

**Ilman sääsuojaa rakennettavien puurakennusten
kosteusvaurioitumisen estäminen ja lisätutkimustarpeet**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Syksy, 2020

Juho Viljanen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mitä tutkimuksia insinööripuutuotteiden kosteuskäyttäytymisestä on tehty ja millaisilla tutkimuksilla puurakentamisen kosteudenhallintaa voitaisiin kehittää. Opinnäytetyön tilaaja on Sweco Asiantuntijapalvelut Oy. Opinnäytetyön aihe valittiin siksi, että saataisiin tietoa siitä, miten puurakentamisen kosteudenhallintaa olisi mahdollista kehittää. Puurakentamisen kasvamisen vuoksi aihe on ajankohtainen.

Työssä käytettiin tutkimusmenetelminä kirjallisuus-, kysely- ja tapaustutkimusta. Kirjallisuustutkimuksen avulla kerättiin tutkimustietoa eri insinööripuutuotteiden kosteusteknisestä käyttäytymisestä. Kyselytutkimuksen avulla myös teetettiin kysely alalla työskenteleville asiantuntijoille puurakenteiden tutkimusten nykytilasta ja puurakentamisen kehittämistä. Tapaustutkimuksen avulla tarkasteltiin Swecon toteutuneita case-kohteita.

Opinnäytetyössä selvisi asiantuntijoiden ajatukset ja mielipide puurakenteiden tutkimusten nykytilasta. Lisäksi saatiin selville keskeiset aiheet lisätutkimustarpeista sekä kehitysideoita puurakentamisen ja kosteudenhallinnan parantamiseksi.

Avainsanat Kosteudenhallinta, insinööripuutuote, puurakenteet, kosteusvaurio

Sivut 55 sivua ja liitteitä 1 sivu

Author Juho Viljanen

Year 2020

Subject The prevention of and additional research needs for moisture damage in timber construction built without weather guard

Supervisors Anssi Knuutila (HAMK) and Heli Hakamäki (SWECO)

ABSTRACT

The objective of this Bachelor's thesis is to find out what kinds of studies have been conducted on engineered wood products moisture behavior and what kind of studies should be done to improve moisture control in timber construction. The Bachelor's thesis was ordered by Sweco Asiantuntijapalvelut Oy. This topic was selected so we could get information about how we can improve timber constructions moisture control. This subject is current because timber construction is increasing.

The research methods used in this thesis are literature, case, and inquiry study. With literature study, I gather research material about moisture behavior of different engineered wood products. With case study I inspect Sweco's old cases. With inquiry study I send an inquiry to experts in this field about the state of research and future development of wooden structures.

This Bachelor's thesis transpired experts' thoughts and opinions about the state of research done on wooden structures. In addition, some key topics for further research were discovered as well as ideas to improve timber construction and moisture control.

Keywords Moisture control, engineered wood product, wooden structure, moisture damage

Pages 55 pages and appendices 1 page

Sisälllys

Käsitteet.....	1
1 Johdanto	4
2 Kosteudenhallinta.....	5
2.1 Kosteudenhallintasuunnitelma	6
2.2 Rakentamisvaiheen kosteudenhallinta.....	6
2.3 Puurakenteiden kosteudenhallinta.....	8
3 Puurakentaminen Suomessa	9
3.1 Puurakentaminen taloudellisena ja ekologisena vaihtoehtona	9
3.2 Puu rakennusmateriaalina	10
3.3 Kosteuden vaikutus puuhun	11
3.4 Puun suojaus- ja kuivausmenetelmät.....	13
4 Tutkimuskysymykset ja -menetelmät	14
4.1 Tutkimuskysymykset	14
4.2 Tutkimusmenetelmät.....	14
5 Tutkimusten toteuttaminen ja tulokset	15
5.1 Kirjallisuustutkimus.....	16
5.1.1 Rakennesahatavara	16
5.1.2 Liimapuu.....	18
5.1.3 LVL, Viilupuu.....	19
5.1.4 Rakenteellinen kuusivaneri	20
5.1.5 CLT, Monikerroslevy.....	21
5.1.6 Yhteenveto kirjallisuustutkimuksesta	23
5.2 Kyselytutkimus	23
5.2.1 Puurakenteiden kosteusteknisten tutkimusten nykytila	24
5.2.2 Puurakenteiden kuivana pysyminen rakentamisen aikana	24
5.2.3 Tarvittavat tutkimukset kosteuden vaikutuksesta puurakenteisiin ..	25
5.2.4 Yhteenveto kyselytutkimuksesta	26
5.3 Tapaustutkimus.....	26
5.3.1 Tapaustutkimuskohde 1.....	27
5.3.2 Tapaustutkimuskohde 2.....	30
5.3.3 Tapaustutkimuskohde 3.....	33
5.3.4 Tapaustutkimuskohde 4.....	38
5.3.5 Yhteenveto tapaustutkimuksista	39

