Kuivaketju10 d. Käyttö. Toimintaohje Kuivaketju10:n etusivulta. Luettu 23.3.2020.

Kuivaketju10 e. Käyttöönotto. Toimintaohje Kuivaketju10:n etusivulta. Luettu 23.3.2020.

Kuivaketju10 f. Riskilista ja todentamisohe. Toimintaohje Kuivaketju10:n etusivulta. Luettu 22.3.2020.

Kuivaketju10 g. Tilaaminen. Toimintaohje Kuivaketju10:n etusivulta. Luettu 23.3.2020.

Kuivaketju10 h. Työmaatoteutus. Toimintaohje Kuivaketju10:n etusivulta. Luettu 23.3.2020.

Kuivaketju10 sähköinen järjestelmä. RALA. Kirjautumissivu: <https://kk10.rala.fi/login>. Käytetty 5.5.2020.

Leca. Ratkaisut. Geotekniikka. Kevytsoran materiaaliominaisuudet. <https://leca.fi/ratkaisut/geotekniikka/kevytsoran-materiaaliominaisuudet/>. Luettu 16.5.2020.

Liikennevirasto 2014. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu. Pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2014-05\\_paalulaattojen\\_paaluhatturakenteiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-05_paalulaattojen_paaluhatturakenteiden_web.pdf).

Liikennevirasto 2017. Eurokoodin soveltamisohje. Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI<sub>2</sub>. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-31\\_ncci2\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-31_ncci2_web.pdf).

Lindberg, R. 2004. Rakennusmateriaalien käyttäytyminen ja maanvastaiset rakenteet. Teoksessa Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS. (toim.) Rakentajain kalenteri 2005. Rakennustieto Oy. 431–441.

Merikallio, T. 2001. Rakennustyömaan kosteudenhallinta ja sen suunnittelu. Teoksessa Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS. (toim.) Rakentajain kalenteri 2002. Rakennustieto Oy. 547–553. Kuvat © Rakennustietosäätiö RTS 2020.

PKS-Rava 2020. Rakentamisen yhteiset Topten-käytännöt. <https://www.pksrava.fi/asp2/default.aspx>. Luettu 10.5.2020.

Pohjatutkimus- ja perustamistapalausunto. Opinnäytetyön esimerkkikohteen pohjatutkimus- ja perustamistapalausunto.

Rakennusteollisuus RT 2018. Tuotelehti PO-2016 mukaiseen paalutuksen suunnitteluun ja paalutustyöhön RT betonipaaluilla. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2018/09/RT-Betonipaalu-Tuotelehti-PO-2016.pdf>.

RALA 2020. Kuivaketju10 vähentää merkittävästi kosteusvaurioita. <https://www.rala.fi/tuotteet/kuivaketju10/>. Luettu 8.5.2020.

Rantala, J. 2014. Perustaminen paaluille. <https://www.rakennaoykein.fi/perustaminen-paaluille-91278/uutiset.html>. Luettu 6.5.2020.

Saari, S. 2017. Kuivaketju10-toimintamalli rakennushankkeen kosteudenhallintaan. RALA. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/koulutus--ja-esitysaineistot/2017/kiertue/kuivaketju10.pdf>.

Sahlstedt, S. & Koskenvesa, A. 2016. Kuivana rakentaminen – opas rakentamisen kosteudenhallintaan. Mittaviiva Oy. [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana\\_rakentaminen\\_opas\\_2016.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana_rakentaminen_opas_2016.pdf).

Sahlstedt, S. & Lindberg, R. 2013. Materiaalien suojaus työmaalla. Mittaviiva Oy. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK140507.pdf>.

Seppälä, P. 2013. Rakentamisprosessin kosteudenhallinta – rakennuttajan laatuvalinnat, suunnittelu, työmaatoteutus ja ylläpito. Oulun yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut / rakennusvalvonta. <https://www.ouka.fi/documents/486338/4e193c48-4fbc-4878-befb-b94b055ac31f>.

Seppälä, P. 2020. Rakennusvalvonnan johtaja. Oulun kaupungin rakennusvalvonta. Puhelinkeskustelu 26.5.2020.

Sisäilmayhdistys ry a. Kosteuden siirtyminen. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>. Luettu 11.3.2020.

