

Samuli Viljakainen

PUURAKENTAMISEN KOSTEUDENHALLINNAN VALVONNAN KEHITTÄMINEN

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastajat: Professori Arto Saari
Projektipäällikkö Juha-Matti Junnonen
Maaliskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Samuli Viljakainen: Puurakentamisen kosteudenhallinnan valvonnan kehittäminen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Maaliskuu 2022

Sekä korkean puurakentamisen osaamisessa että rakennushankkeen kosteudenhallinnassa on tutkimusten mukaan puutteita. Suomen valtio ja kunnat pyrkivät lisäämään puun käyttöä julkisessa rakentamisessa ja kaupunkirakentamisessa. Lisäksi Suomen lainsäädäntö asettaa selkeät vaatimukset rakennusten terveellisyydelle ja kosteustekniselle toimivuudelle. Näiden tekijöiden myötä havaittiin tarve tutkia kosteudenhallinnan toteutusta ja sen valvontaa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mihin asioihin kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavan henkilön tulee erityisesti kiinnittää huomiota puurakentamiskohteen valvonnassa. Työssä tutkittiin korkean puurakentamisen kosteudenhallinnan suunnittelua, toteutusta ja valvontaa sekä kosteudenhallinnan erityispiirteitä ja kriittisiä tekijöitä puurakennushankkeen eri vaiheissa.

Työ suoritettiin kirjallisuuskatsauksena ja haastattelututkimuksena. Kirjallisuustutkimuksella luotiin tutkimuksen perusta, johon kerättiin tietoa suomalaisesta lainsäädännöstä ja asetuksista, kansallisesta ja kansainvälisestä kirjallisuudesta sekä standardeista. Haastattelututkimuksella tuettiin ja täydennettiin kirjallisuustutkimuksen tuloksia. Haastattelut suoritettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluina ja ne jaettiin rakennuttamisen, arkkitehtisuunnittelun, rakennesuunnittelun, kosteudenhallintakoordinoinnin ja työmaatoteutuksen näkökulmiin.

Työssä esitetään hankkeen eri roolien näkemykset puurakentamisen kosteudenhallinnasta haastateltavien vastausten perusteella. Kirjallisuustutkimuksen ja haastattelututkimuksen keskeisiä tuloksia kootaan yhteen ja verrataan työn pohdintaluvussa. Luvussa myös arvioidaan tutkimuksen onnistumista ja sen mahdollisia virhelähteitä sekä tulosten käytettävyyttä. Tulosten pohdinnan myötä tehtiin johtopäätökset siitä, miten puurakentaminen vaikuttaa kosteudenhallinnan valvontaan hankkeen eri vaiheissa.

Tutkimuksessa todettiin, että rakentamisen aikainen olosuhdehallinta on keskeisin asia kosteudenhallinnassa, kun kyseessä on puurakentaminen. Työmaavaiheessa on paneuduttava sääsuojaukseen ja kosteusriskien ehkäisyyn tarkasti, varsinkin kerroksellisten puurakenteiden kohdalla. Ennen työmaatoteutusta kosteudenhallintakoordinaattorin on määritettävä hankkeelle tavoitteet ja vaatimukset kosteudenhallinnan osalta. Työmaan olosuhdehallinnalle esitetään tarkat vaatimukset kosteudenhallintaselvityksessä. Kosteudenhallintaselvitys olisi suositeltavaa tehdä jo alustavasti ennen suunnitteluvaihetta, jotta sillä pystytään ohjaamaan hankkeen toteutussuunnittelua. Suunnitteluvaiheessa koordinaattorin on varmistettava, että suunnittelussa huomioidaan kosteusriskit ja laaditaan riittävät detaljipiirustukset.

Hankkeen toteutusvaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori valvoo olosuhdehallinnan toteutusta ja sen toimintatavan toimivuutta. Kosteusmittauksia suorittaessa tavallisen piikkimittarin lisäksi valvonnassa voidaan käyttää apuna langattomia kosteudenseurantalaitteita. Koordinaattorin on myös huolehdittava, että puurakenteiden kosteusvauriot ehkäistään ja niihin varaudutaan ennalta riittävällä tasolla. Kosteusvauriutilanteissa puurakenteiden kannalta tärkeintä on mahdollisimman nopea hallittu kuivaus ja korjaus. Korjauksen riittävyyden ja onnistumisen todentamisen on tapahduttava tarkasti ja jäävittävästi, jotta voidaan todeta rakenteiden terveellisyys ja toimivuus tulevaisuudessa.

Tutkimuksessa nousi esille asioita, jotka antavat aiheen jatkotutkimukselle. Jatkotutkimusta voitaisiin tehdä kehittämällä Kuivaketju10 –järjestelmän soveltuvuutta korkean puurakentamisen tekniikoihin, tutkimalla puun ja betonin liittorakenteiden vaikutusta kosteudenhallintaan sekä koilemalla langattomien kosteudenseurantalaitteiden toimintaa ja hyödyllisyyttä käytännössä.

Avainsanat: Puurakentaminen, kosteus, kosteudenhallintakoordinointi.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Samuli Viljakainen: The development of moisture management control in wood construction
Master's thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
March 2022

According to research, there are shortcomings in both the expertise to high-rise wood construction and the moisture management of a construction project. The state and municipalities of Finland are working to increase the use of wood in public construction and urban construction. In addition, Finnish legislation sets clear requirements for the healthiness of buildings and the moisture performance of structures. With these factors, the need to study the implementation and control of moisture management was identified.

The aim of this research was to find out which tasks the person for the supervision of moisture management should pay special attention to during the supervision of a wood construction site. The work examined the design, implementation and control of moisture management in high-rise wood construction, as well as the special features and critical factors of moisture management in different phases of wood construction project.

The work is done as literature review and interview research. The literature review created the basis for the research, which collected information on Finnish legislation and regulations, national and international literature and standards. The interview study supported and supplemented the results of the literature search. The interviews were carried out as semi-structured thematic interviews and were divided into aspects of construction contracting, architectural design, structural design, humidity management coordination and site implementation.

The work presents the views of the different roles of the project on the moisture management of wood construction based on the answers of interviewees. The main results of the literature search and interview research are summarized and compared in the reflection chapter of the thesis. The chapter also evaluates the success of the study and its possible sources of error, as well as the usability of the results. After considering the results, conclusion was drawn about how wood construction affects the control of moisture management at different stages of the project.

The study found that condition management on a construction site is the most important issue in moisture management when it comes to wood construction. Careful attention must be paid to weather protection and the prevention of moisture risks at the construction site, especially in the case of layered timber structures. At the beginning of construction project, the humidity management coordinator must define the objectives and requirements for the project in terms of humidity management. The exact requirements for site condition management are presented in the humidity management statement. It would be advisable to carry out the statement before the design stage in order to be able to guide the implementation design of the project. During the design phase, the coordinator must ensure that moisture risks are taken into account in the design and that sufficient detailed drawings are drawn up.

During the implementation phase of the project, the humidity management coordinator monitors the implementation of condition management and the functioning of its operating method. Continuous humidity monitoring equipment can be used to assist in the humidity management control work. The coordinator must also ensure that moisture damages to timber structures is prevented and prepared for in advance through moisture management plan. In situations of moisture damage, the most important thing for wood structures is controlled drying and repair as soon as possible. The adequacy and success of the repair must be verified accurately and uninterruptedly in order to establish the soundness and functionality of the structures in the future.

The study raises issues that warrant further research. Further research could be carried out by developing the suitability of Kuivaketju10 –system for high-rise wood construction techniques, by studying the effect of wood and concrete composite structures on moisture management and by testing the operation and usefulness of wireless moisture monitoring devices in practice.

Keywords: Wood construction, moisture, moisture management coordination.

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö laadittiin toimeksiantona Sitowise Oy:lle. Työn vastuunohjaajana ja tarkastajana toimi Tampereen yliopiston professori Arto Saari. Sitowise Oy:ltä työtä oikeaan suuntaan ohjasivat Jarmo Heinonen ja Mikko Lehtinen.

Haluan kiittää työni ohjaajia ja kaikkia muita tutkimustyöhön osallistuneita. Erityiskiitokset osoitan Ismo Silvánille ja Jouni Huuralle työn tekemisen mahdollistamisesta Sitowise Oy:n toimeksiantona.

Kiitos myös läheisilleni tuesta opiskelujen aikana.

Tampereella, 17.3.2022

Samuli Viljakainen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaukset	2
2. PUURAKENTAMISEN KOSTEUDENHALLINTA	4
2.1 Kosteudenhallinnan kulku rakennushankkeessa	4
2.2 Kosteudenhallinnan asiakirjojen sisältö puurakennushankkeessa	7
2.2.1 Kosteudenhallintaselvitys	7
2.2.2 Kosteudenhallintasuunnitelma	8
2.3 Puurakenteiden kosteustekninen suunnittelu	9
2.3.1 Suunnittelun perusta	9
2.3.2 Puu rakennusmateriaalina	10
2.3.3 Kosteusriskit	11
2.3.4 Arkkitehtisuunnittelu	12
2.3.5 Rakennesuunnittelu	13
2.3.6 Erilaiset rakennevaihtoehdot	14
2.4 Toteutusvaiheen kosteudenhallinta	15
2.4.1 Suojaustavat	15
2.4.2 Kosteusmittaukset	19
2.4.3 Olosuhdehallinta ja -seuranta	20
2.4.4 Puurakenteiden vaurioituminen kosteuden vaikutuksesta	21
2.4.5 Puurakenteiden kosteusvaurioiden korjaaminen	24
2.5 Rakennuksen käyttöönoton ja käytön aikainen kosteudenhallinta	25
2.6 Rakennustöiden valvonta	26
2.6.1 Valvonta yleisesti	26
2.6.2 Suunnittelun ja toteutuksen valvonta	28
2.7 Kosteudenhallinnan valvonta	29
2.7.1 Yleistä	29
2.7.2 Hankkeen tilaamisvaihe	30
2.7.3 Hankkeen suunnitteluvaihe	30
2.7.4 Hankkeen toteutusvaihe	30
2.7.5 Rakennuksen käyttöönottovaihe	31
2.7.6 Kosteudenhallinnan valvonnan haasteet	32
3. HAASTATTELU TUTKIMUS	33
3.1 Tutkimuksen suorittaminen	33
3.2 Haastateltavien näkemykset puurakentamisen kosteudenhallintaan ..	34
3.2.1 Rakennuttamisen näkökulma	34
3.2.2 Arkkitehtisuunnittelun näkökulma	36
3.2.3 Rakennesuunnittelun näkökulma	38
3.2.4 Kosteudenhallintakoordinaattorin näkökulma	40
3.2.5 Työmaatoteutuksen näkökulma	43
4. POHDINTA	47
4.1 Keskeiset tulokset	47
4.2 Tutkimuksen arviointi	49

5. JOHTOPÄÄTÖKSET	51
5.1 Puurakentamisen kosteudenhallintakoordinointi.....	51
5.2 Jatkotutkimusehdotukset.....	53
LÄHTEET	55
LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET	59
LIITE B: KOSTEUDENHALLINTAKOORDINOINTI KORKEAN PUURAKENTAMISEN ERITYISPIIRTEET HUOMIOIDEN	62

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CLT	Cross Laminated Timber. Ristiinliimatuista lautakerroksista koostuva rakennuslevy.
Hybridirakenne	Betonin ja puun liittorakenne.
Kuivaketju10	Toimintamalli kosteudenhallintaan rakentamisessa. Sisältää kymmenen keskeisintä kosteusriskiä rakentamisessa.
LVL	Laminated Veneer Lumber eli viilupuu. Sorvatuista viiluista liimamalla valmistettu rakenteellinen puutuote.
RunkoPES	Avoin puuelementtistandardi. Vakioi määritelmillään asuntotuotannon puuelementtirakentamista.
Suurelementti	Rankarakenteinen tai massiivipuinen seinäelementti.
Terve talo	Toteutusohje rakennusten terveellisyyden varmistamiseksi.
Tilaelementti	Seinä-, lattia-, ja kattorakenteista koostuva tila, joka voi sisältää myös talotekniikkaa, laitteita ja valmiita pintamateriaaleja.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Sekä monikerroksisten puurakennusten suunnittelu ja toteutus että rakennushankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavan henkilön tehtävät ovat vielä melko uusia ja tuntemattomia aiheita suomalaisten rakennushankkeiden piirissä. Tämä tekijä yhdistettynä siihen, että korkeat puurakennukset ovat erityisen herkkiä työmaa-aikaisten kosteusongelmien syntymiselle ja puurakentamista pyritään koko ajan lisäämään, luo tarpeen puurakentamisen kosteudenhallinnan valvonnan tutkimiselle.

Puurakentaminen on tunnistettu keskeiseksi keinoksi vähentää rakentamisesta syntyviä hiilidioksidipäästöjä ja Ympäristöministeriön julkisen puurakentamisen kansallisten tavoitteiden mukaan tavoitellaan puurakentamisen osuuden olevan 45 % kaikesta julkisesta uudisrakentamisesta vuoteen 2025 mennessä. Kunnilla on todettu olevan merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä ja esimerkiksi Tampereen kaupunki on asettanut tavoitteeksi, että 15 % uusista kerrostaloista kaupungin luovuttamilla tonteilla olisi puurakenteisia vuonna 2025 (Ympäristöministeriö 2020).

Yli kaksikerroksisen puurakentamisen kokemuksen ja osaamisen puute kuitenkin näkyy vielä puurakentamisen kehityksessä. Ijäksen (2013) mukaan rakennuttajat ja rakennesuunnittelijat kokevat puukerrostalon kosteudenhallinnan ja suojauksen rakentamisvaiheessa suurimmaksi virheriskiksi vertailtaessa sitä betonikerrostalon rakentamiseen. Erityisesti puinen välipohja, runsaat detaljien määrät, rakenneosien yhteensovittaminen ja puun eläminen koetaan asioiksi, jotka aiheuttavat kosteusriskiä. Rakennesuunnittelijat kokevat myös, että kosteusvauriot ja niiden korjaaminen ovat suurin riski uudessa puukerrostalossa. (Ijäs 2013)

Rakennushankkeen kosteudenhallinnan puutteellinen toteutus nousee esille monissa kyselyissä ja tutkimuksissa. Rakennuslehden (2020) tekemän kyselyn mukaan yli 80 %:ssa hankkeista rakennusvalvonnalle ei toimiteta lain edellyttämää kosteudenhallintaselvitystä. Recover Nordic Oy kertoo, että uudiskohteiden yleisimpiä syitä vesivahingolle ovat puutteellinen suojaus ja inhimilliset virheet. Myös Kirjavaisen (2020) mukaan suojaus ja ilmanvaihto rakennusaikana on puutteellista kohteissa, joissa käytetään paljon puuta. (Kortelainen 2020)

Kosteudenhallintaan voidaan kuitenkin vaikuttaa rakennushankkeen tilaus-, suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Sitä myös ohjataan useilla laeilla ja asetuksilla. Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) asettaa rakennushankkeeseen ryhtyvälle huolehtimisvelvollisuusvaatimukset, joiden mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvä on huolehtimisvelvollinen rakennuksen suunnittelusta ja rakentamisesta turvalliseksi ja terveelliseksi muun muassa rakennuksen sisäilma-, kosteus- ja lämpöolosuhteet huomioon ottaen. Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017) mukaan ulkoisista tai sisäisistä kosteuslähteistä kulkeutuva vesi, vesihöyry, jää tai lumi ei saa aiheuttaa haittaa rakenteisiin. Myös kosteuden kerääntyminen sekä lumen ja sadeveden kulkeutuminen vaipparakenteeseen täytyy estää. Satunnaisesti rakenteisiin kulkeutuvan kosteuden täytyy pystyä poistumaan haittaa aiheuttamatta. (YM 782/2017)

Ympäristöministeriön asetuksen (782/2017) mukaan myös rakennushankkeeseen ryhtyvän on nimettävä hankkeeseen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaava henkilö eli kosteudenhallintakoordinaattori, joka on vielä melko uusi nimike rakennushankkeissa. Kosteudenhallintakoordinointi ja puurakentaminen yhdessä luovat tehtäväkentän, joka sisältää monia uusia ja kokeiluasteella olevia ratkaisuja, ja sitä kautta luo uudenlaisia työtehtäviä. Tämän takia on tärkeää, että puurakentamisen kosteudenhallinnan valvontaa tekevällä henkilöllä on käytössään riittävät tiedot kosteudenhallinnan valvonnan työn tekemiseksi. Kosteudenhallintaa valvovan henkilön on osattava tunnistaa puurakentamisen kosteudenhallintaan liittyvät erityispiirteet, riskit ja puutteet sekä osattava puuttua niihin riittävällä tasolla.

1.2 Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaukset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitä kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavan henkilön tulee ottaa huomioon puurakentamisen kohteen valvonnassa. Työssä käydään läpi puurakentamisen kosteudenhallinnan elinkaari lähtien hankkeen tilaamisvaiheesta päättyen rakennuksen käytön vaiheeseen hankkeen eri osapuolten roolit ja tehtävät huomioiden.

Työssä esitellään hankkeen eri osapuolten tehtäviä ja vaikutusta kosteudenhallinnan suorittamiseen. Tutkimuksen tuloksena kuvataan puurakentamisen tuomia erityispiirteitä kosteudenhallinnan valvontaan, minkä avulla asiantuntijan on helpompi toimia kosteudenhallintakoordinaattorina puurakentamisen suunnittelun, toteutuksen ja käyttöönoton vaiheissa. Tulosten pohjalta tehdään johtopäätökset siitä, miten puurakentamisen kosteudenhallinnan valvontaa suoritetaan hankkeen eri vaiheissa. Tutkimuksen tavoitteeseen pääsemiseksi asetettiin tutkimuskysymykset:

1. Mitkä ovat kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävät rakennushankkeen eri vaiheissa hankkeen eri osapuolet huomioon ottaen?
2. Mitkä ovat puurakentamisen erityispiirteet ja kriittiset tekijät rakentamisen kosteudenhallinnan näkökulmasta?
3. Miten puurakentamisen kosteudenhallintaa suunnitellaan, toteutetaan ja hallitaan hankkeen eri vaiheissa?

Tutkimus toteutettiin kirjallisuustutkimuksen ja asiantuntijahaastattelujen avulla. Kirjallisuustutkimuksella luotiin tutkimukselle perusta, jonka pohjalta asiantuntijahaastattelut rakennettiin täydentämään ja tukemaan kirjallisuustutkimuksen tuloksia. Asiantuntijahaastatteluissa haastateltiin rakennuttajia, kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavia henkilöitä, rakenne- ja arkkitehtisuunnittelijoita sekä työmaatoteutuksen toimihenkilöitä.

Tutkimus suoritettiin toimeksiantona Sitowise Oy:lle. Työn lopputuloksena tuotettiin työn liitteenä B oleva ohjeistus kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävistä, joissa huomioidaan puurakentamisen tuomat erityispiirteet. Ohjeistusta voidaan käyttää kosteudenhallintakoordinaattorina toimimisen apuna ja se toimii yrityksen sisäisenä yhtenäistävänä toimintatapana työtehtäviä tehdessä ja tuotettavia asiakirjoja laatiessa. Ohjeistusta voidaan käyttää myös tarjoamisen apuvälineenä, kun siinä tehtävät ovat tarkasti määriteltynä.

Työ rajataan koskemaan yli kaksikerroksisia puurakennuksia. Tutkimukseen ei oteta mukaan pientaloja ja työssä keskitytään uudisrakentamiseen.

2. PUURAKENTAMISEN KOSTEUDENHALLINTA

2.1 Kosteudenhallinnan kulku rakennushankkeessa

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvä on huolehtimisvelvollinen rakennuksen suunnittelusta ja rakentamisesta rakentamista koskevien määräysten ja säännösten sekä myönnetyn rakennusluvan mukaisesti. Rakennuksen terveellisyyden näkökulmasta rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvollisuus edellyttää sitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan terveelliseksi ja turvalliseksi rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista rakennusten käyttäjille muun muassa rakennusosien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. (MRL 132/1999)

Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää myös, että rakennushankkeeseen ryhtyvällä on oltava riittävät edellytykset hankkeen toteuttamiseen sen vaativuus huomioon ottaen (MRL 132/1999). Rakennushankkeeseen ryhtyvä on vastuussa rakennuttamisen organisoinnista ja määrittää toimeenpanevan vastuuelimen hankkeen investointitehtäville. Rakennuttamistyössä voidaan käyttää ulkopuolisia rakennuttamispalveluita tai se voidaan tehdä kokonaan tai osittain itse. Rakennuttajalla on suuri rooli rakennushankkeen kosteudenhallinnan toteutumisen onnistumisessa. (RIL 250-2020 s. 61)

Rakennushankkeen kosteudenhallintaprosessi alkaa hankesuunnitteluvaiheesta, jossa rakennuttaja määrittelee olosuhde- ja laatutavoitteet rakennushankkeelle sekä päättää hyödynnetäänkö prosessissa valmista olosuhdehallinnan toimintamallia, kuten Kuiva- ketju10:ä tai Terve talo –toimintamallia. Tavoitteet toimivat hankkeen suunnittelun lähtökohtina ja ohjaavat hankkeen toteutusta, ja niiden määrittely tehdään yhteistyössä tilaajan, pääsuunnittelijan, kosteudenhallintakoordinaattorin ja muiden tarvittavien asiantuntijoiden kanssa yhteistyössä. Usein määritettävä laatutaso on vaativampi kuin määräyksissä vaadittava vähimmäistaso. Hankesuunnitteluvaiheessa asetetut tavoitteet esitetään karkealla tasolla ja ne päivitetään hankkeen edetessä. (Ratu S-1236) Kuvassa 1 esitetään kootusti rakennuttamiseen ja rakennushankkeen toimivaan kosteudenhallintaan liittyvät avainkohdat.

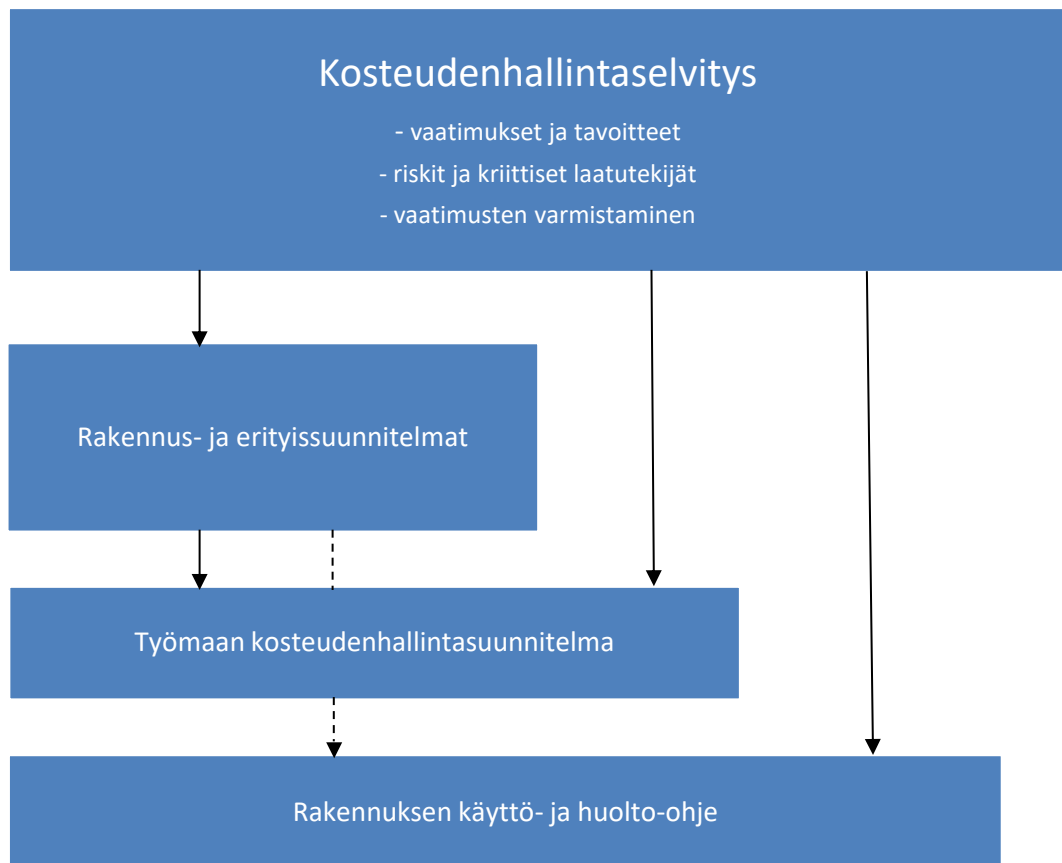


Kuva 1. Avainkohdat toimivaan kosteudenhallintaan rakennuttajan näkökulmasta (muokattu lähteestä RIL 250-2020)

Rakennuttajan on asetettava rakennukselle selkeät laadulliset, tekniset ja taloudelliset tavoitteet sekä kosteudenhallintaan liittyvät vaatimukset ja toimintatavat. Jotta tieto tavoitteista välittyy myös muille osapuolille, tavoitteet kirjataan hankeasiakirjoihin. Hankeasiakirjat toimivat lähtötietoina suunnittelijoille ja työmaan toteuttajille. (RIL 250-2020 s. 62)

Rakennuttajan tulee myös varata hankkeelle riittävät resurssit hankkeen suunnittelun, valvonnan ja toteutuksen osalta. Hanke on oltava organisoitu hallitusti ja tiedonkulkutapa eri osapuolten välillä on oltava selkeästi sovittu ja toimiva. Hankkeen vaativuuden mukaisesti hoidetaan kosteudenhallinnan riskikartoitukset hankkeen eri vaiheissa ja ne dokumentoidaan. Kohdekohtaisten riskikartoitusten mukaisesti ryhdytään niiden mukaisiin tarvittaviin toimenpiteisiin. (RIL 250-2020 s. 60)

Puurakentamishankkeeseen ryhtyvän ja tämän edustajien on suhtauduttava vakavasti hankeosapuolten osaamisen varmistamiseen, koska hankkeen onnistumisen edellytykset käytännössä määräytyvät osaamisen tason mukaan. Hankkeen läpiviennin kannalta on tärkeää, ettei yksikään osa-alue suorita omaa työtään heikosti tai haitaten muiden osa-alueiden suorittamista. (Puuinfo 2022)



Kuva 2. Kosteudenhallinnan kulku asiakirjojen avulla (muokattu lähteestä RIL 250-2020)

Kuvassa 2 esitellään kosteudenhallintaprosessin kulku asiakirjojen avulla ja se havainnollistaa asiakirjojen kytkeytymistä toisiinsa. Jotta rakentamisprosessi toimii mahdollisimman hyvin, tarvitsee se osapuolten välistä avoimuutta, hyvää yhteistyökykyä ja toimivia tiedonkulkumenettelyjä. Hankkeen kosteudenhallinnan tavoitteet, riskien hallinta, laadunvarmistusmenettelyt ja erityispiirteet todetaan rakennusvalvonnan aloituskokouksessa. Kosteudenhallinnan toteutumista ja edistymistä seurataan työmaakokouksissa. (RIL 250-2020 s. 177)

Urakkaohjelmassa ja sen liitteissä sekä suunnitelmissa esitetään vaatimukset ja tavoitteet kosteudenhallinnalle (Ratu S-1232). Vinhan (2019) mukaan rakennushankkeen tilaajan on tarjouspyyntöihin määritettävä kosteudenhallinnan keskeiset toimenpiteet, sääsuojaustasovaatimukset, rakenteiden pinnoittamiseen ja kuivattamiseen liittyvät vaatimukset sekä todentamismenettelyt. Tilaaja voi ottaa rakennushankkeeseen käyttöön Kuivaketju10-toimintamallin, jolloin hankkeessa toimitaan Kuivaketju10 –ohjekorttien mukaan (Kuivaketju10).