6	Tulosten analysointi	40
6.1	Kirjallisuustutkimuksen analysointi	40
6.2	Kyselytutkimuksen analysointi.....	41
6.3	Tapaustutkimuksen analysointi	42
7	Tulosten tulkinta.....	44
7.1	Kuinka kauan puu saa kastua työmaaolosuhteissa, ennen kuin se alkaa homehtumaan.....	44
7.2	Mitä tutkimuksia puurakentamisen kosteudenhallinta vaatii tulevaisuudessa	46
8	Pohdinta	48
9	Yhteenveto	49
	Lähteet.....	51

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1	Standardin SFS 5978 mukaiset suojaustasot (Puuinfo, 2020d).....	8
Kuva 2	Suuntaa antava arviointi sydänpuun luontaisesta lahonkestävyydestä (Viitanen, 2019, s. 23)	12
Kuva 3	Kosteuspitoisuuden muutos tutkimuksen aikana (Sandberg, 1996, s. 1)	17
Kuva 4	Puiden halkeaminen ennen ja jälkeen kastelujaksoa (Sandberg, 1996, s. 2).....	17
Kuva 5	Eri testiryhmien kosteusolosuhteet ja sen kesto ennen testiä (Sundström, Kevarinmäki, Fortino & Toratti, 2011, s. 26)	18
Kuva 6	Liimapuupalkki leikkauslujuustestissä. (Sundström, Kevarinmäki, Fortino & Toratti, 2011, s. 29).	19
Kuva 7	CLT-elementit hallirakennuksen seinärakenteena (McClung, Ge, Straube & Wang, 2014, s. 4)	21
Kuva 8	CLT-elementin rakennetyyppi (McClung, Ge, Straube & Wang, 2014, s. 4).....	22
Kuva 9	CLT-elementin kuivuminen	23
Kuva 10	Vesikaton puurakenne. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto)	28
Kuva 11	Ulkoilman olosuhteet vesikaton rakentamisen aikana. Mittauspisteen latitudi = 60.32670 (Ilmantieteen laitos, 2020)	29
Kuva 12	Muovitettu räystäsrakenne viistosateen suojana. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto).....	31

Kuva 13 Ulkoilman olosuhteet vesikaton rakentamisen aikana. Mittauspisteen latitudi = 60.20307 (Ilmantieteen laitos, 2020)	32
Kuva 14 Lammikoitunut vesi yläpohjarakenteen kermin päällä. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto).....	34
Kuva 15 Vesikattorakenteen alasidepuun kosteusmittaus. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto).....	35
Kuva 16 Ulkoilman olosuhteet vesikaton rakentamisen aikana. Mittausaseman latitudi = 60.96211 (Ilmantieteen laitos, 2020)	37
Kuva 17 Kattokannattajien mikrobinäytteiden kohdat. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto).....	38
Kuva 18 Puhtaaksi höylätyn kattokannattajan mikrobinäyte kohta. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto).....	39

Liitteet

Liite 1	Kyselytutkimuksen kyselylomake
---------	--------------------------------