Sisäilmayhdistys ry b. Kosteuslähteet. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahteet>. Luettu 6.3.2020.

Sisäilmayhdistys ry c. Perustus ja alapohja. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Perustus-ja-alapohja>. Luettu 5.4.2020.

Sisäilmayhdistys ry d. Työmaan kosteudenhallinta. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Työmaan-kosteudenhallinta>. Luettu 13.4.2020.

Sisäilmayhdistys ry e. Ulkoseinät. (Kapillaarinen veden siirtyminen maasta) <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Ulkoseinat>. Luettu 13.4.2020.

SSAB 2020. RR<sub>R</sub> and RD<sub>R</sub> piles. Design and installation manual. Ohje ladattavissa <https://www.ssab.fi/tuotteet/terasluokat/infrastruktuuri/tuotteet/steel-piles-micropiles>. Lataussivua käytetty 10.5.2020.

Tielaitos 1999. Teräsputkipaalut. <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf>.

Topten-rakennusvalvonnat 2018. 117C 01A. Kosteudenhallintaselvitys. Merkitys ja sisältö. <https://www.pksrava.fi/doc/tulkintakortit/MRL-117c01A.pdf>.

Törrö, M. 2017. Vesitiiviin paalulaatan suunnittelu. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130976/torro\\_mari.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130976/torro_mari.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Vahanan 2018. Betonin kuivumisen mallintaminen. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2018/11/4.-Betonin-kuivumisen-mallintaminen-DI-Pauli-Sekki-Vahanan-Rakennusfysiikka-Oy.pdf>.

Vilpe. Ross-tuuletuspaalu 125/135. <https://www.vilpe.com/fi/ross-ventilation-pole-o125-135.html>. Viitattu 25.5.2020.

Vinha, J. 2008. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Teoksessa Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS (toim.) Rakentajain kalenteri 2009. Rakennustieto Oy. 362–381.

Ympäristöministeriö 2020. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Latausosoite



<https://www.ym.fi/download/noname/%7BF3A686EA-E374-4983-A396-CC15D6830B7B%7D/156354>.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 a. 2 § Määritelmät.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 b. 3 § Rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden olennaiset tekniset vaatimukset.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 c. 12 § Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatiminen ja sisältö.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 d. 15 § Rakenteiden kuivuminen.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 e. 1 § Soveltamisala.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 f. 12 § Työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen ja sisältö.

Wiiste 2016. Wiiste Oy. SolidRH kirjallinen käyttöohje.

Liite 1. Esimerkkiote suunnittelijan ja urakoitsijan tarkastuslistoista

Suunnittelijan tarkistuslista		Urakoitsijan tarkistuslista		
Suunnitteluratkaisu	Suunnittelija(t)	Tömaatodentaminen	Todentamisdokumentti	pvm/henkilö
Suunnitellaan paaluvaata vesitiiviksi, jolloin maaperän kosteusraostusten vaikutus pienenee.	RAK	Todetaan suunniteltu rakeneratkaisu ja tiiveys todetaan.	Tarkepiirustus / Dokumentti	
Suunnitellaan paaluvaata toteutettavaksi yhdellä valukerralla, eikä laataan jätetä työ- tai liikuntasuomuja.	RAK	Todetaan laatan olevan saunaton ja läpivientön.	Tarkepiirustus / Dokumentti	
Määritetään kaikkien rakennusten ensimmäisen kerroksen korkeustasot. Ensimmäisen kerroksen lattianpinnan tulee olla 30 cm valmiin maanpinnan yläpuolelle.	ARK RAK	Mitataan rakennuksen ensimmäisen kerroksen kaikkien lattianpintojen korkeustasot.	Tarkepiirustus	
Suunnitellaan alapohjarakenteen rakennekerrokset tuuletuviksi, jolloin paaluvaatan kosteusuuton poisto on hallittua.	RAK	Todetaan tuuletuminen lämpö- ja kosteusmittauksin.	Mittausasiakirja / Dokumentti	
<b>Suunnittelijoiden lisäämät rivit:</b>				
Suunnittele asia 1		Todenna asia 1	Dokumentoi asia 1	
	pvm/henkilö			