Rakennusten kosteusriskit pyritään minimoimaan olosuhteiden hallinnalla työmaalla. Sääolosuhteiden hallinnassa tärkein asia on oikealla tavalla tehdyt rakenteiden suojaustoimenpiteet. (Ratu S-1232) Rakennusaikaisen kosteudenhallinnan toteutus on pitkälti riippuvainen urakoitsijoiden asenteista (Vinha 2019). Työmaan kosteudenhallintaan liittyvät myös olosuhde-, laatu- ja aikatauluriskit. Muiden teknisten riskien lisäksi myös kosteudenhallinnan riskit esitetään tehtäväsuunnitelmissa. Tehtäväsuunnitelmien mukaisesti etenemällä varmistetaan kosteudenhallinnan riittävä huomiointi laadunvarmistusprosessissa. (Sahlstedt & Koskenvesa 2016)

Urakoitsijalla on velvollisuus suorittaa hankkeen laadunvarmistus, joka on määriteltynä urakan sopimusasiakirjoissa. Laadunvarmistus on osoitettava kirjallisesti ennen työn aloittamista. Urakoitsijan on noudatettava rakennustapaa, jolla saavutetaan sopimuksen mukainen laatutaso. Laadunvarmistuksen taso varmistetaan urakoitsijan laadunvalvonalla, jossa urakoitsija tarkastaa oman työnsä laadun ja korjaa mahdolliset puutteet. Urakkasuorituksen vakavat rakennusvirheet ja niiden vaatimat korjaustoimenpiteet on ilmoitettava tilaajan edustajalle. (RT 16-10660) Kosteudenhallinnan toimenpiteet ja laadunvarmistuksen edellyttämät tarkastukset merkitään työmaan tarkastusasiakirjaan (RIL 250-2020 s. 177).

2.2 Kosteudenhallinnan asiakirjojen sisältö puurakennushankkeessa

2.2.1 Kosteudenhallintaselvitys

Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten kosteusteknistä toteutuksesta (782/2017) mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennushankkeelle tehdään kosteudenhallintaselvitys. Asetus asettaa myös vaatimukset selvityksen sisällölle. RIL 250-2020 mukaan kosteudenhallintaselvityksessä selvitetään rakennushankkeeseen ryhtyvän vaatimuksia, resursseja ja menettelyjä kosteudenhallintaan. Vaatimusten toteutumisen varmennus on tärkeää kuvata selkeästi. (RIL 250-2020, s. 50)

Rakennushankkeen olosuhteet, kosteusriskit, laatu ja laajuus määrittävät kosteudenhallintaselvityksen laajuuden (Kosteudenhallinta.fi). Jotta kosteudenhallintaselvityksen tavoitteet ja vaatimukset saadaan sidottua hankkeen suunnittelu- ja toteutusvaiheeseen, se liitetään tarjouspyyntöjen ja sopimusten liitteeksi. Toteutussuunnitteluvaiheessa on tärkeää, että suunnittelijat omaksuvat selvityksen sisällön ja ottavat sen suunnittelutyön pohjaksi. (RIL 250-2020 s.50)

Topten rakennusvalvonnan (2018) mukaan kosteudenhallintaselvitykseen sisällytetään hankkeen yleistiedot, kosteudenhallinnan henkilöresurssit tehtävineen ja vastuineen,

konkreettiset vaatimukset hankkeen eri vaiheiden kosteudenhallintaan sekä toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallintavaatimusten varmentamiseksi. Oikein laadittuna kosteudenhallintaselvitys toimii kosteudenhallintamenettelyn toimintatavan ohjeena koko hankkeen ajan. Kosteudenhallintaselvitys liitetään myös rakennuslupahakemukseen, jotta rakennushankkeeseen ryhtyvä pystyy osoittamaan rakennusvalvonnalle kykynsä huolehtia hankkeen kosteudenhallinnasta sen vaativuuden mukaan. Rakennusvalvonta voi vaatia kosteudenhallintaselvityksen perusteella lupamääräyksiä kosteudenhallintaan liittyen. Mahdolliset erityismenettelyn määräykset voidaan tarvittaessa antaa myös aloituskokouksessa tai rakennustyön aikana. (Topten 2018)

2.2.2 Kosteudenhallintasuunnitelma

Rakentamisvaiheen toteuttaja laatii kosteudenhallintasuunnitelman yhdessä kosteudenhallintakoordinaattorin ja rakennesuunnittelijan kanssa kosteudenhallintaselvityksessä tai työselostuksessa määritetyn tasoitetason mukaan. Jos suunnitelmassa poiketaan kosteudenhallintaselvityksestä tai työselostuksesta, tulee siihen olla peruste. Kosteudenhallintasuunnitelman on katettava koko prosessi, eli puuosien valmistus, puuosien asennus ja valmis rakennus. (SFS-5978) Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö SFS-5978 mukaan on seuraavanlainen:

1. kohteen perustiedot
2. hankkeessa käytettävät puumateriaalit ja -tuotteet
3. puutavaran, puuelementtien ja rakennusosien tavoitekosteus tehdasvalmistuksen eri vaiheissa
4. puutavaran, puuelementtien ja rakennusosien tavoitekosteus työmaalle tuotuna, asennuksen aikana ja valmiina rakenteena
5. vastaanottotarkastukset ja vastuuhenkilöt
6. rakentamisen aikaiset kosteuslähteet
7. puurakenteiden suojaustaso
8. puun suojausmenetelmät työmaalla
9. rakenteiden hallittu kuivaus rakennuksen käyttöolosuhteisiin
10. kosteusmittausuunnitelma.

Kosteudenhallintaselvityksen pohjalta kosteudenhallintasuunnitelmassa kohteen kosteustekniset kriittiset laatutekijät ja riskit tunnistetaan ja määritellään tarkemmin. Rakennuttajan edustajana kosteudenhallintakoordinaattori hyväksyy kosteudenhallintasuunnitelman (RIL 250-2020).

2.3 Puurakenteiden kosteustekninen suunnittelu

2.3.1 Suunnittelun perusta

Rakennuttajan määrittämä kosteusriskiluokka luo perustan kosteudenhallinnan suunnittelulle. Myös rakennuttajan asettamat laatutavoitteet voivat vaikuttaa menettelytavan valintaan. Hankkeet jaetaan hankkeen vaativuuden mukaisiin kosteusriskiluokkiin 1–3. (RIL 250-2020) Riskiluokat on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. *Kosteusriskiluokat (RIL 250-2020)*

Hankkeen vaativuus	Kosteus-riskiluokat	Esimerkkejä
Erittäin vaativa	3	Suuren kosteusrasituksen tai muuten kosteudenhallinnan kannalta erittäin vaativat kohteet. Esim. uimahallit tai pakkasvarastot
Normaalia vaativampi	2	Normaalia vaativammat asuin-, liike- ja toimistorakennukset. Esim. koulut ja päiväkodit
Normaali	1	Tavanomaiset asuin-, liike- ja toimistorakennukset. (normaali menettely) Rakennukset, joissa on ihmisiä vain satunnaisesti tai joiden suunniteltu käyttöikä on normaalia lyhyempi (kevennetty normaalimenettely).

Kosteusriskiluokan perusteella valitaan kosteudenhallinnan menettelytasoksi joko normaali tai tehostettu menettelytaso. Tehostetussa menettelyssä tehdään riskianalyysi, jonka perusteella tehdään toimenpidevalinnat riskien torjumisen ehkäisemiseksi. Toimenpiteet kohdistetaan erityisesti sellaisiin rakenteisiin ja seikkoihin, joiden todetaan olevan muita kriittisempiä, vaativampia tai poikkeavampia. (RIL 250-2020)

Tehostettu menettely vaatii syvällisempää panostusta suunnittelun ja toteutuksen laatuun. Rakennuttaja voi nimetä ulkopuolisen henkilön tarkastamaan suunnitelmat, jotta varmistetaan ratkaisujen kosteusturvallisuudesta. Myös toteutusvaiheessa voidaan käyttää ulkopuolista asiantuntijaa kriittisiä kosteusriskejä sisältävien rakennedetaljien kohdalla. (RIL 250-2020)

Ympäristöministeriön asetuksen 782/2017 5 § mukaan suunnittelijoiden on tehtäviensä mukaisesti suunniteltava rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti siten, että se täyttää

sille asetetut kosteusteknisen toiminnan tekniset vaatimukset. Rakennuksen, rakenteiden ja rakennusosien on toimittava kosteusteknisesti oikein niiden suunnitellun teknisen käyttöönsä ajan ottaen huomioon niihin kohdistuvat sisäiset ja ulkoiset kosteusrasitukset. Rakennus ei myöskään saa vaurioitua eikä siinä oleskeleville ihmisille saa aiheutua terveyshaittaa rakennuksen liian suuresta kosteuspitoisuudesta tai kosteuden kertymisestä rakennuksen sisäpinnoille tai sen osiin. (Yma 782/2017)

2.3.2 Puu rakennusmateriaalina

Kosteus on yksi voimakkaimmista puun säilyvyyteen vaikuttavista tekijöistä (Kokko et al. 1991). Puu on hygroskooppinen materiaali, jonka vuoksi jokainen muutos puun välittömässä läheisyydessä johtaa puun kosteuspitoisuuden muutokseen (Kolb 2008). Puulla on kyky vastaanottaa kosteutta ympäröivästä ilmasta, joten sen ei tarvitse kastua, jotta sen kosteuspitoisuus nousee. Toisin sanoen, kun suhteellinen kosteus ilmassa kasvaa, kasvaa myös puun kosteuspitoisuus. (Puuinfo 2020)

Puussa on kosteutta sekä hygroskooppisena eli sitoutuneena vetenä että kapillaarisena eli vapaana vetenä (Wang 2016). Puun kuivussa puusta poistuu ensimmäisenä soluonteloiden sisältämä vapaa vesi. Kuivumisen jatkuessa vesi alkaa poistua myös soluseinistä, jolloin myös puun muodonmuutokset alkavat. (Kokko et al. 1991) Puu kuivuu nopeimmin tuuletetuissa, kuivissa ja lämpimissä olosuhteissa. Suhteellinen kosteus laskee, kun lämpötila nousee ja muut tekijät pysyvät ennallaan tietyssä ympäristössä. (Wang 2016)

Materiaalin pinnan kosteuspitoisuus vaihtelee riippuen materiaalista, ilman kosteudesta, lämpötilasta ja altistumisajasta eri kosteustasoilla (Viitanen et al. 2010, s. 212). Puun hygroskooppinen käyttäytyminen kuvaa kosteuden adsorptiota ja desorptiota tasapainon ylläpitämiseksi riippuen ympäröivästä ilmastosta, erityisesti lämpötilasta ja kosteudesta (Dietsch et al. 2014) Puun kosteuspitoisuuden muuttuminen on tehokkainta suorassa vesikontaktissa, jolloin tapahtuu veden kapillaarista imeytymistä puuhun. Veden imeytymisen nopeus puun syiden suunnassa on moninkertaista radiaaliseen ja tangentiaaliseen suuntaan verrattuna. (Kokko et al. 1991)

Puu on myös anisotrooppinen materiaali, joten sillä on erilaiset kutistumis- ja turpoamisominaisuudet säteittäisessä, tangentiaalisessa ja pitkittäissuunnassa. Tangentiaalisessa suunnassa mittamuutokset ovat suurimmat ja säteittäisessä suunnassa ne ovat noin puolet tangentiaalisen suunnan muutoksista. Pitkittäissuunnassa muutokset ovat vähäisiä. (Kolb 2008) Kutistuminen ja turpoaminen aiheuttaa puuhun halkeilua ja yleisin syy rakenteellisten puuelementtien halkeamiin on ilmasto (Dietsch et al. 2014).

2.3.3 Kosteusriskit

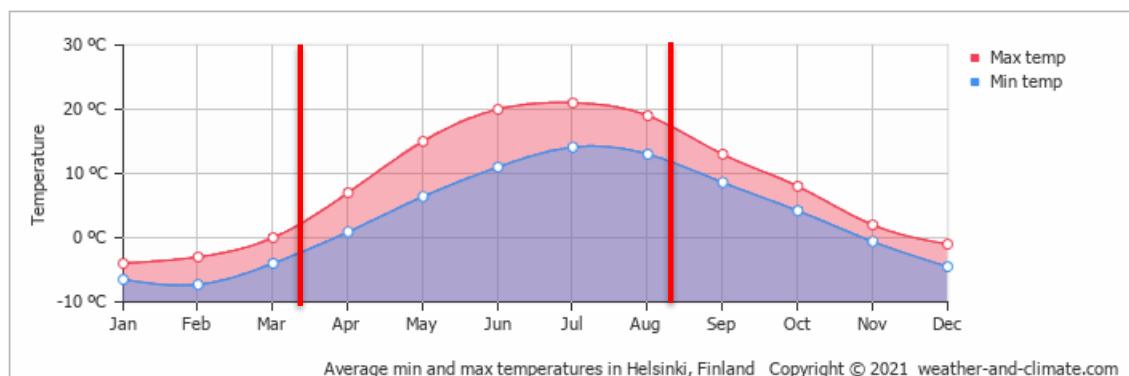
Rakennustavan määrittämät kosteusriskit arvioidaan rakennussuunnitteluvaiheessa. Koskenvesa et al. (2012) mukaan keskeisiä kosteusriskejä puurakentamisessa ovat:

- Mikrobivauriot, jotka kehittyvät kastuneeseen tai hitaasti kuivuvaan puuhun. Hitaan kuivumisen voi aiheuttaa esim. toiset rakenteet tai olosuhteet.
- Mikrobivaurioiden nopea kehitys lämpötilan ja kosteuden vaikutuksesta.
- Valmiiden pintojen kuivumiskutistumat, jos olosuhteet käytön ja pinnoitustöiden aikana ovat liian erilaiset.
- Ulkonäkövirheet, jotka aiheutuvat kastumisesta (esim. sinistymät).
- Kondenssin aiheutuminen höyrönsulun vuotojen takia.

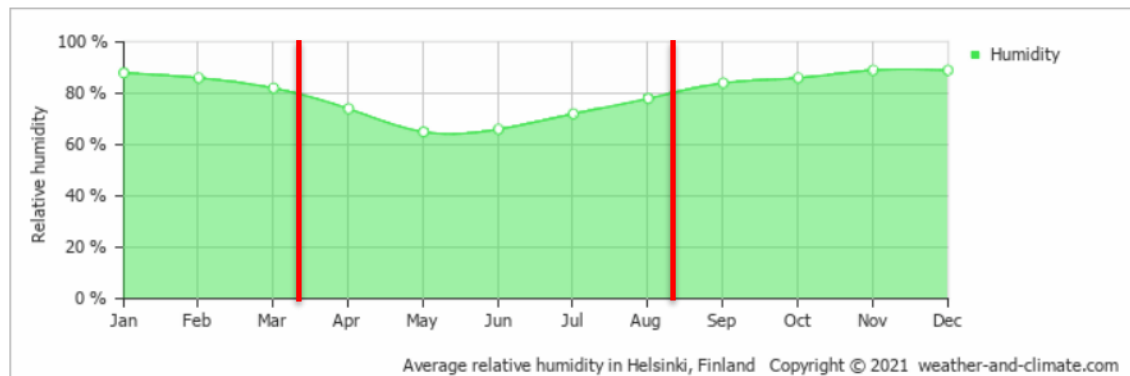
Kosteuspitoisuudella on merkittävin vaikutus puuosien biologisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Täten sillä on myös merkittävin vaikutus puurakenteiden pitkäaikaiseen toimivuuteen. Pitkäaikainen (viikkoja kestävä) 25 %:n kosteuspitoisuuden ylitys on kriittistä asennetuille puurakenteille. Jo yli 20 %:n kosteuspitoisuus aiheuttaa puuhun sinistymiä. Sinistymillä ei kuitenkaan ole vaikutusta puun lujuuteen, eivätkä ne aiheuta puun mätänemistä. (Kolb 2008)

Lyhyellä räystäällä varustettujen ja korkeiden puurakennusten julkisivut ovat alttiita sään täydelle vaikutukselle, joka voi johtaa puun halkeiluun. Halkeamat helpottavat veden tunkeutumista syvemmälle rakenteeseen. Pitkäaikaisen kyllästymisen estämiseksi käytetään kemiallisia suojoimenpiteitä. Pintakäsittely vaatii toimiakseen oikeanlaisen aineen riittävällä suojakerroksella. Pintakäsittelyn huollosta on huolehdittava. (Kolb 2008, s. 288)

Suomen ilmastossa kastuneella puulla on rajallinen ajanjakso mahdollisuuteen kuivua. Suhteellinen kosteus Suomessa on korkealla tasolla koko vuoden. Tämän takia sääsuojaus rakennusaikana on erittäin tärkeää. (Puuinfo 2020b)



Kuva 3. Vuosittaiset lämpötilat Helsingissä (Weather and climate 2021)



Kuva 4. Vuosittainen suhteellinen kosteus Helsingissä (Weather and climate 2021)

Kuvissa 3 ja 4 esitetään keskimääräinen lämpötila ja suhteellinen kosteus vuoden aikana Helsingissä. Punaiset viivat rajaavat kuvissa alueen, jolloin ulkoilman suhteellinen kosteus ei ylitä 80 %:a ja niitä vastaavat lämpötilat.

2.3.4 Arkkitehtisuunnittelu

Kosteudenhallinnan perusta luodaan arkkitehtisuunnittelulla ja rakennuksen sijainnilla. Arkkitehtisuunnittelun tehtävänä on määritellä rakennus ympäröivän maaston suhteen sekä vaipparakenteet ja niihin liittyvät detaljit. Arkkitehdin tulisi kiinnittää suunnittelussa huomiota rakennuksen korkeusasemaan, materiaalien pitkäaikaiskestävyyteen, säänkestävyyteen ja detaljien oikeaoppiseen toteutukseen. Monimuotoinen arkkitehtuuri, monimutkaiset detaljit ja useat eri julkisivumateriaalit tuottavat usein vaikeasti toteutettavia liitosdetaljeja ja sitä kautta riskirakenteita. Sisätilojen suunnittelussa on huomioitava, ettei niihin jää tuulettumattomia tiloja (RIL 250-2020, s. 72–80)

Viljakaisen (1997) mukaan kokoonpainuminen monikerroksisissa puurakennuksissa on merkittävä suunnitteluun vaikuttava ja kosteuteen liittyvä tekijä. Suurimmat syyt kokoonpainumiseen ovat puun kutistuminen kuivumisen aiheuttamana ja rakenteiden massa. Kokoonpainumista esiintyy rakennuksissa, joissa vaakarakenteet katkaisevat pystyrakenteet. Puukerrostaloissa kokoonpainuminen onkin merkittävintä välipohjien kohdalla. Kokoonpainumisen suunnittelussa on huomioitava (Viljakainen 1997):

- kokoonpainumisen sijainti
- metalliliitosten käyttö ja sijainti kannatettaessa suuria liima- tai massiivipuupalkkeja
- kokoonpainumisen vaikutus pintamateriaaleihin.

Rakennesuunnittelua enemmän kokoonpainuminen aiheuttaa ongelmia arkkitehtisuunnittelulle. Teknisesti kokoonpainuminen otetaan huomioon kokoonpainuvina liitoksina, joustavina nivelinä ja viemärien laskujen ylimääräisinä painumavaroina. Arkkitehtisuunnittelussa tulee ratkaista esteettiset ja käyttöön liittyvät seikat eri tavalla painuvien rakenteiden kohdalla. Erityisesti kokoonapainumiseen on kiinnitettävä huomiota, kun puurakenteita yhdistetään painumattomiin rakenteisiin, esim. betoniseen hissikuiluun tai muurattuun julkisivuun. Pääperiaate tällaisissa tilanteissa on pitää puurakenteet erillään muista rakenteista. Mahdollisesti kutistuman johdosta syntyvät tasoerot täytyy huomioida suunnittelussa. (Viljakainen 1997)

2.3.5 Rakennesuunnittelu

Puurakenteet jaotellaan käyttöluokkiin 1–3. Käyttöluokkaan 1 kuuluvien rakenteiden materiaalien kosteus vastaa kosteuden arvoa lämpötilassa 20 °C ja suhteellinen kosteus ympäröivässä ilmassa on yli 65 % ainoastaan muutamana viikkona vuoden aikana. Havupuun kosteuden arvo on enimmäkseen alle 12 %. Käyttöluokkaan 2 kuuluvat rakenteet, joiden materiaalien kosteus vastaa lämpötilassa 20 °C olevaa kosteutta. Suhteellisen kosteuden arvo 85 % ympäröivässä ilmassa ylittyy ainoastaan muutamana viikona vuodessa. Havupuun kosteus ei ylitä arvoa 20 % enimmässä määrin. Käyttöluokkaan 3 kuuluvat rakenteet ylittävät käyttöluokan 2 kosteusarvot. (SFS-EN 1995-1-1)

Rakenteiden kosteusteknisen mitoituksen kaksi pääperiaatetta ovat:

1. Rakenteisiin sitoutunut kosteus ei aiheuta merkittävää haittaa rakenteille ja rakennuksen käytölle missään vaiheessa.
2. Rakenteiden satunnainen kastuminen on otettava huomioon suunnittelussa ja niiden tulee pystyä kuivumaan riittävän nopeasti. (RIL 250-2020)

Sekä uudis- että korjausrakentamista suunniteltaessa pitää ottaa huomioon rakentamisvaihe, rakennuksen kuivumisvaihe ja rakennuksen normaali käyttövaihe. Nämä kaikki vaiheet ovat kosteustekniseltä toiminnaltaan erilaisia. (RIL 250-2020) Rakenteiden kosteusteknisessä suunnittelussa on hallittava rakennuksen kokonaisuus ja tarkastettava myös rakenteiden muut tekniset vaatimukset (Vinha 2019).

Suunnittelussa tulee huomioida rakenteiden rakennusaikainen kosteusrasitus ja rakennekosteuden tulee pystyä poistumaan rakenteista järkevässä ajassa. Suunnitelmissa on esitettävä vaihtoehtoiset menetelmät ja ratkaisut rakennekosteuden poistamiseksi, jos se ei onnistu itsestään kohtuullisessa ajassa. Kosteus ei saa aiheuttaa rakennuksen toi-

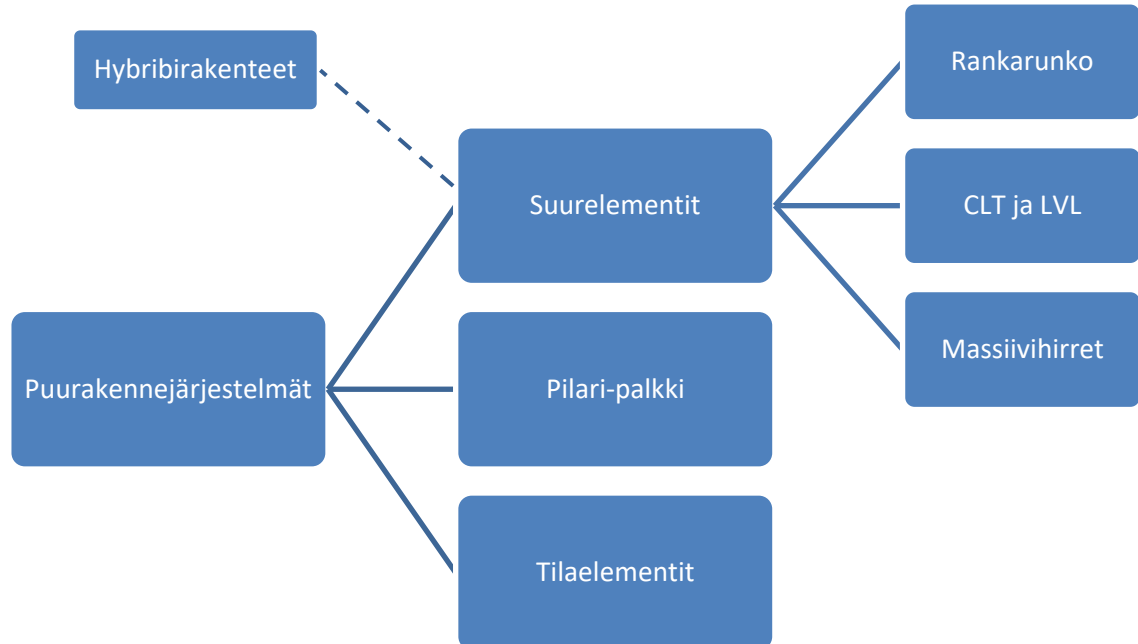
minulle tai käytölle haittaa missään vaiheessa. Laadunvarmistusmittaukset, sääsuojaukset, mallikatselmukset ja muut kosteudenhallinnan osa-alueet tulee esittää suunnitelma-asiakirjoissa. (Kosteudenhallinta.fi)

Rakentamiseen käytettävän puun kosteuspitoisuus pitäisi olla niin lähellä lopullista kosteuspitoisuutta kuin mahdollista kokoonpainumisen minimoimiseksi. Merkittävin aika kokoonpainumiselle on ensimmäinen lämmityskausi. Tällöin kosteus asettuu lopullisesti tietylle tasolle. (Viljakainen 1997)

Liitoksien ja detaljien suunnittelussa on huomioitava, että kosteutta ei pääse liitosten kautta vaipparakenteisiin, eikä rakenteisiin päässyt kosteus kerry liitosalueelle. Liitosalueille ei saa syntyä kylmäsiltoja, jotka aiheuttaisivat kondensoitumista tai edistäisivät homeen kasvulle suotuisia olosuhteita. (Vinha 2009)

2.3.6 Erilaiset rakennevaihtoehdot

Yli kaksikerroksisten puurakennusten toteuttamiseksi on olemassa useita eri rakennejärjestelmiä. Kaikille järjestelmille yhteistä on pitkälle teollistunut esivalmistus ja nopea asentaminen säältä suojattuna. Kuvassa 5 on esitetty yleisimmät rakennejärjestelmät puurakentamisessa (Puuinfo 2020d).



Kuva 5. Puurakennusten yleisimmät rakennejärjestelmät (Puuinfo 2020d)

Kantavien seinien muodostama kerroksittainen runkojärjestelmä on yleisin käytössä oleva runkojärjestelmä puurakentamisessa. Kantavina seininä voi toimia rankarunkoiset, CLT, LVL tai massiivihirsiset suurelementit. Välipohjarakenteeksi voidaan valita mikä

vain rakenne käytettäessä tätä runkojärjestelmää. Jänneväliden kasvattamiseksi voidaan käyttää myös ns. hybridirakenteita eli puun ja betonin liittorakenteita. (Puuinfo 2020d)

Puurakennuksen runko voidaan myös toteuttaa pilari-palkkijärjestelmällä. Pilarit ja palkit esivalmistetaan liima- tai kertopuusta. Ulkoseinät sekä väli- ja yläpohjat asennetaan niiden varaan. Runko jäykistetään mastopilareilla tai vinositeillä ja jäykillä liitoksilla. Pilari-palkkijärjestelmän etuina on, että saadaan tehtyä pohjaratkaisusta avoin ja muuntojoustava sekä mahdollistetaan julkisivujen suuret aukotukset. Rakennusvaihe on tässä nopea ja vesikatto saadaan nopeasti rungon päälle. Ulkoseinät ovat ei kantavina elementteinä kevyitä suurelementtejä. (Puuinfo 2020d)

Tilaelementit ovat tiloja, joita rajaavat lattia-, seinä- ja kattorakenteet. Niihin voi sisältyä myös talotekniikkaa, valmiita pintamateriaaleja ja laitteita. (Viljakainen 2020) Niiden kantavat rakenteet voidaan toteuttaa eri tavoilla, joita ovat esimerkiksi kehärakenteet, laatamaiset suurelementit tai pilari-palkkirakenteet. Tilaelementtien muodostaman kaksoisrakenteen johdosta ääneneristys toteutuu erinomaisesti. Elementtien kuljetus asettaa reunaehdot moduulijärjestelmän ja elementtien mitoitukselle, jotka on otettava huomioon suunnittelussa. Työmaavaiheesta tulee tässäkin tekniikassa nopea ja se soveltuu myös täydennysrakentamiseen ja lisäkerrosten tekemiseen. (Puuinfo 2020d)

Puuelementtirakentamiseen asuntotuotannossa on tehty vakioitu avoin puuelementtistandardi RunkoPES 2.0. Standardia voidaan soveltaa tilaelementeissä ja ei-kantavissa rakenteissa, mutta se on ensisijaisesti keskittynyt suurelementteihin. RunkoPES vakiointi helpottaa varmistamaan yhtenäisen, kilpailukykyisen ja käyttökelpoisen rakennustavan niin tilaajan, suunnittelijan kuin toteuttajan näkökulmasta. RunkoPES 2.0 sisältää 12 osaa ja vakioi mm. moduuliviivastojen sijainnin, liittymien geometrian ja rakennepaksuudet. (Finnish Wood Research, viitattu Puuinfo 2020c)

2.4 Toteutusvaiheen kosteudenhallinta

2.4.1 Suojaustavat

Puurakenteisten rakennusosien suojausmenetelmät valitaan tapauskohtaisesti käytettävä rakennusjärjestelmä huomioiden. Suojauksen aikainen rakennusosien ja -tuotteiden tuuletuksen huomiointi on tärkeää. Kuvassa 6 esitetään standardin SFS 5978 suojaustasot puumateriaaleille.

<p>Suojaustaso ST0, ei suojausta puun kosteuspitoisuus riippuu ilmastosta ja sitä ei voida taatasuositeltava vain talvikausina ja lyhyinä jaksoina, ei kuitenkaan maakosketusta</p>
<p>Suojaustaso ST1, muovi- tai pressusuojaus rakenteiden päällä puun kosteuspitoisuus alle 20 %varmistettava pakattujen tuotteiden tuuletus</p>
<p>Suojaustaso ST2, katesuoja puun kosteuspitoisuus alle 20 %varmempi kuin ST 1</p>
<p>Suojaustaso ST3, sisäolosuhteet tai lämmitetty telttasuojaus puun kosteuspitoisuus alle 15 %</p>

Kuva 6. SFS 5978 mukaiset suojaustasot (viitattu Puuinfo (2020))

Työmaalla puumateriaalit säilytetään siten, että ne eivät kastu tai kuivu liikaa, eivätkä mekaanisesti vaurioidu. Käyttöluokkiin 1 ja 2 kuuluvat rakenteet on suojattava sateelta, lumelta ja maakosteudelta. On myös huolehdittava, että puuelementtien ulokkeet, nurkat, valmiit pinnat ja ulkonevat osat suojataan. Levyrakenteiden kosteus annetaan taasaantua käyttökosteutta vastaavaksi, jotta vältetään kosteuden vaihtelun aiheuttamilta muodonmuutoksilta kiinnityksen jälkeen. (SFS 5978)

Ruotsalaisen tutkimuksen, jossa on tutkittu neljää eri seitsemän kerroksista kohdetta ja 200:a eri mittauspistettä, mukaan CLT-elementeistä rakennettavassa rakennuksessa on vaikeaa tai mahdotonta välttää mikrobien kasvua rakentamisen aikana rakennettaessa ilman sääsuojaa. Homeen kasvu on havaittu kohdissa, jotka ovat altistuneet vapaalle vedelle. Useimmiten homeen kasvu on näkymätöntä, joten sitä ei voida havaita paljaalla silmällä. Homeen kasvun tunnistaminen vaatii mikrobiologista analyysia. Tutkimuksen mukaan CLT-rakenteille suositellaan käytettävän täydellistä sääsuojaa rakentamisen aikana. (Olsson 2020)

Telttasuojaus (ST2)

Suurelementtien ja paikalla rakentamisen yhteydessä käytetään yleensä telttasuojausta. Elementtien nostamiseen teltassa voidaan käyttää siltanosturia. Vaihtoehtona on tehdä teltasta niin tilava, että ajoneuvonosturi mahtuu toimimaan sen sisällä. Teltassa voi olla myös avattava katto, mutta runkoasennuksia ei tehdä sateella. (Puuinfo 2020) Kuvassa 7 suurelementin asennusta tehdään siltanosturin avulla telttasuojauksen sisällä.



Kuva 7. Telttasuojaus ja suurelementin asennus (Puuinfo 2020)

Telttasuojauksen etuna on, että rakennustyöt eivät keskeydy säästä riippumatta ja niitä pystytään limittämään enemmän. Tämän myötä hyvällä työmaasuunnittelulla voidaan lyhentää rakennusajan kestoa. (Puuinfo 2020)

Suojakatto (ST2)

Myös suojakaton avulla voidaan toteuttaa ST2 tason mukainen suojaus. Suojakatto on vakiintunut käytäntö erityisesti tilaelementtirakentamisen yhteydessä, mutta sitä voidaan käyttää myös suurelementti- ja paikalla rakentamisessa. Suojakattona käytetään joko väliaikaista tai rakennuksen lopullista vesikattoa. Suojaus toimii käytännössä siten, että se nostetaan pois rungon asennuksen edetessä ja asennetaan takaisin työvaiheiden edetessä. (Puuinfo 2020) Tilaelementtiasennuksen jälkeinen suojakaton asennus tapahtuu kuvan 8 mukaisella tavalla.



Kuva 8. Suojakaton asennus menossa (Puuinfo 2020)

Itseliimautuva mikrokuitukangas

Itseliimautuvaa mikrokuitukangasta voidaan käyttää yksittäisten rakennusosien suojauksessa. Kangas voidaan asentaa joko tehtaalla tai työmaalla. Suojauksen etuna on, että

se on ilmatiivis, vesihöyryä läpäisevä ja vedenpitävä. (Puuinfo 2020) Kuvassa 9 esitellään mikrokuitukankaalla suojattuja CLT-elementtejä.



Kuva 9. CLT-elementit esiasennetulla mikrokuitukankaalla suojattuna (Puuinfo 2020)

Kuljetuksen ja säilytyksen aikainen suojaus

Kuljetuksen ja säilytyksen aikainen suojaus määrittyy kuljetettavan tuotteen perusteella. Tyypillisesti kuljetuksen aikainen suojaus tehdään muovisuojausena. Muovisuojausten haittapuolena on merkittävä muovijätteen määrän kertyminen työmaalle. Tästä johtuen tilaelementtien suojauksessa onkin suositeltavaa pyrkiä käyttämään pressusuoja. Suurelementtien kuljetuksessa voidaan käyttää suojapeitteellistä rekkaa muovijätteen vähentämiseksi. (Puuinfo 2021)



Kuva 10. Tilaelementin kuljetuksen aikainen uudelleen käytettävä suojaus. (Puuinfo 2020)

Kuvassa 10 tilaelementtien suojaukseen tarkoitettuilla pressusuojuilla vähennetään merkittävästi työmaalla syntyvän muovijätteen määrää. Pressusuojat palautetaan elementtitehtaalle uudelleen käytettäväksi.

2.4.2 Kosteusmittaukset

Puun kosteuspitoisuuden ja ympäristön ilmaston seuranta rakentamisen ja käytön aikana voi tarjota tärkeää dataa puurakenteen nykyisen tilan arvioimiseksi, mikä auttaa varmistamaan rakenteen odotettua suorituskykyä. Käytön aikaisella seurannalla voidaan arvioida käyttöikä ja varmistaa korreloiko kosteusmittauksen tulokset muiden puun ominaisuuksien kanssa. (Dietsch et al. 2014)

Puun kosteuspitoisuus voidaan määrittää suorilla menetelmillä eli rakenteita rikkovilla menetelmillä tai epäsuorilla eli puun fysikaalisia ominaisuuksia hyödyntävillä menetelmillä. Suorissa menetelmissä irrotetaan näytepala, josta vesi kuivataan tai erotetaan. Epäsuorista menetelmistä yleisimmin käytetään resistiivistä tai kapasitiivista eli dielektristä menetelmää. (Dietsch et al. 2014) Suorien mittausten menetelmien käyttö vaatii näytepalan irrottamista, joka vie aikaa, eikä mahdollista uutta mittausta samasta kohdasta. Näin ollen kosteudenhallinnan valvonnassa usein käytetään epäsuoria mittausten menetelmiä. (Otten et al. 2017)

Uunikuivausmenetelmä on standardoitu ja yksi käytetyimmistä suorista menetelmistä. Menetelmä on aikaa vievä, mutta tarkkoja tuloksia antava. Puuelementistä irrotetaan näytepala, joka punnitaan ja kuivatetaan uunissa lämpötilan ollessa noin 103 °C. Kun saavutetaan tilanne, että näytepalan massa säilyy vakiona, määritetään kosteuspitoisuus kostean näytteen vesimassan ja uunikuivatun näytteen massa välisestä suhteesta. (Dietsch et al. 2014) Menetelmässä mahdollisuus virheen syntymiseen on näytteenotossa, näytteiden säilytyksessä ja punnituksessa (Merikallio). Puurakenteissa, joissa käytetään suoja-aineita tai öljyjä, uunikuivausmenetelmä korvataan tislauksen menetelmällä. Menetelmässä näytepalasta tehdään haketta, joka kuumennetaan liuottimen kanssa. Veden höyrystyessä ja tiivistyessä, se kerätään putkeen, josta voidaan lukea sinne kerääntynyt veden määrä. (Dietsch et al. 2014)

Yleisesti puun kosteusmittauksissa käytettävä piikkimittari on epäsuora resistiivinen menetelmä. Piikkimittarilla mitataan kahden puuhun lyötävän metallielektrodin välistä konduktanssia. Mittalaitteen antama tulos ilmoitetaan painoprosentteina. Yleisimmin rakentamisessa käytettävien puulajien kosteuspitoisuuden mittaamiseen piikkimittari on luotettava menetelmä. (Merikallio 2000) Mittausta suorittaessa elektrodit eli piikkimittarin piikit asetetaan puun pinnalle tai lyödään sen sisään kohtisuorasti syysuuntaan nähden. Liimapuun kosteusmittaus piikkimittarilla on tehtävä samasta lamellista. (Dietsch et al. 2014) Forsénin ja Tarvaisen (2000) tutkimuksen mukaan mittaussuunnalla, elektrodien välisellä etäisyydellä tai puun tiheydellä ei ole merkittävää vaikutusta mittaustulokseen piikkimittauksessa. Myöskään pintapuun ja sydänpuun ominaisuuksien erot eivät vaikuta

merkittävästi mitattuihin kosteusarvoihin. Vastusmittareiden luotettavuuden varmistamiseksi hyväksyttävä mittaustulokset-alue on + 5–60 °C ja kosteuspuiteosuusraja on 8–24 %. (Forsén & Tarvainen 2000)

Pintakosteudenosoitin toimii rakenteita rikkomattomana kapasitiivisena kosteudenmittausmenetelmänä. Pintakosteusmittareiden toiminta perustuu mitattavan materiaalin vesipitoisuuden muutosten seurauksena sähköisten ominaisuuksien muutoksiin. Näiden mittaustulosten tuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavina. Mittaustulokset riippuvat materiaalityypeistä ja -laadusta sekä materiaalien lähellä sijaitsevista vesiputkista, sähköjohdoista yms. Pintakosteudenosoittimia voidaan soveltaa tilanteisiin, joissa halutaan selvittää rakenteista kohtia, jotka ovat muita kosteampia. (Merikallio 2000)

2.4.3 Olosuhdehallinta ja -seuranta

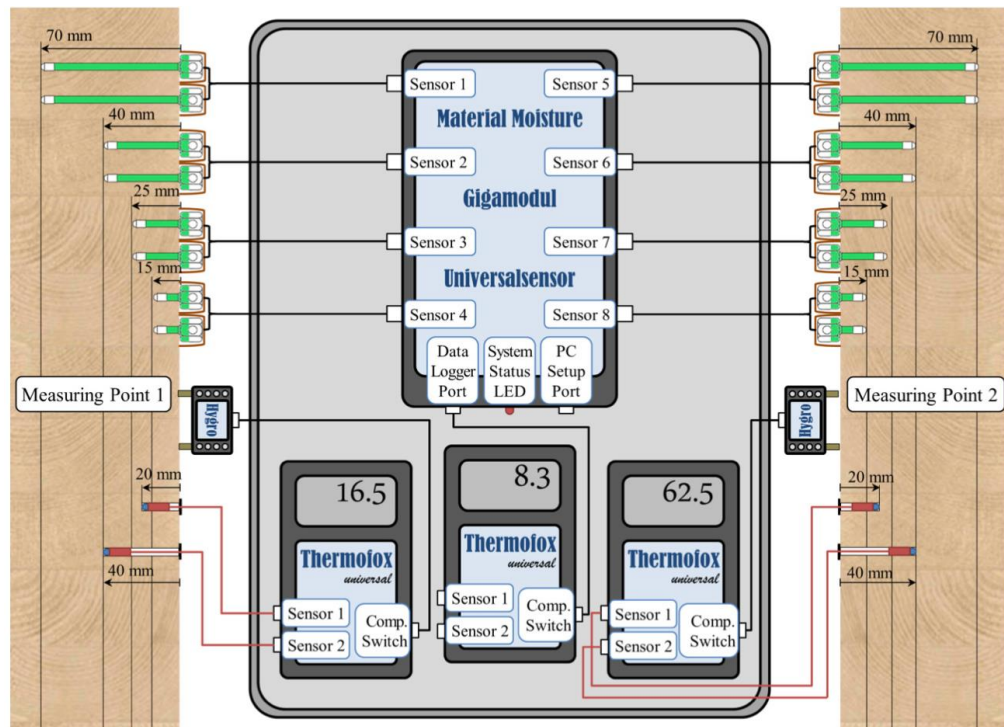
Rakennusmateriaaleilla on pyrkimys päästä kosteustasapainoon niiden ympäristössä vallitsevan kosteuden kanssa. Rakenteissa olevan kosteuden poistumiseen eli rakenteiden kuivumiseen vaikuttavia asioita ovat rakennetta ympäröivän ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Materiaaleilla on mahdollisuus kuivua, mikäli niitä ympäröi kuivempi ilma kuin mitä itse materiaali itse on. (Sahlstedt & Koskenvesa 2016)

Tehokas keino rakenteiden kuivumisen edistämiseksi on lämpötilan nostaminen. Sisäilman lämpötilan noustessa, ilman suhteellinen kosteus laskee. Tällöin myös rakenteiden lämpötila nousee ja ne pystyvät siirtämään kosteutta paremmin. Sisäilman lämpötilan tulisi olla vähintään 20 °C ja ilman suhteellisen kosteuden korkeintaan 50 %, kun rakenteita kuivataan. (RIL 250-2020)

Poikkileikkaukseltaan massiivisten puurakenteiden kuivaus on tärkeää suorittaa hallitusti. Kastunut puu on kuivatettava riittävän hitaasti, jotta se ei halkeile. Kuivumisolosuhteiden tasapainokosteuden ja kuivatettavan puurakenteen mitatun kosteuden ero tulee olla korkeintaan 6 %, jotta kuivausolosuhteet ovat optimaaliset. Kuivaus voidaan järjestää myös lohkoissa, jos puuosia täytyy kuivata enemmän kuin 6 %. Rakenteita ei tule peittää tai pinnoittaa ennen halutun kosteuspuiteosuuden saavuttamista. (SFS 5978)

Langattomat ja jatkuvat kosteudenseurantalaitteet

Puukomponenttien jatkuvalla valvonnalla on keskeinen rooli puurakentamisessa, kun jatkuva fyysinen seuranta on mahdotonta. Jatkuvat kosteusmittaukset tiedonkeruulaitteella yhdistettynä sääasemaan on tehokas tapa mitata kosteutta kaikenlaisista materiaaleista. (Van den Bulcke et al 2009) Kuvassa 11 havainnollistetaan resistiivisen kosteusmittausmenetelmän käyttöä jatkuvassa kosteudenseurannassa. Kosteusmittarin elektrodit ovat asennettuna monelle eri syvyydelle ja eri pisteisiin.



Kuva 11. Resistiivisen menetelmän hyödyntäminen tiedonkeruulaitteen avulla jatkuvassa kosteudenseurannassa (Dietsch et. al 2014)

On järkevää yhdistää järjestelmä mittaamaan ja tallentamaan ilmastotietoja, kuten suhteellinen kosteus, huonelämpötila ja materiaalin lämpötila. Lämpötila vaikuttaa puun kosteuspitoisuuteen ja niiden välinen korrelaatio on vahva etenkin 10–40 °C:een välillä. Tasaissa olosuhteissa lämpötila voidaan mitata materiaalin pinnasta, mutta epätasaisissa olosuhteissa on suositeltavaa asentaa lämpötila-anturit kosteuden mittaussyvyyteen. (Dietsch et. al 2014) Slávik et al. (2019) tutkimuksen mukaan järjestelmällä voidaan tunnistaa kosteuspitoisuuden muutokset 0,5 %:n tarkkuudella kosteuspitoisuuden ollessa 8–15 %:n välillä.

Puuelementtien kuljetuksen aikaisten kosteuspitoisuuden vaihtelujen havaitsemiseksi anturit asennetaan ennen elementtien pakkaamista tehtaalla. Anturit, joita ei asenneta tehtaalla, asennetaan rakennukseen paikan päällä. Välipohjarakenteissa, joissa sisäkatto on valmis pinta, anturit voidaan asentaa tehtaalla valmistusvaiheessa pinnoiltaan valmiin elementin yläpinnan kautta. (Glass et. al 2019) Valvontajärjestelmän suunnittelussa on erityisesti huomioitava mittausantureiden sopivat sijainnit ja määrät (Ermakov & Stepanova 2020).

2.4.4 Puurakenteiden vaurioituminen kosteuden vaikutuksesta

Yksi puurakennejärjestelmien ensisijaisista huolenaiheista on kohonneiden kosteuspitoisuuksien riski, mikä heikentää puun rakenteellisia ominaisuuksia ja voi johtaa sen hal-

keiluun, mittojen epävakauteen, homehtumiseen tai lahoamiseen. Puun suuret kosteuspitoisuudet voi aiheuttaa myös siihen upotettujen metallikiinnikkeiden korroosiota. (Kordziel et al. 2019)

VTT:n ja Tampereen teknillisen yliopiston kehittämä suomalaisen homemalli jaottelee materiaalit homehtumisherkkytensä mukaan neljään eri luokkaan. Homehtumisherkkyysluokat materiaaleittain esitetään kuvassa 12.

Homehtumisherkkyysluokka		Rakennusmateriaalit
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty, kuusi ja lehtipuut), höylätty mänty, koivuvaneri, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy, kartonkipintainen kipsilevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset bitumoidut/käsitellyt tuotteet ja kalvot, puupohjaiset liimatut levyt, havuvaneri, bitumoitu/käsitelty huokoinen kuitulevy
HHL3	Kohtalaisen herkkä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet, kuitusementtilevy, lasikuitupintainen kipsilevy
HHL4	Kestävä	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Kuva 12. Rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokat suomalaisen homemallin mukaan (Tampereen yliopisto 2022)

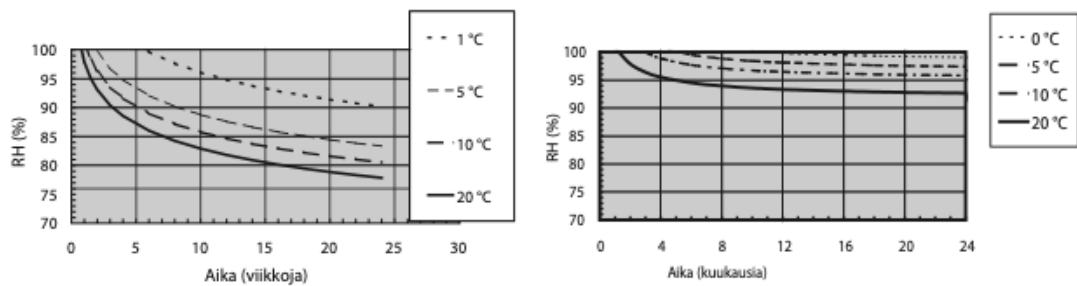
Suomalaisen homemallin mukaan puumateriaalit kuuluvat luokkaan HHL1 eli hyvin herkkään tai HHL2 eli herkkään luokkaan. Puun solurakenteella ja kemiallisella koostumuksella on vaikutusta puun säilyvyyteen ja lahonkestävyyteen. Veden pääsyä puun solukoon kuvataan käsitteellä puun vedenläpäisevyys, joka on tärkein puun kestävyyteen vaikuttava tekijä ajoittaisessa kosteuskuormituksessa olevalle rakenteelle. Vedenläpäisevyys otetaan huomioon esimerkiksi julkisivumateriaalia valittaessa. (Viitanen 2011)

Rakenteiden liian korkea kosteuspitoisuus voi aiheuttaa siihen kosteusvaurion, mikäli rakenteissa oleva kosteus ei pääse poistumaan riittävän nopeasti (Sahlstedt & Koskenvesa 2016). Kosteuspitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat rakenteen kosteudensitomiskyky ja rakenteisiin tuleva sekä poistuva kosteusvirta. Rakenteiden vaurioitumisherkkyys riippuu käytetyistä materiaaleista, niiden ominaisuuksista, sijainnista, paikallisista olosuhteista ja rakennustavasta. Kerrokselliset rakenteet ovat kosteudenhallinnan kannalta riskialttiimpia kuin massiiviset rakenteet. Piilevät rakenteiden sisällä olevat vauriot ovat kerroksellisissa rakenteissa yleisiä, kun taas massiivirakenteissa vauriot ovat usein rakenteiden pinnoilla. (Pesonen & Karnaattu 2012)

Vaihtelevissa kosteusolosuhteissa homeen kasvuun vaikuttavat samalla tavalla niin korkean ja matalan kosteusolosuhteiden vaihtelujaksot kuin kosteus- ja lämpötilatasot. Ly-

hyet jaksot korkeissa kosteusolosuhteissa ei johda homeen kasvuun, jos homeen kasvua estävät alhaisten kosteusolosuhteiden jaksot ovat tarpeeksi pitkiä. (Viitanen & Bjurman 1995, viitattu Viitanen et al. 2010, s. 214)

Altistumisaika alhaisella suhteellisella kosteudella estää homeen kasvua ja sillä on suora vaikutus kokonaisvasteaikaan. Suhteellisen kosteuden ollessa korkealla tasolla yli 24 tuntia, kumulatiivisen ajan vaikutus korkeassa kosteuspitoisuudessa on lineaarisempi. Kuitenkin kuivien ajanjaksojen ollessa pitkiä kasvuvasteen odotetaan olevan erittäin alhainen tai vähäinen. (Viitanen et al. 2010, s. 214)



Kuva 13. Kriittiset olosuhteet homeen kehittymisen ja lahoamisen kannalta (Viitanen 2011)

Kuvassa 13 esitetään kriittiset olosuhteet homeen kehittymisen kannalta vasemmanpuoleisessa kaaviossa, ja lahoamisen kehittymisen kannalta oikeanpuoleisessa kaaviossa. Riippuen sijainnista, lämpötilasta ja kestoajasta yleisenä ohjeena biologisten vaurioiden estämiseksi materiaalien huokosilman tai mikroilmaston suhteellisen kosteuden tulisi pitkäaikaisesti pysyä alle 75–85 %:n tasolla. Puulla tämä tarkoittaa, että vettä saa olla alle 20 % laskettuna sen kuivapainosta. Puun lahoamisen raja-arvona pidetään ilman suhteellisen kosteuden arvoa 95 % puun huokosissa tai yli 25–30 %:n vesipitoisuutta puun kuivapainosta laskettuna. (Viitanen 2011)

Taulukko 2. Home- ja lahovaurioihin johtavat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet (Viitanen & Ritschkoff 1989)

Lämpötila (°C)	Ilman kosteus (RH %)	Puun kosteus (p-%)
< + 10	> 95	> 22 ... 25
+ 10 ... + 15	> 85 ... 90	> 18 ... 21
+ 15 ... + 20	> 80 ... 85	> 16 ... 18
> + 20	> 80	> 14 ... 16

Taulukossa 2 on esitetty tiivistetysti kosteus- ja lämpötilaolosuhteita, jotka johtavat home- ja lahovaurioihin. Suora säärasitus valmiiksi korkean kosteuspitoisuuden omaavaan puuhun aiheuttaa homekasvuston muodostumista, jos kastunut puu ei pysty kuivumaan nopeasti. (Puuinfo 2020) Kosteuspitoisuuden epätasainen jakautuminen aiheuttaa

puuhun sisäisiä jännityksiä, jotka aiheuttavat halkeilua. Halkeilua voi myös esiintyä suu-rista lämpötilan tai suhteellisen kosteuden vaihteluista johtuen. (Ermakov & Stepanova 2020)

Vioittuminen ja lahoaminen tapahtuu usein puussa paikallisesti ja vaurio keskittyy vain rakenteen tiettyihin kohtiin. Lahoamisen kannalta kriittisiä kohtia puurakenteissa ovat etenkin saumat, jatkokset ja liitoskohdat. Nämä kohdat ovat myös lahoamisen vaikutuksen kannalta kriittisiä. (Kokko et al. 1991 s. 23)

Homesienillä ei ole merkittävää vaikutusta puun lujuusominaisuuksiin, mutta ne aiheuttavat enemmän hajua-, väri- ja terveydellisiä haittoja. Puun sinistymät ja homeet voivat altistaa sitä myös muille biologisille vaurioille. Voimakas sinistymisen eli niin kutsuttu katkolaho saattaa heikentää puun lujuutta. Osa katkolahottajasienistä ovat home- ja sinistymäsienien sukulaisia ja niiden erottaminen toisistaan voi olla hankalaa. (Viitanen & Ritschkoff 1989)

Viitanen et al. (2010) kokemustiedon mukaan reunaliimattu kuusi eroaa muista materiaaleista homeen kasvun osalta. Puumateriaaleilla kriittinen tekijä onkin pinnan viimeistely. Kaikissa olosuhteissa höylätyssä männyssä havaitaan enemmän homeen kasvua kuin reunaliimatussa kuusessa. (Viitanen et al. 2010)

2.4.5 Puurakenteiden kosteusvaurioiden korjaaminen

Työmaavaiheessa kohonneet kosteuspitoisuudet voivat aiheuttaa puurakenteisiin kosteusvaurioita, joita joudutaan korjaamaan. Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaamisen ensisijaisena tavoitteena on vaurioiden aiheuttamien terveyshaittojen poistaminen. Rakennusten tai rakenneosien ylimääräinen tai toisaalta liian vähäinen korjaaminen eivät kumpikaan ole kansantaloudellisesti kestävä. Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaamisessa onkin keskeistä selvittää tapauskohtaisesti korjausten perusteellisuus ja kohteeseen soveltuvat korjaustavat. (Weijo et al. 2019)

Ensisijainen ja parhaaseen lopputulokseen johtava homevauriokorjaus on vaurioituneen materiaalin poisto ja korvaaminen uudella. Tämä on myös usein nopein ja riskittömin korjaustyyli. Materiaalin poisto ei välttämättä ole kuitenkaan mahdollista, jolloin vaihtoehdoksi jää vaurioituneen kohdan puhdistaminen materiaalin ollessa paikallaan. Lähtökohtana homevaurioituneen rakenteen puhdistamiselle on elävien ja kuolleiden mikrobin poistaminen mahdollisimman hyvin pois rakennusmateriaalista. Eri rakennusmateriaalit vaativat erilaisia puhdistusmenetelmiä, joten monesta rakennusmateriaalista koostuvien rakenneosien puhdistusmenetelmät on valittava siten, että rakenneosaa pystytään puhdistamaan kokonaisuudessaan. (Kosteus- ja hometalkoot 2016)

Ennen homevaurioiden korjaamiseen ryhtymistä on tehtävä kattavia rakennetutkimuksia ja korjaussuunnittelua huomioiden homevaurion erityispiirteet. Myös rakennuttamisessa ja työmaavalvonnassa on otettava huomioon vaurioiden erityispiirteet. (Kosteus- ja home-talkoot 2016)

Puurakenne toimii itsessään hyvänä ravintolähteenä sen pinnalla kasvavalle sinistymälle tai homeelle. Homehtunut ohut puumateriaali poistetaan usein korjauksessa kokonaan. Kantavien tai massiivisten puurakenteiden homehtuneet osat poistetaan terveeseen puuhun saakka pinnasta alkaen. Puumateriaalin poisto tapahtuu mekaanisesti esimerkiksi teräsharjalla harjaamalla, höyläämällä, hiomalla, jyrsimällä tai vuolemalla. Pölyn leviämisen estämiseksi korkeapaineisen kohdepoistoimurin käyttö työkoneseen liitettynä on suositeltavaa. (Kosteus- ja home-talkoot 2016) Vaurioituneen puumateriaalin puhdistamiseen voidaan käyttää myös puhallusmenetelmiä. Sopivat puhallusmenetelmät puurakenteille ovat hiilihappojää- ja soodapuhallusmenetelmät. (Weijo et al. 2019)

Puhdistustoimenpiteiden ja -olosuhteiden dokumentointi on tärkeä osa kokonaispuhdistusta. Pesu- ja desinfiointiaineiden käyttö puhdistuksessa korostaa dokumentoinnin tärkeyttä. (Kosteus- ja home-talkoot 2016) Weijo et al. (2019) mukaan mikrobien poistoon tarkoitettuja desinfiioivia biosideja tulee käyttää vain erikoistapauksissa, joita ovat esimerkiksi viemäriveden likaamat materiaalit, joita ei voida poistaa.

2.5 Rakennuksen käyttöönoton ja käytön aikainen kosteudenhallinta

Rakennuksen kosteudenhallinta jatkuu myös rakennuksen käytön aikana. Kosteudenhallinnan kannalta onkin tärkeää, että rakennuksen ylläpidosta vastaavat tahot ovat tietoisia rakennuksen kosteusteknisestä toiminnasta ja kykenevät ennaltaehkäisemään mahdolliset ongelmat mahdollisimman varhaisessa vaiheessa seurannan ja ylläpidon avulla. Kosteusteknisen toiminnan käyttäjäystävällisyys on sitä parempi, mitä yksinkertaisempi se on. Rakennuksen käyttäjiltä tai asukkailta voidaan edellyttää reagointia poikkeavuuksiin ja järkevää käyttöä, mutta ei teknistä asiantuntemusta. (RIL 250-2020)

Hankkeen toteutusvaiheen lopuksi rakennuksen toteutuksen tiedot siirretään sen omistajalle ja ylläpidosta vastaaville tahoille (Sahlstedt & Koskenvesa 2016). Tässä tiedon välityksen kanavana käytetään rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjetta eli huoltokirjaa, joka on käytännön työkalu sen elinkaaren hallintaan. Kosteudenhallinnan kannalta huoltokirjaan tulee ainakin

- määrittää riskipaikat ja luoda seurantaohje

- tehdä ohjeet vaurioalttiiden ja säännöllistä tarkastusta vaatien rakenteiden tarkastusjaksoista
- merkata kosteushälyttimien (anturit, mittausputkivaraukset yms.) paikat
- kertoa miten varaudutaan vesivuototilanteisiin (sulut ja hälyttimet, vuodonilmaisimet, opastus)
- määrittää vastuuhenkilöt
- ohjeistaa tarkastusten raportointi. (RIL 250-2020)

Keskeisintä huoltokirjan laadinnassa on niiden toimenpiteiden valinta, jotka mahdollistavat rakenteiden ja rakennuksen käytön niille määritetyn käyttöiän ajan. Huoltokirjassa huomioidaan rakenteiden ja järjestelmien valmistajien antamat ohjeet. LVIAS-järjestelmien käytön ja huollon ohjeet ja opastus vaativat erityistä huomiota huoltokirjan tekemisessä. (Sahlstedt & Koskenvesa 2016)

Rakennuksen käyttöönottovaiheessa rakennuksen käyttäjät ja huoltohenkilökunta perehdytetään rakennuksen oikeanlaiseen ylläpitoon ja käyttöön. Hankkeen vaativuuden mukaisesti käytönopastuksen suorittavat kosteudenhallintakoordinaattori, suunnittelijat ja urakoitsijat. (Kuivaketju10)

2.6 Rakennustöiden valvonta

2.6.1 Valvonta yleisesti

Talonrakennustöiden valvonnalla varmistetaan urakkasopimuksen mukaisen rakentamisen laadun, toteutuksen, työturvallisuuden sekä taloudellisen ja ajallisen toteutuksen valvonta työmaalla. Työmaavalvonta on ennakoivaa toimintaa, jolla valvotaan rakennuttajan etua. Virheiden minimoimiseksi ja ehkäisemiseksi valvoja on velvollinen ilmoittamaan havaintonsa ajoissa ja antamaan suunnitelmia täydentäviä ja täsmentäviä ohjeita urakoitsijalle. Rakennustöiden valvojan tehtävät on lueteltu talonrakennustöiden työmaavalvonnan tehtäväluettelossa ja sitä voidaan käyttää apuna määriteltäessä rakennuttajan ja työmaavalvojan välistä sopimusta. (RT 103171)

Junnosen ja Kankaisen (2020) mukaan rakentamisen hyvän lopputuloksen toteutumiseksi jokaiseen rakennushankkeeseen on luotava toimiva valvontaorganisaatio. Valvontaorganisaation muodostamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat erityisesti urakkamuoto ja urakkaohjelman erityismääräykset, urakan aikataulu, laajuus- ja vaikeusaste sekä urakoitsijan suorittama oma laadunvalvonta. (Junnonen & Kankainen 2020)

Hankkeen urakka-asiakirjoihin määritetään valvojan valtuudet urakoitsijan suhteen. Ilman erillistä valtuutusta valvojalla ei ole oikeutta sopia tai määrätä muutoksia urakkaan. Luonteeltaan valvontatyö voi olla tarkastavaa tai mittauksiin ja kokeisiin perustuvaa. Valvojalla on oikeus suorittaa tarkastuksia työn suorituspaikoissa ja rakennusosien valmistuspaikoissa. Lisäksi valvontatyön apuna voidaan käyttää urakoitsijan suorittamien mitausten ja tarkastusten tietoja. (Junnonen & Kankainen 2020)

Savolainen (2020) painottaa, että työmaavalvojan on oltava läsnä työmaan arjessa ja hänen on oltava helposti lähestyttävä. Valvojan kannattaa myös tähdätä urakoitsijan ammattiympäryden vaalimiseen ja positiivisen johtamisen keinoihin työmaavalvonnassa. Jos työntekijällä ei ole syytä tehdä työtä huonosti, niin hän yleensä suorittaa sen hyvin. Työmaavalvojan on mietittävä työvaiheita pidemmälle kuin mitä vastaava työnjohtaja miettii. Hänen on varmistettava, että työmaa on huolehtinut töiden aloitusedellytysten olevan kunnossa ennen töiden aloittamista. Valvoja huolehtii myös ennalta, että työmaa muistaa tehdä tarvittavat hankinnat ja työmaasuunnitelmat työvaiheille. (Savolainen 2020)

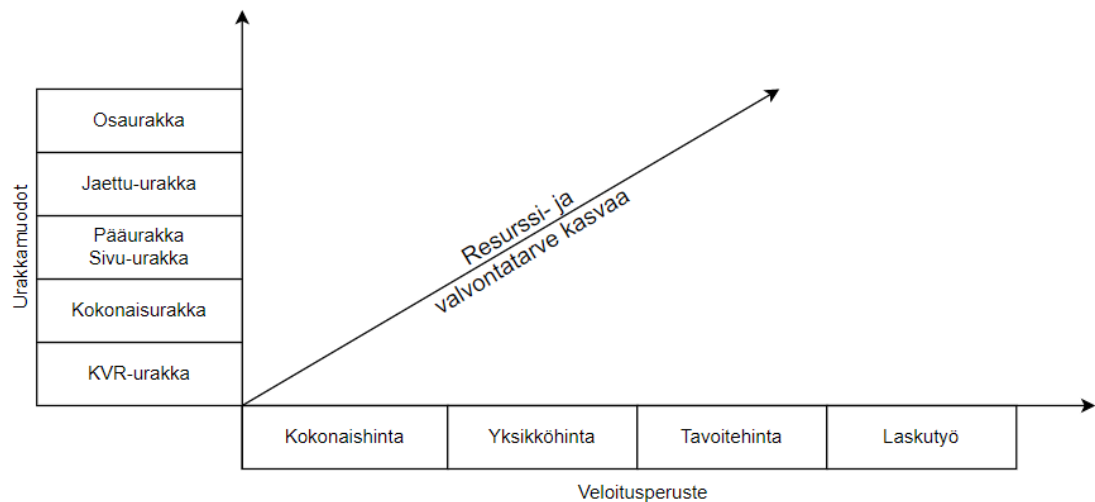


Kuva 14. Menestyksekkään valvonnan periaatteet (muokattu lähteestä Junnonen & Kankainen 2020)

Kuvassa 14 kiteytetään onnistuneen valvonnan edellytykset. Junnonen ja Kankainen (2020) painottaa, että suoriutuakseen valvontatyöstä menestyksekkäästi valvojan on perehdyttävä hyvin urakka-asiakirjoihin, muodostaakseen selkeän käsityksen halutusta lopputuloksesta, suunniteltava valvontatyö taloudelliseksi ja tehokkaaksi sekä toimittava työmaalla yhteistyötä edistävästi ja pyrittävä ylläpitämään hyvä yhteishenki hankkeen eri osapuolten välillä. Valvojan on pyrittävä puuttumaan asioihin ennen töiden aloitusta, eikä

vasta virheitä havaitessa. Valtuuksien puitteissa on myös annettava urakoitsijalle neuvoja työnsuoritukseen ja ohjeistusta sopimusasiakirjojen selventämiseksi. (Junnonen & Kankainen 2020)

Valvontaorganisaation resurssitarpeeseen vaikuttaa valittu urakka- ja sopimusmuoto. Kuvassa 15 esitetään rakennuttajan resurssi- ja valvontatarpeen muuttuminen eri urakkamuotojen ja hinna- ja määritystapojen mukaan.



Kuva 15. Rakennuttajan resurssi- ja valvontatarve eri urakoissa (muokattu lähteestä Peltonen 1988)

Kuten kuvasta 15 nähdään siirryttäessä suoriteperusteisista hinna- ja määritystavoissa kustannusperusteisiin, rakennuttajan valvontatarve kasvaa. Myös hankkeessa käytettävä urakkamuoto vaikuttaa valvontatarpeeseen. Käytettäessä monimuotoisempia useamman eri osapuolen sopimus- ja informaatio-suhteen vaativia urakkamuotoja rakennuttajan resurssi- ja valvontatarve kasvaa.

2.6.2 Suunnittelun ja toteutuksen valvonta

Suunnitteluun ja suunnitelma-asiakirjoihin liittyen valvoja varmistaa ajantasaisten voimassa olevien suunnitelmien oikea-aikaisen ja asianmukaisen jakamisen sekä selvittää täydentävän suunnittelun tarvetta (Kankainen & Kuoppamäki 1999). Valvoja tarvittaessa tiedottaa täydentävien suunnitelmien tarpeesta ja seuraa suunnittelijoiden valvontatoimenpiteitä, jotka on määrätty suunnittelusopimuksissa. (RT 103171)

Valvontatyössä pyritään ennalta ehkäisemään ja minimoimaan työmaalla tapahtuvat virheet. Tämä edellyttää valvojaa toimimaan ennakoivasti ja ilmoittamaan havainnoistaan riittävän ajoissa, jotta valvontatyö olisi menestyksekkästä. Virheellisen työn estämiseksi valvojalla on velvollisuus valtuuksiensa ja harkintavaltansa puolesta keskeyttää työt,

vaikka hän ei osallistukaan työn johtamiseen. Valvoja myös tarvittaessa ohjeistaa urakoitsijaa työn suorittamisessa tai sopimusasiakirjojen tulkitsemisessa. (Junnonen & Kankainen 2020)

Työvaiheiden alkaessa pidetään aloituspalaveri, jossa varmistetaan työvaiheen suunnitelmat ja muut aloitusedellytykset. Aloituspalaveriin osallistuvat vastaava työnjohtaja, rakennuttajan edustaja, rakennusvaiheen vastuhenkilö ja työvaiheen tarkastaja, kosteudenhallintakoordinaattori, valvoja sekä tarvittavat suunnittelijat. Kokouksessa käsiteltäviä asioita ovat mm. kriittiset tekijät, suunnitelmien sisältö, laadunvalvonnan sisältö ja työmenetelmät. (RIL 250-2020)

Valvojan on arvioitava urakoitsijan tekemien työsuoritusten muutosehdotusten vaikutuksen edistämisen, paremman lopputuloksen ja kustannusten kannalta. Muutosehdotukset esitetään myös rakennuttajalle ja valvotaan, että suunnittelijat huomioivat muutosten vaikutuksen suunnitelmiin. (RT 103171)

Tilaaajan suorittama valvonta ei vähennä, eikä rajoita sopimuksessa mainittua urakoitsijan vastuuta muulloin kuin siinä tilanteessa, että tilaaajan toimesta vakavan laatuvirheen huomautuksen teko on laiminlyöty. Urakoitsijalla on kuitenkin todistamisvelvollisuus vastuun siirtymisestä tilaajalle. (RT 16-10660)

2.7 Kosteudenhallinnan valvonta

2.7.1 Yleistä

Kosteudenhallinnasta vastaava henkilö eli kosteudenhallintakoordinaattori on kosteudenhallinnan asiantuntija, joka edustaa rakennushankkeeseen ryhtyvää ja on urakoitsijoista riippumaton osapuoli. Kirjallisella sopimuksella sovitaan koordinaattorin tehtävät yksityiskohtaisesti ja varmistetaan, että ajalliset resurssit ovat riittävät tehtävien suorittamiseen. Myös koordinaattorin toimivalta on määritettävä sopimukseen ja se tulee olla tiedossa kaikilla hankkeen osapuolilla. (RIL 250-2020)

Kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävät edellyttävät hyvää rakenneteknistä ja rakennusfysikaalista osaamista sekä ymmärrystä käytännön kosteudenhallinnan toteuttamisesta. Eri hankkeen vaiheissa kosteudenhallintakoordinaattorina voi toimia eri henkilöt, mutta on kuitenkin suositeltavaa, että sama henkilö huolehtii tehtävästä koko hankkeen ajan (Kuivaketju10).

2.7.2 Hankkeen tilaamisvaihe

Kosteudenhallintakoordinaattori kiinnitetään hankkeeseen jo hankesuunnitteluvaiheessa. Hankesuunnitteluvaiheessa hän osallistuu kosteudenhallintaselvityksen laadintaan sekä kosteudenhallinnan tavoitteiden ja riskien asetteluun. (RIL 250-2020)

Hankkeen tilaamisvaiheessa on tärkeää varmistaa, että suunnittelun ja urakoinnin tarjouspyynnöt sisältävät pakolliset toimenpiteet hankkeen kosteudenhallinnan toteuttamiselle. Kosteudenhallinnan pakolliset vaatimukset esitetään myös suunnittelu- ja urakkasopimuksissa. (Kuivaketju10)

2.7.3 Hankkeen suunnitteluvaihe

Rakennuksen suunnitteluvaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori tekee suunnittelun ohjausta ja osallistuu suunnitelmien tarkastamiseen kosteusturvallisuuden näkökulmasta. Suunnittelualojen suunnitelmien sisällön koordinoitiin siten, että niihin ei jää rakennusfysikaalisia puutteita tai ristiriitoja on erityisen tärkeää. Tärkeää on myös varmistaa hankkeen kosteusriskien kartoitus ja niiden huomiointi suunnitelmissa. Koordinaattorin on varmistettava, että kosteudenhallinnan vaatimukset ja toimenpiteet, jotka rakennuttaja on asettanut kosteudenhallinnan riskien toteutumisen estämiseksi, löytyvät selkeästi määriteltynä sekä suunnitelmista että muista tarjouspyyntöasiakirjoista. Suunnitteluvaiheen havainnot ja mahdolliset tehdyt toimenpiteet raportoidaan tilaajalle ja pääsuunnittelijalle sekä tarvittaessa rakennusvalvonnalle. (RIL 250-2020)

Suunnitelmien toteutumisen ja rakennuksen toimivuuden kannalta on tärkeää, että työmaan toteuttajat ovat tietoisia minkälaisia seurauksia huolimattomasti tai suunnitelmien vastaisesti toteutettu riskikohta voi aiheuttaa. Täten siis koordinaattorin ja suunnittelijoiden on perehdytettävä työmaaorganisaatio suunnitelmien sisältöön. (Kuivaketju10)

2.7.4 Hankkeen toteutusvaihe

Toteutusvaiheessa riskejä sisältävien työvaiheiden onnistuneen toteutuksen todentaminen rakennuttajan ja kosteudenhallintaselvityksen ehtojen mukaisesti on yksi kosteudenhallintakoordinaattorin tärkeimmistä tehtävistä. Heti toteutusvaiheen alussa työmaaorganisaatio olisi tärkeää perehdyttää suunnitelmiin ja niiden toteutuksen kosteusriskeihin kosteudenhallintakoordinaattorin toimesta. Perehdytyksessä voidaan sopia myös yhteiset toimintatavat riskikohtien hallitsemiseksi ja niiden suunnitelmien mukaisuuden todentamiseksi. Työmaaorganisaation on ymmärrettävä suunnitteluratkaisujen taustalla olevat syyt ja osattava tulkita suunnitelmia oikein ilman väärinkäsityksiä ja virheitä. Tämä on kosteudenhallintakoordinaattorin tärkeää varmistaa. (RIL 250-2020)

Kosteudenhallintakoordinaattori hyväksyy kosteudenhallinnan todentamista ja dokumentointia suorittavat henkilöt. Todentamisen ja dokumentoinnin muodoista on myös hyvä sopia ennalta. Koordinaattori todentaa myös itse rakennustyön toteutusta. Hänellä on velvollisuus puuttua asioihin, jos hän havaitsee kosteudenhallinnan laiminlyöntiä tai sovitusta poikkeavaa toimintaa. (RIL 250-2020)

Kosteudenhallintakoordinaattorin on tehtävä työmaavalvontaa säännöllisesti, jotta hän on kykenevä ohjaamaan ja seuraamaan kosteudenhallinnan toteutumista käytännössä. Työmaakäyntejä tehdään meneillään olevien työvaiheiden ja hankkeen vaativuuksien mukaisesti. Koordinaattori osallistuu myös työmaakokouksiin ja raportoi kosteudenhallinnan toteutuksen onnistumisesta. (Kuivaketju10)

2.7.5 Rakennuksen käyttöönotto

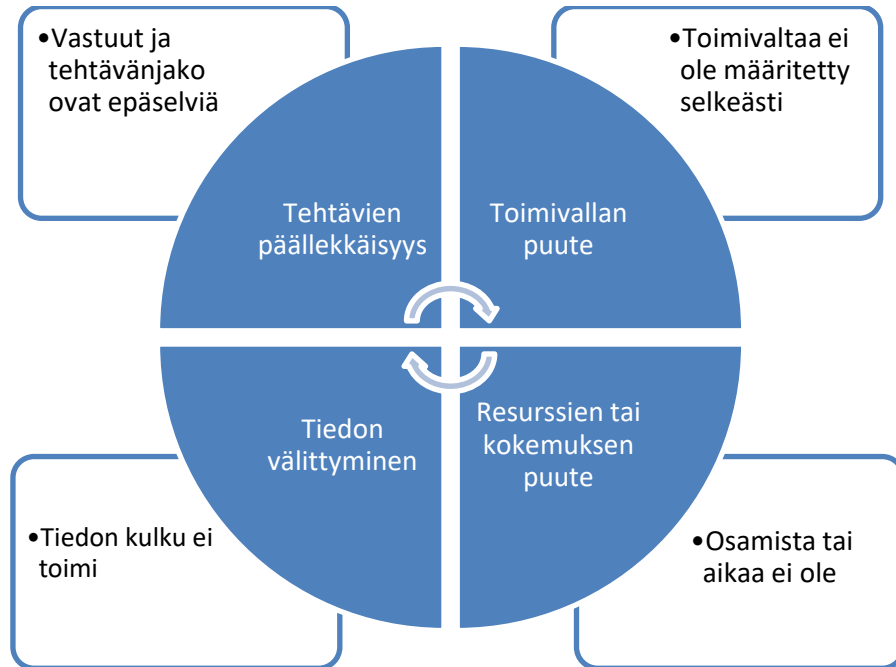
Käyttöönottovaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori tekee selvityksen siitä, että rakennus on terveellinen sekä toimii kosteusteknisesti suunnitellusti ja oikein. Selvityksen lähteinä käytetään hankkeessa tehtyjä kosteudenhallinnan todentamisen dokumentteja. Kosteudenhallintakoordinaattori myös hyväksyy tarkastusasiakirjassa esitetyt kosteudenhallinnan toimenpiteet. (RIL 250-2020)

Käyttöönotossa on varmistettava, että käytönaikaisen kosteusteknisen toiminnan edellyttämät tiedot välittyvät rakennuksen omistajalle ja ylläpitäjille. Rakennuksen huoltokirja soveltuu tiedon välittämisen työkaluksi hyvin. (RIL 250-2020) Kosteudenhallintakoordinaattori osallistuu rakennuksen käytön opastukseen ja perehdytykseen kohteen vaativuuden ja laajuuden mukaisesti. Koordinaattorin tehtävänä on myös varmistaa, että rakennuksen käyttöönotto on suoritettu asianmukaisesti ja käytönopastus on dokumentoitu. (Kuivaketju10)

Rakennuksen käyttöönoton jälkeen kosteudenhallintakoordinaattori arvioi kosteudenhallinnan toimintamallin onnistumista hankkeessa ja tekee siitä raportin. Raportissa otetaan kantaa erityisesti asioihin, jos riskikohtien suunnitelmissa ja toteutuksessa on ristiriitoja. Suunnitelmista poikkeamisen merkityksettömyys on pystyttävä perustelemaan, jos poikkeamia ei ole korjattu suunnitelmien mukaisiksi. Vaihtoehtoisesti kohtien toimivuuden seurannalle asetetaan käytön aikaiset vaatimukset. Raportti toimitetaan hyväksyttäväksi kohteen tilaajalle, suunnittelijoille ja urakoitsijalle. (Kuivaketju10)

2.7.6 Kosteudenhallinnan valvonnan haasteet

RIL 250-2020 mukaan kosteudenhallintakoordinaattorin toimintaa liittyviä haasteita ovat tehtävien päällekkäisyys, toimivallan puute, resurssien tai kokemuksen puute sekä tiedonkulun toimimattomuus. Kuvassa 16 esitetään kosteudenhallintakoordinoinnin haasteet.



Kuva 16. Kosteudenhallintakoordinoinnin haasteet (muokattu lähteestä RIL 250-2020)

Jos valvojien ja muiden ulkopuolisten tarkastajien tehtäviä ja työnjakoa ei ole selkeästi määritetty, tehtävät voivat olla päällekkäisiä. Hankkeen eri osapuolten vastuut ja tehtävät on määritettävä heti hankkeen alkaessa selkeästi. Rakennuttajan on myös määritettävä kosteudenhallintakoordinaattorille selkeä ja riittävän laaja toimivalta, jotta hän voi riittävästi puuttua hankkeessa havaitsemiinsa asioihin. (RIL 250-2020)

Kosteudenhallintakoordinointi ja rakennustöiden valvonta voidaan yhdistää hankkeessa samalle henkilölle. Kuitenkin valvontaorganisaation resurssien tai mahdollisesti valvojan kokemuksen puutteen vuoksi tämä ei ole välttämättä mahdollista. Eri henkilön toimiessa kosteudenhallintakoordinaattorina ja valvojana hankkeen laadunvarmistuksen dokumentointiin kannattaa kiinnittää huomiota. (RIL 250-2020)

Kosteudenhallinnasta vastaavan henkilön vaihtuessa kesken hankkeen on huolehdittava riittävästä tiedon välittämisestä. Henkilön vaihtuessa kesken hankkeen on vaarana, että kriittiset tiedot eivät välity riittäväällä tasolla henkilöiden kesken. (RIL 250-2020)

3. HAASTATTELUTUTKIMUS

3.1 Tutkimuksen suorittaminen

Laadullisessa tutkimuksessa aineiston hankintamenetelminä käytetään yleensä dokumenteista koottua tietoa, haastatteluita, kyselyitä tai havainnointia (Tuomi & Sarajärvi 2018). Tässä diplomityössä tutkimuksen empiirisen tiedon hankintaan käytettiin haastattelututkimusta. Tutkimuksen suorittamisen menetelmäksi pohdittiin myös puukerrostalotyömaiden havainnointia, mutta työmaiden vähäisen määrän ja niiden toimintatapojen vuoksi päädyttiin tekemään tutkimus pelkästään haastattelututkimuksena.

Kirjallisuustutkimuksen sisällön syventämiseksi sen pohjalta luotiin sitä tukeva haastattelututkimuksen runko. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluina viiteen eri aihepiiriin jaettuna. Aihepiireinä olivat puurakentamisen

- rakennuttaminen
- kosteudenhallintakoordinointi
- arkkitehtisuunnittelu
- rakennesuunnittelu
- työmaatoteutus kosteudenhallinnan näkökulmasta.

Eri aihepiireissä haastateltiin kunkin aihepiirin mukaisen rakennushankkeen osa-alueen asiantuntijoita. Haastattelukysymykset rakennettiin kunkin aihepiirin mukaisesti ja niitä pyrittiin kehittämään haastattelujen edetessä aiempien haastattelukokemusten perusteella. Kysymykset olivat avoimia ja haastateltavat saivat vastata niihin omin sanoin. Lopulliset haastattelukysymykset on esitetty tämän tutkimuksen liitteessä 1.

Haastatteluiden tarkoituksena oli kokemusten, näkemysten ja uuden tiedon kerääminen puurakentamisen kosteudenhallintaan liittyen, minkä perusteella kosteudenhallinnan asiantuntijapalveluita voitaisiin kehittää. Haastatteluissa edettiin teemojen kysymysten mukaisesti, kuitenkin välttäen kuulustelun omaisen tilanteen syntymistä. Taulukossa 3 esitetään tutkimuksessa pidetyt haastattelut ja niiden ajankohdat.

Taulukko 3. *Tutkimuksessa pidetyt haastattelut*

Haastateltava	Tehtävänimike	Ajankohta
RAP-1	Rakennuttaja	24.11.2021
RAP-2	Rakennuttaja	5.1.2022
RAP-3	Rakennuttaja	2.3.2022
KHK-1	Kosteudenhallintakoordinaattori	3.12.2021
KHK-2	Kosteudenhallintakoordinaattori	4.1.2022
KHK-3	Kosteudenhallintakoordinaattori	21.1.2022
ARK-1	Arkkitehtisuunnittelija	9.12.2021
ARK-2	Arkkitehtisuunnittelija	21.12.2021
RAK-1	Rakennesuunnittelija	20.1.2022
RAK-2	Rakennesuunnittelija	25.1.2022
RKL-1	Puurunkourakoitsija	16.2.2022
RKL-2	Rakennusliike	22.2.2022
RKL-3	Rakennusliike	22.2.2022

Haastattelut sovittiin sähköpostitse tai puhelimitse, ja haastattelukysymykset toimitettiin haastateltaville etukäteen haastatteluun valmistautumista varten. Haastattelut pidettiin jokaiselle henkilölle erikseen vuoden 2021 marraskuun ja vuoden 2022 maaliskuun välisenä aikana Microsoft Teams –viestintäpalvelun välityksellä. Tutkimuksen tulosten kirjaamisen ja analysoinnin helpottamiseksi kaikki haastattelut nauhoitettiin ja niistä tehtiin haastattelupurku videohaastattelun jälkeen. Teksteiksi puretuista haastatteluista poimittiin tutkimuksen kannalta oleelliset tiedot työn lukuun 3.2 Tutkimuksen tulokset. Tutkimuksen tuloksissa haastateltaviin viitataan taulukon 3 sarakkeen ”Haastateltava” mukaisella nimikkeellä.

3.2 Haastateltavien näkemykset puurakentamisen kosteudenhallintaan

3.2.1 Rakennuttamisen näkökulma

Tilaaajan näkökulmasta puurakentamisessa ja erityisesti tilaelementtirakentamisessa kiinnostaa se, että tilaelementtirakentamisella voidaan parantaa asuntorakentamisen tehokkuutta ja vakioida tuotannon laatua. Tehdasolosuhteissa toteutettavassa tilaelementtitekniikassa voidaan hyödyntää myös asioita, joita ei ns. perinteisessä rakentamisessa hyödynnetä. Tehdasolosuhteissa rakentamisen työergonomia on paremmalla tasolla kuin työmaaolosuhteissa, minkä johdosta myös työn tehokkuus ja laatu parantuu. Tehtailla ei myöskään käytännössä ole harmaata taloutta, eikä sen valvomiseen erikseen tarvitse kiinnittää resursseja. (RAP-2)

Rakennushankkeen kosteudenhallinnan prosessi ja kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävät koetaan olevan selkeitä rakennuttajan näkökulmasta. Hankkeen tilaajan näkökulmasta hyvänä pidetään sitä, että rakennustöiden valvonta ja kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävät ovat yhdistettyinä samalle henkilölle, jolloin asioiden hallinta on selkeämpää. (RAP-1 & RAP-2) Kosteudenhallinnan toteutuksessa parannettavaa olisi eri osapuolten sitouttamisessa kosteudenhallinnan menettelytapaan. Kosteudenhallintakoordinaattorin on vaikea viedä toimintaa eteenpäin, jos muut osapuolet eivät toimi menettelytavan mukaisesti. Sitouttamiseen olisi löydettävä sopiva motivointitapa tai sanktiojärjestelmä, jolla voitaisiin taata kosteudenhallinnan menettelytavan noudattaminen. Rakennuttajan näkökulmasta eri hankeosapuolten osaava henkilöstö ja tilaajan vaatimusten ymmärrys koko hankkeen näkökulmasta on välttämätöntä myös kosteudenhallinnan onnistumisen kannalta. (RAP-1)

Tilaelementtirakentamisessa tilaelementtien kuljetuksen, säilytyksen ja asennuksen aikainen sääsuojaus ovat kriittisimmät tekijät kosteudenhallinnassa. Nämä ovat myös asioita, joihin on tärkeää ottaa kantaa kosteudenhallintaselvityksessä. (RAP-1 & RAP-2) Kun puhutaan puurakentamisesta, urakka-asiakirjoihin tulee kiinnittää huomiota, eikä niitä voida suoraan kopioida muista hankkeista. Tilaelementtirakentamisessa erityistä huomiota on kiinnitettävä urakkarajoihin. Urakkarajaliitteessä tulee ottaa kantaa tilaelementtirakentamisen sääsuojauksen ja muiden puurakentamisen erityisvaatimusten toteuttamiseen. (RAP-2)

Suurelementtipuurakentamisen sääsuojaus on kustannuksiltaan merkittävä osa hanketta. Urakka-asiakirjoihin on määritettävä selkeästi sääsuojan tyyppi, pitoaika, pystytys- ja purkuajankohta. Vaatimuksissa on myös otettava huomioon rakennuksen sijainti, sääsuojan tilantarve, nostomenetelmät ja sääsuojan käyttöturvallisuus. Lisäksi on hyvä sopia sääsuojan ja nosturin huoltotoimenpiteiden suoritus, ongelmatilanteiden korvausvelvollisuus ja vaikutukset rakennusaikaiseen vakuutukseen. (RAP-3)

Rakennushankkeessa ei voida eriyttää kosteudenhallintaa erilleen ja keskittyä erityisesti vain siihen. Täytyy keskittyä koko hankkeen kokonaisuuden hallintaan, jotta rakentamisen kosteudenhallintakin voi olla hyvää. (RAP-2)

Käytönaikaisia vesivahinkoja rakennuksissa tapahtuu ja kaikkia niitä on mahdotonta välttää. Käytönaikaisen kosteudenhallinnan näkökulmasta puurakenteet täytyy suunnitella siten, että mahdolliset vesivahinkotilanteet on huomioitu, jotta ne käytön aikana pystytään kuivaamaan ja korjaamaan. Käytönaikaisia vesivahinkoja on puukerrostalokohdeissa sattunut ja ne vaativat aina paljon purkamista, mutta korjaukset on saatu suoritettua. (RAP-2)

3.2.2 Arkkitehtisuunnittelun näkökulma

Arkkitehdit näkevät puun materiaalina muiden joukossa. Puulla on erityisominaisuuksia, jotka on huomioitava suunnittelussa. (ARK-1) Arkkitehtisuunnittelussa otetaan materiaalin rajoitteet huomioon ja esimerkiksi puun keveys, työstämisen helppous ja erilaiset pintakäsittelyvaihtoehdot tuovat mielenkiintoa puun käyttöön arkkitehtuurissa. (ARK-2) Toisaalta puurakenteiden dimensiot tuovat haasteita esimerkiksi keveyteen pyrkimiseen, koska rakenteiden paksuudet kasvavat suureksi. Kosteustekniset, pitkäaikaiskestävyyteen, akustisiin ja palo-ominaisuuksiin liittyvät kysymykset korostuvat puurakenteiden arkkitehtisuunnittelussa. (ARK-1 & ARK-2)

Suurena haasteena puurakentamisessa tällä hetkellä on suuren volyymin omaavien puurakentajien vähäinen määrä, joka tuo haasteita suunnittelun alkuvaiheeseen, jos hankkeessa halutaan pitää mahdollisimman monta eri urakoitsijaa ja rakennevaihtoehtoa avoimena mahdollisimman pitkään. Puuelementtien kuljetusten ja nostojen aiheuttamat reunaehdot on muistettava ottaa suunnittelussa huomioon. Suunnitteluaika-
tauluihin taas vaikuttavat tehdasvalmistuksen kapasiteetit. (ARK-2)

Kosteudenhallinta on tärkeässä osassa kaikessa rakentamisessa jo hankkeen alkuvaiheessa ja erityisesti puurakentamisen kohteissa työmaa-aikainen kosteudenhallinta otetaan varhaisessa vaiheessa huomioon. Työmaa-ajaiseen kosteudenhallintaan on monenlaisia tapoja, mutta kaikki tavat eivät välttämättä ole hyviä. Suunnitteluratkaisujen tulee olla sellaisia, että ne mahdollistavat työmaa-ajaisen kosteudenhallinnan. (ARK-2) Työmaa-ajaisen kosteudenhallinnan huomioinnin lisäksi perusperiaatteita puurakenteiden arkkitehtisuunnittelussa kosteudenhallinnan näkökulmasta ovat:

- kattovesien ulkopuolinen vedenpoisto
- suuren kosteusrasituksen alaisena olevien tilojen sijoittaminen mahdollisimman vähäriskisiin sijainteihin rakennuksen sisällä
- spriklerjärjestelmien valinta ja niiden huollettavuuden varmistaminen
- ulkovaipan yksityiskohtien ja tuuletuksen detaljisuunnittelu (ARK-1 & ARK-2).

Myös yhteiskäyttötilojen sijoittelu on hyvä ottaa huomioon. Tilat, joissa voi olla korkeampi riski sprinklerjärjestelmän laukeamiseen, on hyvä sijoittaa rakennuksen alimpaan kerrokseen. Tällä voidaan vähentää automaattisen sammutusjärjestelmän laukeamisen aiheuttamia vahinkoja eli minimoida sammutusjärjestelmän käytönaikainen kosteusriski. (ARK-2)

Suunnitteluvaiheessa kosteudenhallinnassa korostuu yhteistyö arkkitehtisuunnittelun, rakennesuunnittelun ja kosteudenhallintakoordinaattorin välillä (ARK-2). Kosteudenhallinnan suunnittelun vaatavuus kasvaa silloin kuin arkkitehtuuriset vaatimukset kasvavat. Monimuotoisessa arkkitehtuurissa yksityiskohtien suunnittelu korostuu, jos kosteuskuorimia ei voida ottaa haltuun rakenteellisesti. Muun muassa puutyypin valinnalla ja pintakäsittelyllä säilytetään rakenteiden toimivuus, jos julkisivu on arkkitehtonisesti haasteellinen. (ARK-1)

Eri tavoitteiden saavuttaminen yhtä aikaa lisää arkkitehtisuunnittelun työmäärää. Kuitenkin arkkitehdin piittaamattomuus kosteusteknisten detaljien suunnittelussa johtaa rakenteiden ennenaikaiseen toimimattomuuteen, jota ei voida sallia. (ARK-1) Elementtirakentamisessa liitosdetaljien suunnittelu korostuu kosteudenhallinnan suunnittelun näkökulmasta. Liitosten toimivuus ja toteutus asettaa haasteita liitosten estetiikan ja julkisivudetaljiikan suunnittelulle (ARK-1 & ARK-2)

Suunnitteluvaiheessa kosteudenhallinnan huomioon ottamisessa apuvälineenä voidaan käyttää Kuivaketju10 –toimintamallia. Toimintamalli on muokattava hankkeeseen sopivaksi ja siinä on tunnistettava hankekohtaiset riskit. Kuivaketju10 olisi hyvä integroida suunnitteluun siten, että sitä pystyttäisiin käyttämään suunnittelun apuvälineenä, eikä pelkästään leimasimena, jolla kuitataan kosteudenhallinta otetuksi huomioon. Kuivaketju10:n käyttö riippuu paljon sen käyttäjistä, ja järjestelmässä kosteudenhallintakoordinaattorin vastuuna on, että kaikki riskit tulevat huomioiduksi. Tulevaisuutta ajatellen järjestelmään olisi hyvä saada erilaisia mallipohjia puurakentamista ajatellen. Tilaelementtitekniikkaa käytettäessä rakennuksen ja elementtien arkkitehti- ja rakennesuunnittelijoina toimivat eri suunnittelutahot, mistä aiheutuu Kuivaketju10:iin ongelmaksi se, ettei järjestelmään voi lisätä montaa saman alan suunnittelijaa. Tällöin rakennuksen suunnittelijat hyväksyvät elementtisuunnittelijoiden riskien huomioinnin. (ARK-1)

Arkkitehtisuunnittelussa yhtenä suurena kompastuskivenä nähdään se, että lähdetään suunnittelemaan betonitaloa puusta. Tällöin reunaehdot suunnitteluun joudutaan ottamaan betonirakentamisesta ja puurakenteiden sisältämä potentiaali jää hyödyntämättä. Jos puurakentamista lähdetään toteuttamaan puun reunaehdot huomioiden, saavutetaan parempi lopputulos niin rakenteellisesti kuin toiminnallisestikin. Arkkitehtuuri tällöin tukee toiminnallisuutta ja rakenteiden toimivuutta. (ARK-2) Haasteena puurakentamisessa nähdään myös se, että puurakentamisen luonne on usein pioneerihankkeen mukaista toimintaa. Kokemusta, vakiintuneita käytäntöjä tai menetelmiä puurakenteiden suunnittelusta ei ole, mikä tekee suunnittelusta haasteellista. (ARK-1)

Rakennukset täytyisi suunnitella niistä rakenteista ja materiaaleista, jotka ovat sen käyttötarkoituksen mukaisia. Puun yhdistämistä muihin materiaaleihin pidetään kiinnostavana, mutta se on vielä vähäistä, eikä siihen ei ole ollut mahdollisuuksia. Myös hybridi-rakenteiden suunnittelussa suunnittelijoiden välinen yhteistyö korostuu. (ARK-1 & ARK-2).

3.2.3 Rakennesuunnittelun näkökulma

Rakennesuunnittelun suunnitteluperusteissa lähdetään liikkeelle siitä, että rakennus kuiva ja se toimii niin kuin se on suunniteltu. Tämän myötä keskeiseksi tekijäksi puurakentamisessa nousee työmaaorganisaation laatima kosteudenhallintasuunnitelma. Urakkalaskenta-asiakirjoihin laaditaan vaatimukset kosteudenhallintasuunnitelmalle. Suunnitelmaan täytyy sisällyttää puurakenteiden suojaustasot ja toimintakuvaukset siitä, miten toimitaan kosteusvauriotilanteessa. (RAK-1)

Rakennesuunnittelun on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan standardien mukaisilla oletuksilla. Toteutusvaiheessa toteuttajan on toteutettava rakennus siten, että se toimii niiden mukaisesti. Rakennesuunnitelmissa ei voida olettaa, että rakennus kastuu jossakin vaiheessa ja suunnitella sen mukaan. Mutta riskienhallinnan näkökulmasta, materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa asiaan. (RAK-1) Tuotehyväksynnän mukaan rakennustuotteina tulee käyttää CE-merkittyjä rakennustuotteita, mutta se ei takaa, että materiaalit ovat säänkestäviä. Rakennesuunnittelijan on huomioitava, että CE-merkintä ei välttämättä takaa tuotteen soveltuvuutta kyseessä olevaan kohteeseen, vaan tuotteen ominaisuudet voivat vaihdella sen valmistajasta riippuen. (RAK-2)

Puurakenteiden rakenneratkaisujen suunnittelussa kosteudenhallinnan näkökulmasta otetaan huomioon mahdolliset riskipaikat, kuten ranskalaiset parvekkeet ja muut pienet ulokkeet. Näissä on huomioitava, ettei lumi pakkaudu seinää myöten ja rajoita rakenteiden tuulettumista. Kosteudenhallinnan kannalta on tärkeää, että rakenteiden tuuletus toimii ja rakenteet pääsevät kuivumaan. Suunnittelussa vältetään sellaisia rakenteita, jossa lumi ja vesi pääsee seisomaan ja liikkumaan. (RAK-1) Eriyistä huomiota täytyy kiinnittää rakennesuunnittelussa, jossa insinööripuutuotteita, kuten LVL ja CLT, jätetään säälle alttiiksi. Tässä tilanteessa rakenteiden kantavuuden huomioiminen on tehtävä hyvin harkiten. Ulkona säälle alttiina olevat puurakenteet kuuluvat käyttöluokkaan 3, mikä aiheuttaa paljon rajoitteita sille, mikä tuote soveltuu milläkin liitososalla tilanteeseen. (RAK-2)

Rakennusaikaisen kastumisen näkökulmasta kerrokselliset massiiviset lämmöneristetyt rakenteet ovat hankalia, eikä niiden rakennekerrosten väliin saa päästä vettä. Sen sijaan

rankarunkoiset rakenteet ovat melko helposti kuivattavissa. Kosteudenhallintasuunnitelmassa suunnitellaan mahdollisten rakennusaikaisten kosteusongelmien hallinta ja kosteuden poistuminen rakenteista sekä mietitään vaurioiden mahdollisia korjaustapoja. Mikäli kyseessä on vaativa kohde ja kosteusvauriot ovat laajoja, vaurioiden korjausten toteuttaminen on mietittävä huolellisesti. Tapahtuman tulisi olla jäävitön ja siinä joudutaan käyttämään hankkeen ulkopuolisen osapuolen apua. (RAK-1 & RAK-2) Rakenteiden kosteuden seurannan näkökulmasta kosteusmittausanturit ovat nykyään hinnaltaan edullisia ja niiden avulla pystytään pysymään ajan tasalla siitä, mitä rakenteissa tapahtuu. Kosteusmittausantureiden käyttö kosteusolosuhteiden seurannassa voi olla kannattavaa. (RAK-1)

Hybridirakenteissa puuelementtien valmistuksen tarkemmat toleranssit voivat aiheuttaa ongelmia, koska betonirakenteissa käytetyt toleranssit ovat paljon puurakentamista väljemmät. Toleranssien yhteensovittamiseen on vaikea vaikuttaa Suomessa vallitsevan rakentamisen kulttuurin takia. Seuraavat askeleet hybridirakenteiden suunnittelussa on massiivisten puuelementtien ja betonin yhdistäminen esimerkiksi vaakarakenteissa. Kokemusta tällaisesta hybridirakenteiden suunnittelusta on vielä vähän. Hybridirakenteiden suunnittelussa haasteita aiheuttaa puurakenteen kosteustekninen toiminta betonin yhteydessä. Tarkkaavaisuutta vaatii myös hybridirakenteen pitkäaikaiskestävyyden tarkastelu ja värähtelymitoitus. (RAK-2)

Rakennesuunnittelun näkökulmasta toivottaisiin tilaajaorganisaation tunnistavan vastuu suunnittelun ohjauksesta ja varmistavan sen, että heillä on riittävän valmiudet ja resurssit suunnittelun ohjauksen suorittamiseen. Suunnitelmien yhteensovittamisen vastuuta ei voi oletusarvoisesti vain jättää suunnittelijoille. Toki myös suunnittelijoilla on oma vastuu toimia yhteistyössä muiden suunnittelijoiden kanssa ja tuntea heidän toimintansa ja aikataulunsa. (RAK-2)

Hankkeen arkkitehtisuunnittelua ohjaa tilaaja ja hankkeen kustannusmaailma (RAK-2). Puurakennusten arkkitehtisuunnittelu tulisi kuitenkin lähteä siitä, että puurakennusten suunnitteluprosessi on omanlaisensa, eikä sitä kopioida betonirakentamisesta. Puumateriaalien käytön reunaehdot on mietittävä tarkasti ja niissä on otettava myös huomioon tulevaisuuden olosuhteiden muutokset. (RAK-1) Arkkitehtisuunnittelun toivottaisiin tunnistavan eri rakentamistavat teollisessa puuelementtituotannossa sekä niiden asettamat reunaehdot ja rajoitteet rakentamisessa. Isoimmat rajoitteet tulee tilaelementtitekniikan myötä, joka asettaa rajoitteita työmaan elementtiasennustekniikalle. Tilaelementtien koko ja paino on huomioitava suunnittelussa. (RAK-2)

Rakennesuunnittelun näkökulmasta Kuivaketju10:n käyttö ammattimaisen puurakentamisen kosteudenhallinnan toimintatapana vaatii räätälöintiä teollisen puurakentamisen laajuuteen. Kuivaketju10:ssä ei ole huomioitu tilaelementtitekniikkaa, ja järjestelmän ajanmukaistaminen puurakentamisen viimeisimmät elementtitekniikat huomioiden olisi toivottavaa. Perusperiaatteiltaan Kuivaketju10:ä pidetään kuitenkin toimivana. (RAK-2)

3.2.4 Kosteudenhallintakoordinaattorin näkökulma

Kosteudenhallinta on koko rakennuksen elinkaaren ajan kestävä prosessi ja sillä on vaikutusta kaikkiin rakennushankkeen vaiheisiin lähtien hankkeen tilaamisvaiheesta. Rakennushankkeiden tilaaja- ja rakennuttajaorganisaatioiden kosteudenhallinnan osaamistaso vaihtelee huomattavasti eri organisaatioiden kesken. Tämän vuoksi onkin tärkeää, että kosteudenhallintakoordinaattori liitetään hankkeeseen heti sen alkumetreillä. (KHK-1) Hankkeen alkuvaiheessa kosteudenhallintakoordinaattorin on ohjattava tilaajaa, että hankkeen tavoitteet ja kosteudenhallinnan vaatimukset tulevat oikealla tasolla määrittelyiksi ja kirjatuiksi hankinta-asiakirjoihin (KHK-3). Yleisesti kosteudenhallintakoordinaattori toimii hankkeessa hankkeen eri osapuolia kosteudenhallinta-asioista herättelevänä asiantuntijana. Koordinaattori varmistaa, että hankkeessa puurakenteiden asettamat vaatimukset kosteudenhallinnan suhteen tulevat riittävällä tasolla suunnitelluiksi ja toteutetuksi. (KHK-1)

Kosteudenhallinnan kannalta keskeinen hankeasiakirja on kosteudenhallintaselvitys. Puurakentamisessa kosteudenhallintaselvityksen oleellisia asioita ovat sääsuojauksen tarkka määrittely, rakentamisaikataulu sekä kosteudenhallinnan tavoitteet ja konkreettiset vaatimukset. Sääolosuhteiden hallinnan vaatimukset on kuvattava selkeästi ja kattavasti rakentamisen aikataulu huomioiden. Jos hankkeessa käytetään erillistä kosteudenhallinnan toimintamallia, kuten Kuivaketju10:ä, kirjataan se kosteudenhallintaselvitykseen. (KHK-1, KHK-2 & KHK-3) Oikein tehtynä kosteudenhallintaselvitys toimii työkaluna rakentamisen ohjauksessa monessa hankkeen eri vaiheessa. Kosteudenhallintaselvityksellä voidaan ohjata suunnittelua jopa ennen suunnittelutarjouspyyntöjä, jolloin suunnittelun tavoitteet on kirjattava kosteudenhallintaselvitykseen. (KHK-1) Kosteudenhallintaselvitys toimii myös pohjana työmaan kosteudenhallintasuunnitelmalle, mutta sen ei ole kuitenkaan tarkoitus olla valmis kosteudenhallintasuunnitelma. (KHK-2)

Hankkeen siirtyessä suunnitteluvaiheeseen kosteudenhallintakoordinaattorin on tärkeää osallistua suunnittelukokouksiin (KHK-2 & KHK-3). Suunnitteluvaiheessa puurakentamisen kosteudenhallinnan näkökulmasta suunnittelun suurimmaksi haasteeksi nousee elementtien liitosten suunnittelu. Tällöin koordinaattorin on tärkeää varmistaa, että liitoksista on tehty riittävät detaljipiirustukset ja liitokset ovat työmaalla toteutettavissa. Suunnittelun

koordinoinnissa kosteudenhallintakoordinaattorilla on oltava aktiivinen ote ja ohjauksessa on hyvä käyttää apuvälineenä Kuivaketju10 –järjestelmää tai muuta erillistä seuranta-järjestelmää. Suunnitteluvaiheessa huolehditaan, että eri suunnittelualojen suunnitelmat ovat yhteensovitettu toisiinsa. Tilaelementtikohteissa saman alan suunnittelijoita voi olla useita, jolloin selkeät pelisäännöt ja suunnitelmien yhteensovittamisen tärkeys korostuu entisestään. (KHK-1 & KHK-2)

Tarpeen vaatiessa suunnitteluvaiheen loppupuolella voidaan pitää erillinen kosteudenhallinnan kokous, jossa varmistetaan, että kaikki kohteen riskikohdat on käyty läpi ja niistä on laadittu tarvittavat detaljiirustukset (KHK-2). Suunnittelualojen koordinoinnin on tapahduttava hyvässä yhteistyössä kaikkien osapuolten kesken. Koordinaattorin on tärkeää myös varmistaa, että työmaolosuhteiden hallinnan vaatimukset on kirjattu selkeästi työselostuksiin ja muihin urakka-asiakirjoihin. Koordinaattorilla on oltava riittävä asiantuntemus pystyäkseen tunnistamaan ja kuvaamaan hankekohtaiset vaatimukset selkeästi. (KHK-3)

Suurimpana kosteusriskinä massiivipuurakenteita ja kerroksellisia rakenteita sisältävien rakennusten kannalta nähdään rakentamisen aikainen sääsuojaus (KHK-1, KHK-2 & KHK-3). Tyypillisimpiä riskipaikkoja ovat myös materiaalien rajapinnat ja erilaiset liittymät, kondenssin aiheutuminen, kosteuden nousut ja sääolosuhteet. Työmaan olosuhteiden hallinnan suunnittelussa on huomioitava Suomen säätilan vaihtelut ja käytävä läpi tilanteet ääriolosuhteet huomioiden. Kosteudenhallintakoordinaattorin näkökulmasta olisi myös toivottavaa, että työmaan toteutushenkilöstö kyseenalaistaa tietyt suunnitteluratkaisut ja ehdottaa muuta ratkaisua, jos suunnitelmissa havaitaan riskejä sisältäviä ratkaisuja. (KHK-3)

Puurakentamishankkeen tuotantovaiheessa rakentamisen aikana on paneuduttava riittävään sääsuojaukseen (KHK-1, KHK-2 & KHK-3). Kosteudenhallintakoordinaattorin johdolla rakennuttajan on määritettävä sääsuojaustaso tarkasti urakkalaskenta-asiakirjoihin. Asiakirjoihin on kirjattava tarkasti käytettävän sääsuojauksen taso sekä sääsuojan asentamisen ja purkamisen ajankohdat. Tarjouspyynnössä voidaan myös vaatia alustava ehdotus sääsuojauksen toteutuksesta ennen urakkasopimusneuvotteluita. (KHK-1)

Tuotantovaiheessa koordinaattorin on kiinnitettävä huomiota sääsuojauksen toteutuksen toimivuuteen, elementtien asennuksen suorittamiseen ja elementtiliitosten toteuttamiseen (KHK-1 & KHK-2). Erityisenä huolenaiheena on rakennusosien rakennusaikainen kastuminen, kosteusvaurioiden syntyminen sekä vaurioiden korjaaminen ja korjausten todentaminen ja varmentaminen. Heti kosteudelle altistumisen tapahtumisen jälkeen

on varmistettava, ettei rakenne pääse enää kastumaan ja rakenne on kuivatettava mahdollisimman nopeasti. (KHK-1 & KHK-3) Tarkkaavaisuutta vaativat etenkin kerroksellisten rakenteiden ja puurakenteisten välipohjien kuivattaminen, korjaus ja korjausten todentaminen (KHK-1).

Työmaa-aikaisten kosteusvaurioiden ehkäisemisen kannalta olennaisessa osassa on työmaan kosteudenhallintasuunnitelma, jonka kosteudenhallintakoordinaattori tarkistaa ja hyväksyy (KHK-2). Työmaa-aikainen riskienhallinta ja etukäteen asioihin puuttuminen on keskeistä kosteudenhallinnassa. Työmaalle on nimettävä kosteudenhallinnasta vastaava henkilö, joka huolehtii kosteudenhallinnan toteutuksesta. Suurissa ja vaativissa hankkeissa olisi hyvä, jos kosteudenhallinnasta vastaava henkilönä toimisi joku muu kuin vastaava työnjohtaja. Vastaavan työnjohtajan resurssit isoissa hankkeissa eivät välttämättä riitä kosteudenhallinnan riittävän toteutuksen suunnitteluun ja seurantaan. Kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävänä on huolehtia, että kosteudenhallinnasta vastaava henkilö on huomionut hankkeen kosteusriskien torjunnan. (KHK-3)

Kosteudenhallintakoordinaattorin työtä helpottaa sellainen rakennuksen toteuttajahenkilöstö, jotka ovat sitoutuneet ja motivoituneet rakentamaan rakennusta käyttäjää varten. Vaikka asiat lähtevät siitä, että työnjohto on sitoutunut kosteudenhallinnan toteutukseen, on koordinaattorin kuitenkin saatava etenkin työntekijät hänen puolelleen, jolloin he toimivat ns. tarkkailijoina koordinaattorin ollessa pois työmaalta. Kosteudenhallintaan sitouttamiseen on koettu hyvänä tapana koulutustilanteet, jossa käydään läpi kosteudenhallinnan vaatimukset ja toteutustavat. Kosteudenhallinnan vastuu siirretään työntekijöille ja heidän odotetaan toimimaan yhteistyössä. Koulutuksessa työntekijöiden on ymmärrettävä, että heidän on oltava ylpeitä työstään. On ymmärrettävä myös, jos kosteudenhallinnan laiminlyöntejä tapahtuu, niihin on puututtava ajoissa. (KHK-3)

Työmaahenkilöstön sitouttaminen vaatii myös koordinaattorilta tietynlaista persoonaa ja käyttäytymistä työmaakäynneillä. Koordinaattorin on oltava läsnä työntekijöiden tekemisessä, eikä nostettava itseään muita ylemmäksi. Työmaakäyntien epäkohdat on nostettava esiin heti ratkottavaksi tai vietävä työmaakokouksiin. (KHK-3) Motivoinnissa auttaa koordinaattorin aktiivinen ote ja asioiden käsittely pieninä kokonaisuuksina läpi koko hankkeen. Työmaalle voidaan antaa myös konkreettisia neuvoja tai työkaluja kosteudenhallinnan toteutukseen, jolloin asiat otetaan yleensä paremmin vastaan. Työkaluna kosteudenhallinnan seurantaan voi olla esimerkiksi kosteudenhallintakierros työmaan TR-mittauksen tyyliin. (KHK-1)

Rakennuksen käyttöönottovaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori koordinoi huoltokirjan sisältöä kosteudenhallinnan näkökulmasta. Huoltokirjassa tulee ottaa riittävässä

määrin kantaa huollettavien kohteiden huollon toteutukseen. Koordinaattori tarvittaessa voi myös osallistua käytönopastuksiin hankkeen vaativuuden niin vaatiessa. (KHK-1)

Kosteudenhallintakoordinaattorin näkökulmasta Kuivaketju10 –järjestelmää pidetään toimivana myös yli kaksikerroksisessa puurakentamisessa varsinkin, jos se otetaan hankkeen alusta lähtien mukaan toimintaan ja riskilista täydennetään hankkeen mukaisesti (KHK-1 & KHK-3). Kuitenkin järjestelmän toivottaisiin olevan kevyemmin käsiteltävä. Jos hankkeen muut tahot eivät ole halukkaita osallistumaan Kuivaketju10 todentamisen tekemiseen, järjestelmän käyttö voi olla koordinaattorille raskasta. (KHK-3) Kuivaketju10 on hankala järjestelmä käyttää monimuotoisen toteutusmuodon omaavissa hankkeissa, koska hankkeessa on eri osapuolia paljon. Hyvänä asiana Kuivaketju10:ssä on kosteudenhallinnan dokumentoinnin varmistaminen ja järjestelmän käyttäminen suunnittelijoiden muistilistana. (KHK-1)

Haastattelututkimuksessa nostetaan esille, että kosteudenhallintakoordinaattorin ja työmaavalvojan tehtävät olisivat järkevää yhdistää samalle henkilölle, jolloin työmaavalvonnan yhteydessä voidaan suorittaa kosteudenhallinnan valvontaa. Työmaavalvoja käy työmaalla huomattavasti useammin kuin kosteudenhallintakoordinaattori, jolloin kosteudenhallinnan valvontaa hankkeessa tapahtuisi automaattisesti useammin. Tässä kuitenkin haasteeksi ilmenee resurssien riittävyys ja valvojien kouluttamattomuus. Valvojilla ei välttämättä ole riittävää koulutusta pystyäkseen toimimaan hankkeessa kosteudenhallintakoordinaattorina tai vastaavasti kosteudenhallintakoordinaattorilla ei ole riittävää kokemusta työmaavalvonnasta. Kooltaan suuret ja monimuotoiset hankkeet ovat hankalia resursoinnin kannalta. Työmaavalvojan resurssit eivät välttämättä riitä hoitamaan kosteudenhallintakoordinaattorin tehtäviä, jolloin tehtävien erottaminen toisistaan voi osoittautua hyväksi ratkaisuksi. (KHK-1 & KHK-2)

Tutkimuksen perusteella nähtäisiinkin hyväksi käytännöksi myös se, että normaalia työmaavalvontaa tekeville asiantuntijoille järjestettäisiin ainakin kevyt koulutus kosteudenhallinnan valvontaan liittyen. Tällöin työmaavalvoja osaisi havainnoida kosteusteknisiä asioita tarkemmalla silmällä, vaikka hän ei toimisikaan hankkeessa kosteudenhallintakoordinaattorina. (KHK-1)

3.2.5 Työmaatoteutuksen näkökulma

Lähes poikkeuksetta tänä päivänä puurakentamiskohteet rakennetaan sääsuojan alla. Puurakentamisen kosteudenhallinta kuitenkin riippuu käytettävistä rakennetyypeistä ja rakentamistavasta. Yleisenä ohjeena voidaan pitää, että mitä paksumpi puurakenne sitä

tärkeämpää kosteudenhallinnan miettiminen on. Kosteudenhallinnassa on ymmärrettävä rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta. Rakenteiden piilevät kosteusongelmat ovat kaikkein hankalimpia selvittää ja korjata. (RKL-3)

Puurankarunkoisista suurelementeistä tehdyn rakennuksen kosteudenhallinnan kannalta suurin tekijä on toimiva sääsuoja, jonka alla rakennuksen runko rakennetaan. Sääsuojatyyppejä on monenlaisia ja parhaimmaksi tyyppi on todettu saman tien lakikorkeuteensa kasattava vapaasti seisova jokaiselta sivulta suojaava sääsuoja, joka on varustettu siltanosturilla. Sääsuojan toiseen pätyyn tehdään aukko, josta elementit kuljetetaan sääsuojan sisään ja nostetaan siltanosturilla asennusta varten. Tämä sääsuoja tyyppi on toimivuudeltaan varmin, ja huolenaiheeksi jää vain elementtien kuljettaminen sääsuojaan. (RKL-2)

Toinen toimiva ratkaisu sääsuojaukseen on nouseva sääsuoja, jota nostetaan sitä mukaa kuin rakennuksen runko nousee. Haasteena nousevassa sääsuojassa on, että se ei suojaa rakennuksen sivuja kokonaan, jotta tuulikuorma ei kasva liian suureksi. Sivusuojien pituus täytyy huomioida sääsuojan korkeuden asettamisessa elementtiasennusten ajaksi. Sääsuojan tulee olla mahdollisimman alhaalla, jolloin viistosade tai pakkaslumi ei pääse sen sisälle. Kuitenkin suojan tulee olla riittävän korkealla, että elementit saadaan asennettua. Elementtien asennuksen järjestys on suunniteltava siten, ettei asennettavia elementtejä nosteta jo asennettujen elementtien ylitse, milloin sääsuoja pystytään pitämään mahdollisimman matalalla. Nouseva sääsuoja rakennetaan päädyistään reilusti yli rakennuksen, jolloin elementit saadaan siirrettyä suojan alle helposti. (RKL-2)

Sääsuojatyyppejä valittaessa on aina huomioitava elementtien nostamisen tarpeet, rakennettavan tontin laajuus ja työmaan muu logistiikka. Nämä tekijät asettavat reunaehdot sääsuojatyypin valinnalle. Nosturina voidaan käyttää sääsuojaan integroitua siltanosturia tai ajoneuvonosturia sääsuojan sisällä. Ajoneuvonosturia käytettäessä sääsuojauksen vaatima tila voi olla ongelma. (RKL-2) Talvirakentamisessa lumen myötä sääsuojan käyttöön liittyy myös työturvallisuusriski, jota harvoin otetaan hankkeen rakennuttamisvaiheessa huomioon. Korkeat ja suuret sääsuojat ovat hankalia pitää puhtaana lumesta ja sääsuojan romahtamisvaara voi olla erittäin suuri. Rakennuttajan tulisi huomioida talvirakentamisen sääsuojauksen työturvallisuuteen liittyvät asiat ennen urakan kilpailuttamista ja kirjata ne hankkeen turvallisuusasiakirjaan. (RKL-3)

Urakoitsijan näkökulmasta toivottavaa olisi, että sääsuojaukseksi hyväksytään muukin ratkaisu kuin telttasuojaus. Rakennuttajan toivotaan miettivän myös väliaikaisen vesikatton toimivuutta sääsuojauksena muissakin kuin tilaelementtikohteissa. (RKL-3)

Puuelementtitoimittajan ja -asentajan näkökulmasta eristämättömistä massiivipuuelementeistä koottavat rakennukset eivät välttämättä tarvitse sääsuojaa, mutta tällöin rakennesuunnittelussa on huomioitava, ettei vesi pääse lammikoitumaan tai seisomaan rakenteiden päällä. Sääsuojattomassa puurakentamisessa toimintatavat tulee olla kaikille osapuolille selkeitä ja on toimittava sovittujen ratkaisujen mukaisesti. Käytettävät rakenneratkaisut on mietittävä tarkasti ja kosteudenhallinta on suunniteltava toteutus suunnitteluvaiheessa. Massiivipuusta kestää kosteutta ja kuivuu nopeasti olosuhteiden sen salliessa. Pinnastaan kastuneen massiivipuun kosteusvauriot ovat lähinnä visuaalisia haittoja, jotka voidaan poistaa hiomalla. (RKL-1)

Sääsuojattomassa puurakentamisessa piiloon jäävien rakenteiden kosteuspitoisuuden todentaminen on tärkeää. Ennen eristeiden asentamista tai rakenteiden peittämistä puurakenteiden kosteudet mitataan ja huolehditaan, ettei kosteutta jää rakennekerrosten väliin. (RKL-3)

Massiivipuurakennuksissa iso kosteudenhallintaan liittyvä asia on myös puurakenteiden kuivatus ja sen suunnittelu, jota harvoin näkee tehtävän puurakentamisessa. Puurakenteiden liian nopea lämpötilan nosto ja sitä kautta kuivattaminen aiheuttaa puuhun halkeilua. Olosuhteiden muutokset on tehtävä halliten ja pikkuhiljaa lämpötilaa nostaen, ettei halkeilua tapahdu. Hybridirakenteissa kuivatuksen kannalta on huomioitava, että rakennuksen ilma on tarpeeksi kuiva betonirakenteiden kuivumisen kannalta, muttei liian kuiva puurakenteiden halkeilun takia. Kuivatusilman 40–50 % suhteellinen kosteus on havaittu sopivaksi, jolloin betoni kuivuu hyvin ja puu ei halkeile. (RKL-3)

Rakennuksen sisävalmistusvaiheessa huomioitaviksi asioiksi kosteudenhallinnan kannalta tulevat työvaiheet, kuten tasoitetyöt ja laatoitus, joissa käytetään vettä. Joka kerroksessa tarvitaan vesipiste, jonka käytössä on huomioitava, ettei vettä pääse valumaan rakenteisiin. Työntekijöille asetetaan ehdottomat vaatimukset vesipisteen oikeanlaiseen käyttöön ja vesipiste varustetaan turvakaukalolla. Sääsuojassa rakennettavan puurakennuksen olosuhteet saadaan kuivatuksen kannalta optimaalisiksi, jolloin märkätilojen lattiavalujen kuivatus on vaivatonta ja nopeaa. (RKL-2)

Puurakennuksen työmaa-aikaisiin kosteusvaurioihin on varauduttava. Niiden varalta tehdään selkeät toimintaohjeet, miten niissä tilanteissa toimitaan. Suunnittelussa otetaan huomioon eri materiaalit, niiden ominaisuudet sekä kuivatus tai korjaustyylit. Pääpaino kosteusvaurioiden kannalta tulee olla niiden ennakoinnissa ja ennaltaehkäisyssä. Esimerkiksi nousevaa sääsuojaa käytettäessä sääsuoja asetetaan niin alas kuin saadaan,

kun elementtejä ei asenneta. Käytettävien aliurakoitsijoiden kanssa on jo urakkaneuvotteluissa tuotava ilmi, minkälainen kohde on kyseessä ja aliurakoitsijoiden toimittava pää-toteuttajan asettamien toimintatapojen mukaisesti. (RKL-2)

Puurakentamisen kosteudenhallinta on hankkeen eri osapuolten kanssa yhteistyössä tehtävää toimintaa. Hankkeen rakennuttamisessa tulisi olla varhaisessa vaiheessa selkeänä rakentamisen ajankohta ja sen vaikutukset kosteudenhallintaan sekä rakentamisen aikataulu ja rakenteiden kuivattamisen vaatimat toimenpiteet. (RKL-3)

4. POHDINTA

4.1 Keskeiset tulokset

Haastattelututkimusten tuloksena saatiin kattava kirjallisuustutkimusta tukeva kuvaus hankkeen eri toimijoiden roolista puurakentamisen kosteudenhallinnassa. Kirjallisuustutkimuksen mukaan kokemuksen puute näkyy vielä puurakentamisessa ja sen kosteudenhallinnassa. Asia oli myös havaittavissa haastattelututkimuksessa ja syynä siihen todettiin olevan vielä tällä hetkellä Suomessa vallitsevan ammattimaisen puurakentamisen vähäinen volyymi.

Haastatteluiden tuloksena saatiin yhteneviä vastauksia, jotka korreloivat hyvin kirjallisuustutkimuksen tulosten kanssa. Haastattelututkimuksen perusteella havaittiin korkean puurakentamisen neljä keskeistä hankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa huomioitavaa kosteusriskiä, jotka on esitetty kuvassa 17. Kosteudenhallintakoordinaattorin on huolehdittava, että nämä ja muut kosteusriskit tulevat huomioiduiksi hankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa.



Kuva 17. Korkean puurakentamisen keskeiset kosteusriskit

Sekä kirjallisuus- että haastattelututkimuksessa tunnistetaan yli kaksikerroksisen puurakentamisen työmaa-aikaisen kosteudenhallinnan haavoittuvuus. Puurakenteiden työmaa-aikaiseen suojaamiseen on panostettava huolellisella otteella etenkin, kun ky-

seessä ovat kerrokselliset puurakenteet. Puuelementtirakentaminen sisältää myös paljon erilaisia liitoksia, joiden suunnittelu ja toteutus vaatii paljon huomiota. Liitosten tiiviyys on tärkeää niin rakenteellisen kuin rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta. Suunnittelussa tämä huomioidaan riittävän tarkkoilla detaljipiirustuksilla ja toteutuksessa asennusolosuhteiden on oltava sellaiset, että ne mahdollistavat suunnitelmien mukaisen asennuksen.

Kerroksellisten puurakenteiden rakentamisen aikainen olosuhdehallinta ja sitä kautta rakentamisen aikaisten piilevien kosteusvaurioiden riski on asia, joka on otettava tosissaan jo hankkeen alkuvaiheessa ja sitä voidaan pitää puurakentamisen kosteudenhallinnan tärkeimpänä asiana. Korkeaan puurakentamiseen on vakioitunut jo erilaiset sääsuojatyypit rakennuskohteen luonteen mukaisesti. Sääsuojatyyppi ja sen pitoaika sekä kosteudenhallinnan vaatimukset ja konkreettiset tavoitteet, niin suunnittelussa kuin toteutuksessa, määritetään kosteudenhallintakoordinaattorin johdolla kosteudenhallintaselvityksessä, joka laaditaan ennen hankkeen suunnitteluvaihetta. Kosteudenhallintaselvitys liitetään suunnittelutarjouspyyntöjen liitteeksi ja sitä käytetään apuna jo suunnittelunohjauksessa. Sääsuojauksen vaikutukset työturvallisuuteen on muistettava huomioida myös turvallisuusasiakirjassa, etenkin talvirakentamisessa.

Puurakentamishankkeessa jokaiselta osapuolelta on vaadittava ehdotonta sitoumusta kosteudenhallinnan toimintatapaan, riippumatta toimintatavan toteutusmuodosta. Tutkimuksen perusteella korkeat puurakennukset on rakennettava sääsuojan alla, mutta jos päädytään sääsuojattomaan rakentamiseen, sitoutuminen kosteudenhallinnan toteuttamiseen korostuu entisestään. Tällöin on huolehdittava, että rakennus on suunniteltu ja toteutettavissa siten, että kosteuden aiheuttamat muutokset ovat mahdollisimman vähäisiä ja korjattavissa. Säälle alttiina olleiden puurakenteiden hallittu kuivatus on myös asia, joka on suunniteltava ennalta ja liitettävä kosteudenhallintasuunnitelmaan. Sääsuojatonta puurakentamista ei kuitenkaan voi suositella tämän tutkimuksen perusteella.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella pääurakoitsija on perehdytettävä kohteen suunnitelmiin ja niiden sisältämiin kosteusriskeihin. Haastattelututkimuksen perusteella työmaahenkilöstöä sitoutetaan myös koulutustilaisuuksilla ja antamalla konkreettisia toimintatapoja kosteudenhallinnan seurantaan. Ilman sitoutunutta henkilöstöä kosteudenhallintaa ei voida onnistuneesti suorittaa. Ennen kaikkea työmaalla perehdyttäminen on onnistuttava viemään työntekijätasolle asti. Työntekijöiden sitoutuminen on hankkeen hyvän lopputuloksen kannalta välttämätöntä ja siinä työnjohton lisäksi kosteudenhallintakoordinaattori voi olla avuksi käyttäytymisellään ja toimintavoillaan työmaakerroksia suorittaessa.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella puurakentamisen kosteudenhallinnan valvonnassa hyvänä apuvälineenä toimivat jatkuvat kosteudenseurantalaitteet. Langattomien kosteudenseurantalaitteiden käyttö nousi esiin vain rakennesuunnittelijoiden haastatteluissa, mutta heilläkin oli vain kokemusta niistä betonirakenteiden seurannan kautta. Langattomien kosteudenseurantalaitteiden käyttö on siis haastattelututkimuksen perusteella Suomessa vielä uusi asia, joka olisi hyvä ottaa laajemmin käyttöön ja kokeiluun.

Haastatteluiden mukaan rakennuksen käytönaikaista kosteusriskiä voidaan helposti torjua tilasuunnittelulla ja sprinklerjärjestelmän valinnalla. Kosteusriskialttiimmat tilat sijoitellaan vähemmän riskiä sisältäviin paikkoihin, kuten rakennuksen ensimmäiseen kerrokseen. Märkätilojen kosteusriskiä vähennetään myös sillä, ettei niitä sijoiteta vasten puista ulkoseinää. Sprinklerjärjestelmäksi korkeaan puurakenteisiin taloon on suositeltavaa valita vesisumujärjestelmä perinteisen järjestelmän sijaan.

Haastattelututkimuksen perusteella Kuivaketju10:ä voidaan käyttää myös toimintatapana korkean puurakentamisen kosteudenhallinnassa, mutta se vaatii järjestelmän käyttäjältä paljon räätälöintiä ja täydentämistä, etenkin tilaelementtikohteissa. Kuivaketju10 tunnustetaan kuitenkin periaatteiltaan toimivana järjestelmänä, jossa kosteudenhallinnan toimenpiteiden dokumentointi on helppoa.

4.2 Tutkimuksen arviointi

Haastattelututkimuksen tulosten analysoinnissa haasteita aiheutti se, että haastateltavilla ei välttämättä ollut kokemusta kuin tietyistä puurakennetekniikoista, puurakennetyyppien käyttämisestä, suunnittelusta tai valvonnasta. Haastatteluissa pyrittiin haastattelemaan eri lähtökohdista ja yrityksistä olevia henkilöitä, jonka perustella pystyttäisiin muodostamaan kokonaiskuva puurakentamisen kosteudenhallinnasta. Tutkimuksen tekijän mielestä kokonaiskuvan muodostuminen onnistui hyvin. Tutkimuksessa olisi voinut vielä eritellä paremmin puurakennetyyppejä ja -järjestelmiä, joidenka perusteella tutkimus olisi voitu muodostaa. Näin olisi voitu saada vielä täsmällisemmät tulokset, miten eri rakennetyyppien valitseminen vaikuttaa kosteudenhallintaan. Tätä ei kuitenkaan pidetty välttämättömänä kokonaiskuvan luonnin näkökulmasta.

Haastattelututkimuksen kysymykset rakennettiin täsmällisiksi kysymyksiksi kirjallisuustutkimuksen perusteella, jotta voitaisiin tukea ja täydentää kirjallisuustutkimuksen tuloksia. Tämän myötä saatiin yhteneviä vastauksia kirjallisuuden kanssa, mutta myös lisätietoa ja eroavia näkemyksiä. Haastatteluissa keskusteltiin myös yleisesti kosteudenhal-

linnasta ja puurakentamisesta, koska kosteudenhallinnan suorittamisessa on samat periaatteet rakennusmateriaalista riippumatta ja toisaalta puurakentamisen yleinen luonne vaikuttaa kosteudenhallintaan.

Haastattelututkimuksen tarkkuutta heikentävä asia voi olla haastattelukysymysten ymmärtämisen ja vastausten tarkkuuden vaihtelu haastateltavien kesken, vaikka kysymykset ovat rakennettu täsmällisiksi. Siksi haastattelut purettiin tekstiksi ja eri haastattelujen vastauksia vertailtiin ennen tulosten kirjoittamista.

Tutkimuksessa tehtyjen haastattelujen tueksi ja täydentämiseksi työmaahavainnointi olisi voinut tuoda lisäarvoa tutkimukselle. Työmaahavainnointia olisi kuitenkin pitänyt suorittaa useammassa erilaisessa kohteessa, jotta tulokset olisivat olleet käyttökelpoisia. Myös langattomien kosteudenseurantalaitteiden käytön kokeilu puurakentamisessa olisi tarjonnut tietoa niiden toimivuudesta kirjallisuustutkimuksen lisäksi. Näihin ei kuitenkaan tämän tutkimuksen tekemisen yhteydessä ollut riittävässä määrin mahdollisuuksia, joten ne jäivät pois tutkimuksesta.

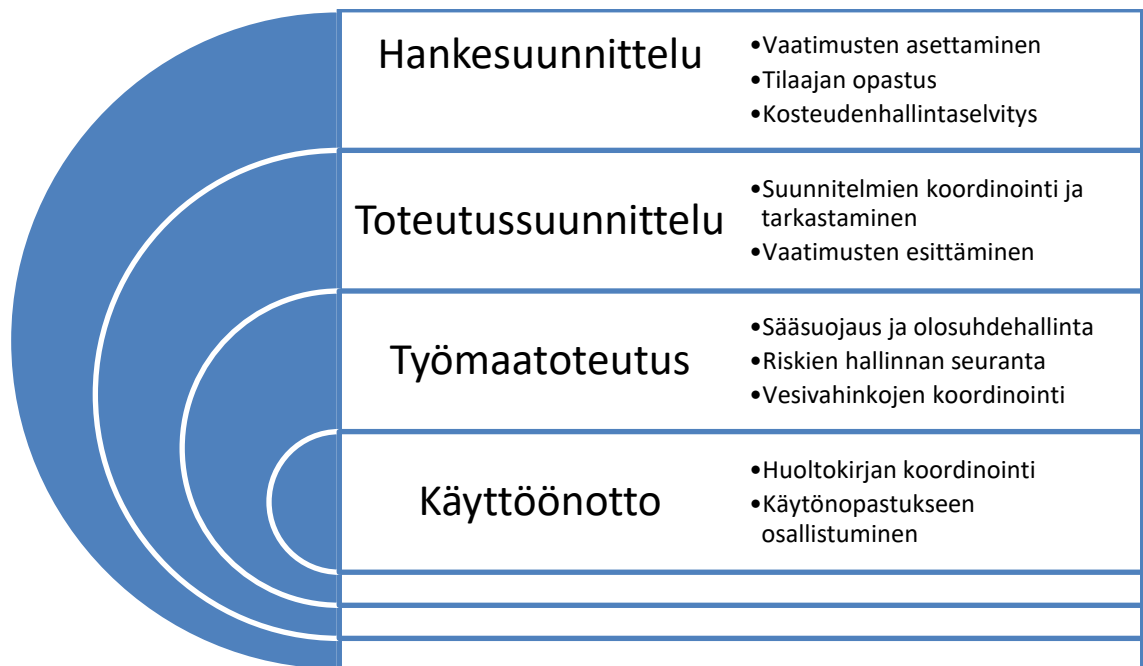
Tutkimuksen tuloksia ja työn liitteeksi B muodostettua dokumenttia voidaan käyttää yrityksen sisäisenä lisäohjeistuksena kosteudenhallinnan valvonnan tueksi. Valvojan perehdyttyä kosteudenhallinnan periaatteisiin ja puurakentamisen erityispiirteisiin dokumentin kautta, hän voi muodostaa sen perusteella tarkemman valvontasuunnitelman itselleen kohteen mukaisesti. Työn tuloksia voidaan käyttää myös yleisesti kosteudenhallinnan valvonnan ja puurakentamisen kosteudenhallinnan tiedon syventämiseksi sekä kosteudenhallinnan asiantuntijapalvelujen tarjoamisen apuvälineenä.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Puurakentamisen kosteudenhallintakoordinointi

Rakennushankkeen kosteudenhallintaa suoritetaan pääpiirteittäin samalla tavalla riippumatta rakennusmateriaaleista tai -tekniikoista. Kuitenkin kosteudenhallinnassa on otettava huomioon rakennusmateriaalin, tässä tapauksessa puun, ominaisuudet, erityispiirteet, mahdollisuudet ja rajoitteet.

Kosteudenhallintaprosessi on koko hankkeen elinkaaren mittainen ja kiinteä osa hankkeen eri vaiheita. Puurakentamisen kosteudenhallinnan onnistumisen kannalta hankkeeseen on kiinnitettävä ammattitaitoinen kosteudenhallintakoordinaattori mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta. Täten hankkeen rakennuttajalta vaaditaan ymmärrystä kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävien sisällöstä ja laajuudesta, jotta kyseinen asiantuntijapalvelu osataan tilata. Palvelun tilaamisen jälkeen kosteudenhallintakoordinaattori huolehtii kosteudenhallinnan huomioinnin jokaisessa hankkeen vaiheessa eriyttämättä sitä muista hankkeen vaiheista.



Kuva 18. Kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävien yhteenveto

Kosteudenhallintakoordinaattorin päätehtävät puurakentamishankkeen eri vaiheissa liittyvät kuvassa 18 esitettyihin asioihin. Yleisesti kosteudenhallintakoordinaattori toimii hankkeessa hankkeen eri osapuolia tukevana, ohjaavana ja valvovana asiantuntijana.

Korkea puurakentaminen sisältää paljon erilaisia koettelemattomia suunnittelu- ja toteutusratkaisuja. Kokemusperäistä tietoa ei juurikaan ole, joten kosteudenhallintakoordinaattorin ammattitaito korostuu entisestään.

Hankkeen tavoitteiden ja vaatimusten ymmärtäminen ja niiden asettaminen oikealle tasolle luo lähtökohdat kosteudenhallinnan onnistumiselle. Vaatimukset on osattava ilmaista riittävän selkeästi ja kattavasti hankkeen eri asiakirjoissa, etenkin kosteudenhallintaselvityksessä. Tietoja ei voida kopioida muista hankkeista. Kosteudenhallintaselvitys laaditaan jo alustavasti hankesuunnitteluvaiheessa, jotta sitä voidaan käyttää apuna suunnittelun ohjauksessa.

Suunnittelun kosteusriskien riittävä huomiointi vaatii yhteistyötä rakennuttajan, suunnittelijoiden ja kosteudenhallintakoordinaattorin välillä. Suunnittelun ohjaus lähtee liikkeelle rakennuttajan resursseista, mutta kosteudenhallintakoordinaattorin on oltava aktiivinen ja huolehdittava riittävästä ohjauksesta kosteudenhallinnan näkökulmasta. Tärkeimmät tehtävät suunnitteluvaiheessa on varmistaa, että laaditaan riittävät detaljisuunnitelmat ja esitetään tarkat vaatimukset sääsuojaukselle ja olosuhdehallinnalle.

Toteutusvaiheessa kosteudenhallintaa valvotaan hankkeen tavoitteiden ja vaatimusten mukaisesti. Tässä tutkimuksessa suositellaan, että korkeassa puurakentamisessa käytetään täydellistä sääsuojauksia, jonka tarkat vaatimukset esitetään kosteudenhallintaselvityksessä. Esitetyt olosuhdehallinnan vaatimukset vaikuttavat oleellisesti valvonnan tarpeeseen. Epämääräiset vaatimukset johtavat valvonnan määrän lisääntymiseen ja eri rakennusvaiheiden ylimääräiseen laadunvarmistusten todentamiseen, mikä ei ole enää valvonnan tehokasta suorittamista.

Hankkeen toteutusvaiheen tärkeimpänä tehtävänä on valvoa vaadittujen olosuhdevalvonnan keinojen toteutusta ja toimivuutta. Kosteudenhallintakoordinaattorin on suositeltavaa käyttää valvonnan apuna langattomia kosteudenseurantalaitteita, varsinkin kriittisten rakenneratkaisujen kohdalla. On huomioitava, että puurakenteiden ei tarvitse altistua vapaalle vedelle, jotta niiden kosteuspiitoisuus nousee. Toisaalta puurakenteiden kuivaus on tehtävä hallituissa olosuhteissa riittävän hitaasti olosuhteita muuttamalla. Molemmissa tilanteissa kosteudenseurantalaitteista voi olla apua.

Olosuhteiden muuttuminen vaikuttaa työmaa-aikaiseen riskienhallintaan, joka suunnitellaan kosteudenhallintasuunnitelmassa, jonka hyväksyy kosteudenhallintakoordinaattori. Siinä keskeisintä on miettiä keinot, joilla ehkäistään kosteusvaurioiden tapahtuminen puurakentamisen eri vaiheissa. Kosteudenhallintakoordinaattorin on valvottava kosteusriskien torjumista työmaalla ja valvonnan on oltava ennakoivaa. Kosteusriskien toteutumisen varalta huolehditaan, että työmaa suunnittelee toimenpiteet niiden korjaamiseksi

ja kosteusvaurion sattuessa todennetaan riittävä korjauksen onnistuminen. Kosteusvauriutilanteissa rakenteiden kuivatus on aloitettava välittömästi ja on huolehdittava siitä, ettei ne pääse enää kastumaan. Kuitenkin on huomioitava, ettei massiivipuorakenteiden kuivatus saa olla liian nopeaa, jotta puurakenteet eivät halkeile.

Rakennuksen käyttöönottovaiheessa puurakentamisen kosteudenhallinnan kannalta oleellista voisi olla hankkeesta riippuen mahdollisten erikoistilojen käytönopastus ja huolto-ohjeiden laadinta. Muuten osallistutaan normaalisti käytönopastukseen, huolto-ohjeiden laadintaan ja koordinointiin sekä loppulausunnon kirjoittamiseen.

Suosituksena voidaan siis todeta, että kosteudenhallinta on otettava entistä varhaisemmassa vaiheessa huomioon, kun hankkeeseen sisältyy korkeaa puurakentamista. Hankkeen tavoitteet ja vaatimukset on kirjattava tarkasti ja ilmaistava selkeästi, suunnitelmissa on kiinnitettävä huomiota erityisesti detaljitason suunnitelmien laadintaan sekä toteutuksessa on keskityttävä tarkkaan olosuhdehallintaan ja kosteusvaurioiden ennaltaehkäisemiseen.

5.2 Jatkotutkimusehdotukset

Tässä tutkimuksessa tutkittiin puurakentamisen tuomia erityispiirteitä kosteudenhallintaan ja muodostettiin sen kautta kokonaiskuva puurakentamisen kosteudenhallinnan valvonnasta. Tutkimuksessa nousi esille asioita, joiden todettiin vaativan lisätutkimusta.

Tutkimuksessa todettiin, että Kuivaketju10:n käyttö on työlästä sovellettaessa sitä korkeaan puurakentamiseen. Kuivaketju10 ei ota huomioon viimeisimpiä puuelementtirakentamisen teollisia rakennejärjestelmiä, eikä huomioi monimuotoisten hankkeiden eri osapuolten osallistumista kosteudenhallintaan. Jatkotutkimuksena voitaisiin luoda Kuivaketju10:n käyttöä varten valmiita riskilistoja erityyppisille puurakentamishankkeille. Kuivaketju10 järjestelmää voitaisiin kehittää myös siten, että järjestelmään voitaisiin valtuuttaa monta eri käyttäjää samalle osa-alueelle. Tällöin järjestelmässä esimerkiksi elementtisuunnittelu ja rakennuksen suunnittelu voitaisiin erotella toisistaan eri käyttäjille.

Jatkotutkimuksena voitaisiin myös tutkia enemmän puun yhdistämistä muihin materiaaleihin ja sen vaikutusta kosteudenhallintaan. Tulevaisuudessa toivottavaa olisi, että hybridirakenteita osattaisiin hyödyntää enemmän kuin niitä tänä päivänä Suomessa hyödynnetään. Hybridirakenteissa riittää vielä tutkittavaa myös rakennesuunnittelun näkökulmasta.

Lisäksi voitaisiin tutkia tarkemmin vaurioituneiden massiivipuorakenteiden korjaustapoja ja -ratkaisuja sekä jatkuvien kosteudenseurantalaitteiden soveltuvuutta erilaisiin kohteisiin ja rakenteisiin. Korjaustapojen tutkimisessa olisi erityisesti otettava kantaa siihen,

kuinka rakennuksen kantavien rakenteiden vaurioituneiden osien korjaustyö käytännössä tehdään ja miten korjattavan rakenteen toimivuus jatkossa todennetaan. Jatkuvien kosteudenseurantalaitteiden tutkimuksen perusteella taas voitaisiin tehdä päätelmiä niiden hyödyistä kosteudenhallinnan valvonnan käytössä.

LÄHTEET

Dietsch P., Franke S., Franke B., Gamper A. & Winter S. (2014). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 13 s.

Ermakov V. & Stepanova E. (2020). Moisture content and its influence on glued timber structures. Article. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 6 s.

Forsén H. & Tarvainen V. (2000). Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. *VTT*. 79 s.

Ijäs, V. (2013). Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet. Keskeisten suomalaisten rakentamis- ja kiinteistöalan sidosryhmien vertaileva asennemittaus. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laitos. 275 s. ISBN 978-952-15-3125-5.

Junnonen J. (2012). Työmaavalvojan vastuut ja tehtävät. *Rakentajain kalenteri 2012*. Rakennustieto Oy. S. 58–63. Saatavilla (viitattu 12.12.2021): <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120302.pdf>

Junnonen J. & Kankainen J. (2020). *Rakennuttaminen*. 6. painos. Rakennustieto Oy. Vaasa 2020. 130 s.

Kankainen J. & Kuoppamäki A. (1999). *Urakan työmaavalvonta*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio, raportti 177. 76 s. ISBN 951-22-4472-1.

Kokko E., Ojanen T., Salonvaara M., Hukka A. & Viitanen H. (1991). Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. Homekriteeristö, tarkastelutasot rakenneosittain. *VTT*. Espoo. 160 s. Saatavilla (viitattu 15.1.2022): <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1999/T1991.pdf>.

Kolb J. (2008). *Systems in Timber Engineering. Loadbearing Structures and Component Layers*. 317 s.

Kordziel S., Pei S., Glass S. & Zelinka S. (2019). Structure Moisture Monitoring of an 8-story Mass Timber Building in the Pacific Northwest. *American Society of Civil Engineers*.

Koskenvesa A., Palolahti T. & Teriö O. (2012). *Rakennustuotannon kosteudenhallinta ja kuiva rakentaminen*. *Rakentajain kalenteri*. Rakennustietosäätiö.

Kosteudenhallinta.fi. Verkkosivusto. Saatavilla (viitattu 15.12.2021): <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/>

Kortelainen M. (2020). Artikkel. *Rakennuslehti*. Saatavilla (viitattu 16.2.2022): <https://www.rakennuslehti.fi/2020/10/karu-kyselytulos-lain-vaatima-kosteudenhallinta-selvitys-puuttuu-yli-80-prosentissa-rakennushankkeita/>.

Kosteus- ja hometalkoot. (2016). Homevaurioituneen rakenneosan puhdistusohje. Saatavilla: <https://www.hometalkoot.fi/file/15921.pdf>.

Kuivaketju10.fi. Verkkosivusto. Saatavilla (viitattu 15.12.2021): <http://kuivaketju10.fi>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. (1999). Ympäristöministeriö. Saatavilla (viitattu 17.2.2022): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Merikallio T. (2005). Rakennustyömaan kosteudenhallinta. Rakentajain kalenteri. Rakennustieto, Helsinki. 6 s.

Merikallio T. (2000). Kosteusmittaus. Rakentajain kalenteri. Rakennustietosäätiö. 7 s.

Olsson L. (2020). Moisture safety in CLT construction without weather protection – Case studies, literature review and interviews. E3S Web of Conferences. Vol 172.

Otten K., Brischke C. & Meyer C. (2017). Material moisture content of wood and cement mortars – Electrical resistance-based measurements in the high ohmic range. Construction & building materials. 2017-10-30. Vol. 153. S. 640–646.

Pesonen R. & Karnaattu, R. (2012). Piilevien kosteusvaurioiden aiheuttamat terveyshaitat. Selvittäminen terveydensuojelulain mukaisilla asunnontarkastuksilla. Opinnäytetyö. Itä-Suomen yliopisto.

Peltonen T. (1988). Rakennustyön valvonta. Tampereen teknillinen korkeakoulu. ISBN 951-721-226-7.

Puuinfo. (2022). Verkkosivusto. ePuu. Hankkeeseen ryhtyminen. Saatavilla (viitattu 10.3.2022): <https://epuu.fi/hankkeeseen-ryhtyminen/>.

Puuinfo. (2021). Artikkelit. Tampere tavoittelee 15 % osuutta puurakentamiselle luovuttamallaan asuinkerrostaloteilla. <https://puuinfo.fi/2021/02/26/tampere-tavoittelee-15-osuutta-puurakentamiselle-luovuttamallaan-asuinkerrostaloteilla/>

Puuinfo. (2020a). Kosteudenhallinta puurakentamisessa. Saatavilla (viitattu 27.9.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/>

Puuinfo. (2020b). Puun kosteuskäyttäytyminen. Saatavilla (viitattu 27.9.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>

Puuinfo. (2020c). RunkoPES 2.0. Saatavilla (viitattu 4.10.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/runkopes-2-0/>

Puuinfo. (2020d). Puutieto. Puun käyttö rakentamisessa. Saatavilla (viitattu 4.10.2021): <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/>

Ratu S-1236. (2021). Olosuhteiden hallinta rakentamisessa. Rakennustietosäätiö. 58 s.

Ratu S-1232. (2013). Rakennustyömaan sääsuojaus. Rakennustietosäätiö. 14 s.

RIL 250-2020. (2020). Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint Oy.

RT 103171. (2019). Talonrakennustöiden työmaavalvonnan tehtäväluettelo. Rakennustietosäätiö. 9 s.

RT 16-10660. (1998). Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998. Rakennustietosäätiö. 20 s.

Sahlstedt S. & Koskenvesa, A. (2016). Kuivava rakentaminen. Opas rakentamisen kosteudenhallintaan. Mittaviiva Oy. Talorakennusteollisuus ry. ISBN 978-952-68565-1-3 (PDF).

Savolainen J. (2020). Rakennuttaminen –kurssin luentomateriaali.

SFS 5978. (2014). Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksien kantavia rakenneosia koskevat säännöt. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto. 37 s.

SFS-EN 1995-1-1. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto. 224 s.

Slávik R., Cekon M. & Štefanák J. (2019). A Nondestructive Indirect Approach to Long-Term Wood Moisture Monitoring Based on Electrical Methods. 16 p.

Tampereen yliopisto. (2022). Suomalainen homemalli. Verkkosivusto. Saatavissa (viitattu 6.3.2022): <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>.

Tolppanen J., Karjalainen M., Lahtela T. & Viljakainen M. (2013). Suomalainen puukerrostalo. Opetushallitus, Puuinfo. ISBN 978-952-13-5541-7.

Topten. (2018). Yhtenäiset käytännöt 117c 01. Kosteudenhallintaselvitys. Merkitys ja sisältö. TOPTEN – Rakennusvalvonnat. 3 s. Saatavilla (viitattu 13.2.2022): <https://www.toptenrava.fi/doc/tulkintakortit/MRL-117c01A.pdf>.

Tuomi & Sarajärvi. (2018). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Tammi. Helsinki.

Van den Bulcke J., Van Acker J. & De Smet J. (2009). An experimental set-up for real-time continuous moisture measurements of plywood exposed to outdoor climate. Building and Environment journal. S. 2368–2377.

Viitanen H. (2011). Puurakenteiden kestoikä. Rakentajain kalenteri 2011. Rakennustietosäätiö. 6 s.

Viitanen H., Vinha J., Salminen K., Ojanen T., Peuhkuri R., Paajanen L. & Lähdesmäki K. (2010). Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures. Journal of Building Physics. 24 s.

Viitanen H. & Ritschkoff A. (1989). Ruskolahon kehittyminen ja leviäminen puurakenteissa. VTT.

Vinha, J. (2019). Rakennusten rakennusfysikaalinen suunnittelu ja toteutus. Saatavilla (viitattu 22.9.2021): https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/1347453/mod_resource/content/2/L1.4%20Rakennusten%20rakennusfysikaalinen%20suunnittelu%20ja%20toteutus.pdf

Vinha J. (2009). Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Rakentajain kalenteri 2009. S. 362–381.

Viljakainen, M. (2020). Kerrostalojen rakennejärjestelmät. Puuinfo.

Viljakainen M. (1997). Puukerrostalo. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Puuinfo.

Wang J. (2016). Guide for On-site Moisture Management of Wood Construction. FPIInnovations.

Weather and climate. Verkkosivusto. Saatavilla (viitattu 25.10.2021): <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,Helsinki,Finland>

Weijo I., Lahdensivu J., Turunen T., Ahola S., Sistonen E., Vornanen-Winqvist C. & Annila P. (2019). Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto. Rakennustieto Oy. Vantaa 2019. ISBN 978-952-361-024-8.

Ympäristöministeriö. (2020). Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet. Puurakentamisen toimenpideohjelma 2016–2022. Saatavissa (viitattu 16.11.2021): https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Julkisen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E_8436_408A_8CD7_510C6C1AD000-161609.pdf/1fc95a52-5c50-4c9b-1f5d-325395658d72/Julkisen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E_8436_408A_8CD7_510C6C1AD000-161609.pdf?t=1603259868530

Ympäristöministeriö. (2017). Asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. Saatavissa (viitattu 13.2.2022): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>.

LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET

Kysymykset rakennuttajille:

1. Kertokaa hieman taustaa itsestänne, yrityksestänne ja puurakennushankkeista, joissa olette olleet mukana.
2. Oletteko olleet tyytyväisiä puurakentamiskohteiden kosteudenhallinnan valvontaan? Perustelut miksi olette tai miksi ette.
3. Mitkä ovat kosteudenhallintaselvityksen tärkeimmät seikat puurakentamiskohdeissa? Käytettävä laadinnassa asiantuntijoita apuna?
4. Vaaditteko, että hankkeissanne on käytössä Kuivaketju10? Onko Kuivaketju10 mielestänne toimiva toimintamalli kosteudenhallintaan puurakentamisessa?
5. Toimiiko valvojan ja kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävien yhdistäminen samalle henkilölle hyvin? Onko mielestänne parempi, että puurakentamiskohteen valvojana toimii eri henkilö kuin kosteudenhallintakoordinaattorina?
6. Onko kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävät mielestänne selkeitä rakennuttajan näkökulmasta? Kaipaatteko ohjeistusta niihin?
7. Mitä mieltä olette puurakentamisen sääsuojauksesta? Sääsuojausvaatimukset urakka-asiakirjoissa.
8. Minkälaisia käytönaikaisia kosteudenhallintaan liittyviä ongelmia olette havainneet puukerrostalokohteissanne? Olisiko ongelmia voinut mielestänne ehkäistä rakennuksen suunnittelussa tai toteutuksessa?
9. Puun yhdistäminen muihin materiaaleihin rakennuttajan näkökulmasta? Onko hybridirakenteissa potentiaalia? Minkälaisia ongelmia ja mahdollisuuksia niissä näette?

Kysymykset arkkitehtisuunnittelijoille:

1. Kertokaa hieman taustaa itsestänne, yrityksestänne ja puurakennushankkeista, joissa olette olleet mukana.
2. Mitä mahdollisuuksia ja haasteita puurakentaminen luo arkkitehtisuunnittelulle? Puun ominaisuuksien huomiointi arkkitehtisuunnittelussa.
3. Miten otatte kosteudenhallinnan huomioon puurakentamisen arkkitehtisuunnittelussa? Tärkeimmät asiat puurakentamisen arkkitehtisuunnittelussa kosteudenhallinnan näkökulmasta.
4. Mikä on ns. suurin kompastuskivi puurakennusten arkkitehtisuunnittelussa?
5. Puurakenteiden kokoonpainumisen huomiointi arkkitehtisuunnittelussa. Mitä rajoitteita tämä asettaa?
6. Hybridirakenteiden suunnittelu arkkitehdin näkökulmasta.
7. Onko Kuivaketju10 mielestänne toimiva toimintamalli kosteudenhallintaan puurakentamisessa?

8. Puurakentamisen eri runkojärjestelmät. Miten eri runkojärjestelmät vaikuttavat kosteudenhallinnan suunnitteluun?

Kysymykset rakennesuunnittelijoille:

1. Kertokaa hieman taustaa itsestänne, yrityksestänne ja puurakennushankkeista, joissa olette olleet mukana.
2. Oletteko tyytyväisiä saamaanne suunnittelunohjaukseen? Onko parannusehdotuksia?
3. Mitkä ovat puurakentamisen kosteudenhallinnan suunnittelun haasteet rakennesuunnittelun näkökulmasta?
4. Puurakenteiden mahdollisen rakennusaikaisen kastumisen huomioon ottaminen suunnittelussa?
5. Puurakenteiden kokoonpainumisen huomiointi rakennesuunnittelussa. Mitä rajoitteita tämä asettaa?
6. Puurakenteiden rakennusaikaisten kosteusvaurioiden korjauksen suunnittelu?
7. Luoko arkkitehtisuunnittelu hyvät lähtökohdat puurakenteiden kosteustekniselle suunnittelulle? Mitä toivoisitte arkkitehtisuunnittelulta?
8. Hybridirakenteiden suunnittelu? Betoni- ja puurakenteiden yhteensovittaminen ja vaikutus kosteudenhallintaan. Toleranssit, höyrönsulun limitys, yms.
9. Mitä rakenneratkaisuja kannattaa välttää puurakennuksissa kosteudenhallinnan näkökulmasta?
10. Onko Kuivaketju10 mielestänne toimiva toimintamalli kosteudenhallintaan puurakentamisessa?
11. Puurakentamisen eri runkojärjestelmät. Miten eri runkojärjestelmät vaikuttavat kosteudenhallinnan suunnitteluun?

Kysymykset kosteudenhallintakoordinaattoreille:

1. Kertokaa hieman taustaa itsestänne, yrityksestänne ja puurakennushankkeista, joissa olette olleet mukana.
2. Mitkä ovat kosteudenhallintakoordinaattorin tärkeimmät tehtävät hankkeen eri vaiheissa?
3. Mitä haasteita kosteudenhallintakoordinointiin liittyy puurakentamisessa?
4. Mitkä ovat kosteudenhallintaselvityksen tärkeimmät seikat, erityisesti puurakentamisessa?
5. Toimiiko valvojan ja kosteudenhallintakoordinaattorin yhdistäminen samalle henkilölle hyvin? Onko mielestänne parempi, että puurakentamiskohteen valvojana toimii eri henkilö kuin kosteudenhallintakoordinaattorina?
6. Kuinka eri suunnittelualojen koordinointi tehdään puurakentamisen kosteudenhallinnan näkökulmasta?
7. Millä tavalla työmaahenkilöstön sitouttaminen kosteudenhallintaan onnistuu?

8. Onko Kuivaketju10 mielestänne toimiva toimintamalli kosteudenhallintaan puurakentamisessa? Kuivaketju10 muokkaus puurakentamiskohteeseen sopivaksi.
9. Mitkä ovat puurakentamisen kosteusriskit? Tyypilliset rakennusvirheet puurakentamisessa? Kosteusriskien ehkäiseminen suunnittelussa ja toteutuksessa.
10. Mitä mieltä olette puurakentamisen sääsuojauksesta? Sääsuojausvaatimukset urakkalaskenta-asiakirjoissa.
11. Puurakenteiden kosteusvaurioituminen rakentamisen ja käytön aikana. Vaurioitumismekanismit.
12. Puurakenteiden rakennusaikaisten kosteusvaurioiden korjaus? Korjausmenetelmät.

Kysymykset urakoitsijoille:

1. Kertokaa hieman taustaa itsestänne, yrityksestänne ja puurakennushankkeista, joissa olette olleet mukana.
2. Puurakentamiskohteen työmaa-aikainen kosteudenhallinta, sen erityispiirteet, haasteet ja resursointi.
3. Puurakentamiskohteen kosteudenhallintasuunnitelman tärkeimmät seikat. Kosteudenhallintasuunnitelman laadinta.
4. Puurakentamiskohteen työmaa-aikaisten kosteusvaurioiden ehkäiseminen, niihin varautuminen ja korjaus.
5. Puurakentamisen sääsuojaus urakoitsijan näkökulmasta.
6. Työmaatoteutusorganisaation yhteistyö hankkeen muiden osapuolten kanssa puurakentamisen kosteudenhallinnan näkökulmasta.

LIITE B: KOSTEUDENHALLINTAKOORDINOINTI KORKEAN PUURAKENTAMISEN ERITYISPIIRTEET HUOMIOIDEN

SITOWISE

Kosteudenhallintakoordinointi huomioiden
puurakentamisen erityispiirteet ja
Kuivaketju10 mukaiset toimenpiteet
15.3.2022

1/6

Tässä ohjeessa kerrotaan kosteudenhallintakoordinaattorin yleiset toimenpiteet, Kuivaketju10 –toimintamallin mukaiset toimenpiteet ja puurakentamisen tuomat erityispiirteet kosteudenhallintaan.

1 Kosteudenhallintakoordinoinnin tarkoitus

Kosteudenhallintakoordinaattorin osalta kosteudenhallintaprosessi alkaa hankkeen tilaamisvaiheessa ja päättyy rakennuksen käytön vaiheeseen. Kosteudenhallintakoordinoinnilla pyritään estämään kosteusvaurioiden syntyminen vaikuttamalla kosteudenhallinnan toimenpiteiden suorittamiseen rakennusprosessin eri vaiheissa. Yleisesti kosteudenhallintakoordinaattori toimii rakennushankkeessa hankkeen eri osapuolia tukevana, ohjaavana ja valvovana asiantuntijana.

2 Koordinoinnin vastuut ja tehtävät

Kosteudenhallintakoordinoinnista vastaa siihen nimetty asiantuntija koko hankkeen ajan. Kosteudenhallintakoordinaattori toimii hankkeessa YMa 782/2017 tarkoittamana kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavana henkilönä. Koordinaattori toimii hankkeessa joko itse rakentamansa toimintamallin tai Kuivaketju10 –toimintamallia soveltaen.

2.1 Tilaamisvaihe

Hankkeen alkuvaiheessa kosteudenhallintakoordinaattorin tärkein tehtävä on ohjata ja tukea hankkeen tilaajaa ja opastaa hänelle kuuluvien tehtävien suorittamista kosteudenhallinnan näkökulmasta.

Keskeinen hankeasiakirja kosteudenhallinnan kannalta on kosteudenhallintaselvitys. Kosteudenhallintaselvitys laaditaan suunnittelutarjouspyyntöjen liitteeksi ja sitä käytetään suunnittelunohjauksessa apuna. Jos hankkeessa käytetään Kuivaketju10 –toimintamallia, kirjataan se kosteudenhallintaselvitykseen. Suunnittelun edetessä kosteudenhallintaselvitystä voidaan tarkentaa, jotta se on riittävän tarkasti määriteltä urakatarjouspyyntöjä varten.

Kosteudenhallintaselvityksen sisältö pääotsikkotasolla:

1. Hankkeen yleistiedot.
2. Kosteudenhallinnan henkilöresurssit sekä heidän tehtävänsä ja vastuunsa.
3. Konkreettiset vaatimukset hankkeen kosteudenhallintaan.
4. Toimenpiteet ja menettelyt asetettujen kosteudenhallintavaatimusten varmentamiseen.

Puurakentamisen tuomat erityispiirteet:

Puurakentamisessa on entistä tärkeämpää

- päästä hankkeeseen ajoissa mukaan
- määritellä tavoitteet ja vaatimukset tarkasti
- kiinnittää huomiota urakkaohjemaan ja urakkarajaliitteeseen.

Kosteudenhallintaselvitykseen liittyen puurakentamisessa oleellisia asioita, joihin on kiinnitettävä huomiota, ovat

- kosteusriskien arviointi ja huomiointi suunnittelussa ja toteutuksessa
- sääsuojauksen ja olosuhdehallinnan tarkka määrittely
- rakentamisaikataulun huomiointi (sääolosuhteet)

- kosteudenhallinnan tavoitteet ja konkreettiset vaatimukset.

Tilaamisvaiheen tehtävät Kuivaketju10 –toimintamallissa

Kuivaketju10 –toimintamallia käytettäessä tilaamisvaiheessa varmistetaan, että Kuivaketju10:n käyttäminen on esitetty pakollisena vaatimuksena suunnittelutarjouspyynnöissä ja -sopimuksissa sekä urakkatarjouspyynnöissä ja -sopimuksissa.

Koordinaattori täydentää riskilistan ja todentamisohjeen hankkeen erityispiirteiden mukaisesti. Tarkennettu riskilista ja todentamisohje liitetään tarjouspyyntöihin. Kosteudenhallintakoordinaattori arvioi myös, onko hankkeen kokonaisuikataulu realistinen.

2.2 Suunnitteluvaihe

Rakennuksen suunnitteluvaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori tekee suunnittelun ohjausta ja osallistuu suunnitelmien tarkastamiseen kosteusturvallisuuden näkökulmasta. Suunnitelmien sisältö on koordinoitava siten, ettei niihin jää rakennusfysikaalisia puutteita tai ristiriitoja.

Tärkeää on myös varmistaa hankkeen kosteusriskien kartoitus ja niiden huomiointi suunnitelmissa. Koordinaattorin on varmistettava, että kosteudenhallinnan vaatimukset ja toimenpiteet, jotka rakennuttaja (koordinaattorin ohjeistamana) on asettanut kosteudenhallinnan riskien toteutumisen estämiseksi, löytyvät selkeästi määriteltyinä sekä suunnitelmista että muista tarjouspyyntöasiakirjoista.

Puurakentamisen tuomat erityispiirteet

Puurakennuksen suunnitteluvaiheessa on kiinnitettävä erityisesti huomiota

- puuelementtien kuljetuksen ja nostojen reunaehdot (tilaelementit)
- elementtiliitosten riittävään suunnitteluun
- suunnitelmien yhteensovittamiseen
- kosteusrasitettujen tilojen sijoitteluun
- sprinklerjärjestelmän valintaan
- ulkovaipan, ulokkeiden ja tuuletuksen detaljisuunnitteluun
- rakennustuotteiden soveltuvuuteen
- säälle alttiiden rakenteiden suunnitteluun
- rakennuksen huollettavuuteen.

Suunnitteluvaiheen tehtävät Kuivaketju10 –toimintamallissa

Suunnitteluvaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori osallistuu suunnittelukokouksiin ja ohjaa suunnitteluvaiheessa Kuivaketju 10 –toimintamallin toteutusta. Kosteudenhallintakoordinaattori perehdyttää suunnittelijat toimintamalliin ja opastaa sähköisen järjestelmän käyttöön.

Kosteudenhallintakoordinaattori kommentoi suunnitelmia kosteusteknisen toimivuuden näkökulmasta, sekä tarkastaa suunnittelijoiden tekemän Kuivaketju10 –toimintamalliin liittyvät suunnittelutehtävät.

Kuivaketju 10 –suunnittelutehtävien tarkastukset kuitataan Kuivaketju 10-sähköisessä järjestelmässä toimintamallin mukaisesti.

Suunnitteluvaiheessa järjestetään tarvittaessa kosteudenhallintakoordinaattorin johdolla palaveri Kuivaketju 10 –toimintamallin edistymisestä.

2.3 Työmaavaihe

Toteutusvaiheessa työmaahenkilöstö perehdytetään suunnitelmiin ja niiden toteutuksen kosteusriskeihin sekä kosteudenhallinnan toteutuksen toimenpiteisiin. Perehdytyksessä sovitaan yhteiset toimintatavat, joilla hallitaan riskikohtien toteutus ja todennetaan niiden suunnitelmien mukaisuus. Koordinaattori hyväksyy kosteudenhallinnan dokumentointia ja todentamista suorittavat henkilöt sekä suorittaa todentamista myös itse.

Työmaakäynneillä havaitut kosteudenhallinnan epäkohdat nostetaan esille ja ratkaistaan heti tai viedään työmaakokoukseen. Kosteudenhallinnan laiminlyöntiin tai sovitusta poikkeavaan toimintaan on velvollisuus puuttua. Koordinaattorin on oltava työmaakerroksilla läsnä työntekijöiden tasolla asti ja annettava konkreettisia neuvoja ja toimintatapoja kosteudenhallinnan toteutukseen.

Työmaa-aikainen riskienhallinta ja etukäteen asioihin puuttuminen ovat kosteudenhallinnassa keskeistä. Kosteusvaurioiden ehkäisemisen kannalta olennaisessa roolissa on työmaan kosteudenhallintasuunnitelma. Koordinaattori hyväksyy työmaan tekemän kosteudenhallintasuunnitelman. Työmaalle on oltava nimetty henkilö, joka vastaa kosteudenhallinnasta. Henkilöllä on oltava riittävät resurssit sen suorittamiseen.

Tyypillisiä työmaa-aikaisia kosteusriskejä ovat

- rajapintojen ja liittymien toteutus
- kondenssin aiheutuminen
- kosteuden nousut
- sääolosuhteet
- erilaisten läpivientien toteutus.

Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö voi olla yleisesti esimerkiksi seuraavanlainen:

1. Yleistiedot
2. Laatutavoitteet
3. Kosteusriskit ja vesivahinkojen torjunta
4. Kuivumisajat ja rakenteiden kuivatus
5. Olosuhdehallinta ja kuivumisolosuhteet
6. Erityistilojen huomiointi
7. Kosteusmittaukset
8. Hankkeen erityispiirteet

Puurakentamisen tuomat erityispiirteet

Puurakentamisen tuomia erityispiirteitä ovat

- kosteusriskit
 - erilaiset sääsuojat ja niiden käyttö
 - kerrokselliset rakenteet
 - rakennusaikaiset vauriot ja niiden korjaus
- kerroksellisten rakenteiden kosteudenseuranta (langattomat kosteudenseurantalaitteet)

- materiaalien tai tilaelementtien kuljetuksen ja säilytyksen aikainen suojaus ja niiden tuuletuvuus
- elementtien asennus ja elementtiliitosten toteutus
- kosteusvaurioiden ehkäiseminen, korjaus ja todentaminen.

Työmaavaiheessa on kiinnitettävä huomiota sääsuojauksen toteutuksen toimivuuteen, elementtien asennuksen suorittamiseen ja elementtiliitosten toteuttamiseen. Erityisenä huolenaiheena on rakennusosien rakennusaikainen kastuminen, kosteusvaurioiden syntyminen sekä vaurioiden korjaaminen, korjausten todentaminen ja varmentaminen. Heti kosteudelle altistumisen jälkeen on varmistettava, ettei rakenne pääse enää kastumaan ja rakenne on kuivatettava mahdollisimman nopeasti. Tarkkaavaisuutta vaativat etenkin kerroksellisten rakenteiden ja puurakenteisten välipohjien kuivattaminen, korjaus ja korjausten todentaminen. Massiivisten puurakenteiden kuivaus on tapahduttava hallitusti vähitellen olosuhteita muuttamalla, jotta vältetään halkeamien syntymiseltä.

Puurakentamisessa kosteudenhallintasuunnitelman on katettava koko puurakenteiden prosessi eli puuosien valmistus, puuosien asennus ja valmis rakennus. Kosteudenhallintasuunnitelman sisältö puurakentamishankkeessa:

1. Kohteen perustiedot.
2. Hankkeessa käytettävät puumateriaalit ja -tuotteet.
3. Puutavaran, puuelementtien ja rakennusosien tavoitekosteus tehdasvalmistuksen eri vaiheissa.
4. Puutavaran, puuelementtien ja rakennusosien tavoitekosteus työmaalle tuotuna, asennuksen aikana ja valmiina rakenteena.
5. Vastaanottotarkastukset ja vastuuhenkilöt.
6. Rakentamisen aikaiset kosteuslähteet.
7. Puurakenteiden suojaustaso.
8. Puun suojausmenetelmät työmaalla.
9. Rakenteiden hallittu kuivaus rakennuksen käyttöolosuhteisiin.
10. Kosteusmittausuunnitelma.

Puurakentamisessa tarpeen mukaan on suositeltavaa käyttää langattomia jatkuvia kosteudenseurantalaitteita (esim. Wiiste Oy), jotka ovat hyödynnettävissä myös käytön aikana. Kosteudenseurantalaitteiden avulla saadaan tietoa rakenteiden kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta sekä niiden vaihteluista. Laitteita voi hyödyntää etenkin kerroksellisten rakenteiden seurannassa. Pinnoltaan valmiiden rakenteiden mittaustureiden asennus joudutaan tekemään jo elementtitehtaalla.

Työmaavaiheen tehtävät Kuivaketju10 –toimintamallissa

Työmaavaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori suorittaa työmaalla kosteudenhallintaan liittyviä valvontakäyntejä noin kerran kuukaudessa. Valvontakäynneillä seurataan Kuivaketju 10 -toimintamallin toteutumista ja hankkeen riskilistan mukaisia asioita. Valvontakäynneistä laaditaan valvontaraportit.

Kosteudenhallintakoordinaattori perehdyttää pääurakoitsijan työmaan todentamisohjeeseen ja niitä vastaaviin suunnitelmiin. Tarvittaessa koordinaattori käyttää perehdytyksessä suunnittelijoiden apua hankkeen laajuus huomioiden. Koordinaattori huolehtii, että pääurakoitsija perehdyttää kaikki työmaan työntekijät Kuivaketju10:iin ja sen riskilistaan työmaaperehdytyksen yhteydessä. Koordinaattori myös ohjeistaa pääurakoitsijaa Kuivaketju10 –perehdytyksen sisältöön.

Koordinaattori varmistaa, että riskejä sisältävien työvaiheiden onnistunut toteutus todennetaan urakoitsijan tarkistuslistan mukaisesti. Pääsääntöisesti todentamisen ja dokumentoinnin hoitaa pääurakoitsijan työntekijä, joka hyväksytetään kosteudenhallintakoordinaattorilla. Jos työvaiheiden toteutuksessa, todentamisessa ja dokumentoinnissa havaitaan puutteita, koordinaattori huolehtii, että jatkotoimenpiteistä sovitaan.

Kuivaketju10 toteutusta työmaalla seurataan koordinaattorin toimesta seuraavasti:

- Koordinaattori tekee työmaakerroksia, joilla seurataan Kuivaketju10:n toteutumista. Työmaakerrokset dokumentoidaan.
- Huolehditaan, että Kuivaketju10:n toteutuksen tilanne on jokaisella työmaakokouksen asialistalla.
- Kosteudenhallintakoordinaattori osallistuu työmaakokouksiin.
- Kuivaketju10:n toteutuksen tilannetta käsitellään urakoitsijapalaverissa.

2.4 Käyttöönottovaihe ja rakennuksen käyttö

Käyttöönottovaiheessa kosteudenhallintakoordinaattori ottaa kantaa siihen, että rakennus on terveellinen sekä kosteusteknisesti suunnitelmien mukaisesti toimiva. Koordinaattori tekee siitä selvityksen ja käyttää apunaan aiemmin tehtyjä kosteudenhallinnan todentamisen dokumentteja. Koordinaattori myös hyväksyy tarkastusasiakirjassa olevat kosteudenhallinnan toimenpiteet.

Rakennuksen toimivan käytön edellytyksenä on, että käyttöönotossa käytönaikaisen kosteusteknisen toiminnan edellyttämät tiedot välittyvät rakennuksen ylläpitäjille ja omistajille. Koordinaattori osallistuu käytönopastukseen ja perehdytykseen hankkeen laajuuden mukaisesti. Koordinaattorin tehtävä on myös dokumentoida käytönopastus ja varmistaa, että rakennus on otettu käyttöön asianmukaisesti.

Puurakentamisen tuomat erityispiirteet

- Erityisten tilojen, suunnitelmista poikkeaminen toteutuksessa tai muiden erityistekijöiden huomiointi käytönopastuksessa.

Käyttöönottovaiheen tehtävät Kuivaketju10 –toimintamallissa

Käyttöönottovaihe jakautuu Kuivaketju10 mukaisesti kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa todennetaan Kuivaketju10:n toteutumista samaan tapaan kuten edellä mainitussa työmaavaiheessa. Ensimmäisen vaiheen lopuksi huolehditaan, että rakennuksen huoltokirja sisältää tarvittavan Kuivaketju10 sisällön ja huoltohenkilökunta perehdytetään. Perehdytyksessä keskitytään merkittävimpiin käytönaikaisiin ylläpitoriskeihin ja niiden perusteisiin. Perehdytyksen jälkeen rakennuksen käyttäjät ja huoltohenkilökunta tuntee toimenpiteet, joilla pidetään rakennus kunnossa ja terveellisenä. Kosteudenhallintakoordinaattori huolehtii, että perehdytys dokumentoidaan.

Käyttöönoton toinen vaihe sisältää arvioinnin Kuivaketju10 –toimintamallin toteutuksesta. Arviointi perustuu koordinaattorin seurantaan ja raportointiin sekä urakoitsijan tarkistuslistan mukaiseen dokumentointiin. Loppuyhteenvedon Kuivaketju10 toiminnasta tehdään raportti, jossa käsitellään toimintamallin onnistumista. Mahdolliset poikkeamat riskikohtien toteutuksessa suunniteltuun nähden todetaan perustellusti merkityksettömäksi tai niille esitetään käytön aikaiset seuranta-toimenpiteet.

Loppuraportin ja muiden hankkeessa tehtyjen raporttien myötä kohteelle haetaan Kuivaketju10-status. Käytön aikana Kuivaketju10-statusen säilyminen edellyttää toimintamallin toteutumisen arviointia. Ensimmäinen arviointi suoritetaan, kun kohteen takuuajan päättymisestä on kulunut kaksi vuotta. Kuivaketju10-statusen uudelleenarviointi on vapaaehtoista ja sen suorittamisesta sovitaan erikseen.

3 Dokumentointi

Dokumentoinnin tarkoituksena on asioiden kirjaaminen ja tallentaminen myöhempää käyttöä varten. Dokumentointi tapahtuu pääsääntöisesti raporttien avulla. Valvonnasta tehdään raportit, joihin sisällytetään havainnot ja valokuvat työmaakäynneistä.

Kuivaketju10 käytettäessä raportointi suoritetaan hankkeen kaikissa vaiheissa järjestelmän raporttien mukaisesti. Hankkeeseen otetaan käyttöön Kuivaketju10:n sähköinen järjestelmä, jossa toteutetaan Kuivaketju10 –todentaminen ja raportointi.

4 Muut valvontaan liittyvät tehtävät

4.1 Työmaakokoukset

Rakennuskohteessa on urakkaohjelman mukaisesti sovittu työmaakokouksen pidettäväksi tietyn ajan välein.

Kosteudenhallintakoordinaattori osallistuu työmaakokouksiin.

4.2 Muut kokoukset

Kosteudenhallinnasta pidetään erilliset kokoukset hankkeen eri vaiheissa. Kokouksissa seurataan kosteudenhallinnan toimenpiteiden tai Kuivaketju 10 -toimintamallin edistymistä ja kosteudenhallintakoordinaattori toimii kokousten puheenjohtajana.

Sitowise Oy

Tampere 15.3.2022

Samuli Viljakainen

Lähteet

- Viljakainen, S. 2022. Diplomityö. Puurakentamisen kosteudenhallinnan valvonnan kehittäminen. Tampereen yliopisto. + diplomityön lähteet (kts. diplomityön lähdeluettelo).
- Kuivaketju10 – ohjekortit.