Käsitteet

CLT	CLT eli Cross Laminated Timber, on kantaviin rakenteisiin tarkoitettu massiivipuulevytuote, joka koostuu toisiinsa liimatuista päällekkäisistä lautalevykerroksista, jotka ovat toisiinsa nähden ristikkäin.
GLVL	GLVL eli kerrannaisliimattu viilupuu, on lujuusluokiteltu kantaviin rakenteisiin tarkoitettu tuote.
Insinööripuutuote	Insinööripuutuote tarkoittaa puusta liimaamalla valmistettuja komponentteja. Insinööripuutuotteita ovat liimapuu, LVL, CLT, NLT, MHM ja DLT.
Kosteudenhallintakoordinaattori	Kosteudenhallintakoordinaattori toimii rakennushankkeessa hankkeeseen ryhtyvän tai urakoitsijan edustajana. Hänen tehtävänä on valvoa ja ohjata rakennushankkeen kosteudenhallinnan toteutumista koko rakentamisprosessin ajan.
Kuivaketju10	Kuivaketju10 on kokonaisvaltainen toimintamalli, jonka avulla pyritään estämään kosteusvaurioiden syntyminen kaikissa rakennusprosessin eri vaiheissa.

Kuusivaneri	Kuusivaneri koostuu ristikkäin toisiinsa liimatuista päällekkäisistä viiluista. Kuusivanerilevyjä on saatavilla erilaisilla suojakäsittelyillä varustettuna, jolloin levy hylkii kosteutta ja likaa.
Latitudi	Leveysaste.
Liimapuu	Liimapuu on lujuusluokiteltu kantaviin rakenteisiin tarkoitettu tuote. Se koostuu toisiinsa liimatuista päällekkäisistä saman suuntaisista lamelleista. Raaka-aineena käytetään kuusi- tai mäntysahatavaraa.
Loggeri	Dataloggeri on pienikokoinen ja edullinen tiedon kerääjä, jolla lämpötilan ja kosteuden seuranta onnistuu monenlaisista paikoista.
LVL	LVL eli viilupuu, on lujuusluokiteltu kantaviin rakenteisiin tarkoitettu tuote, joka koostuu toisiinsa liimatuista päällekkäisistä sorvaamalla valmistetuista viiluista. Raaka-aineena käytetään kuusitukkeja.
MHM	MHM eli massiivipuulementti, joka muodostuu ristikkäin ladotuista lautakerroksista, jotka kiinnitetään yhteen alumiininauloilla.
MN	Materiaalinäyte.
ng	Nanogramma.
Pa	Pascal eli paine, jonka yhden Newtonin voima aiheuttaa kohdistuessaan neliömetrin pinta-alalle.
p-%	Painoprosentti. Puun kosteutta ilmaistessa tämä tarkoittaa puun kosteutta prosentteina puun kuivapainoon verrattuna.

Rakennesahatavara	Rakennesahatavara on kantaviin rakenteisiin tarkoitettua mitallistettua ja lujuusluokiteltua sahatavaraa. Raaka-aineena käytetään kuusi- tai mäntysahatavaraa.
RH%	Ilman suhteellinen kosteusprosentti. Ilmaisee tarkasteltavassa lämpötilassa absoluuttisen kosteuden suhteen ja ilman kyllästyskosteuden suhteen.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on puurakenteiden kosteusvaurioituminen ja puurakentamisen kosteudenhallinnan kehittämistarpeiden määrittäminen. Suomessa on tavoitteena kasvattaa puurakentamista ja siksi tietoa puurakenteiden kosteusvaurioitumisesta tarvitaan lisää.

Puurakenteista on paljon kokemuspäistä tietoa mutta tehdyt tutkimukset ovat pääsääntöisesti keskittyneet puurakenteiden lujusteknisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksia ei juurikaan ole tehty siitä, kuinka paljon ja kuinka pitkään puurakenne saisi kastua ennen kuin sen kosteudesta johtuva vaurioituminen alkaa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on löytää vastaukset kysymyksiin; kuinka kauan puu saa kastua työmaaolosuhteissa, ennen kuin se alkaa homehtumaan ja mitä tutkimuksia puurakentamisen kosteudenhallinta vaatii tulevaisuudessa. Kysymyksiin pyritään saamaan vastaukset käyttämällä kirjallisuus-, kysely- sekä tapaustutkimusta. Kirjallisuustutkimuksen avulla selvitetään, minkälainen vaikutus kosteudella on eri insinööripuutuotteisiin sekä kuinka paljon aiheutta on tutkittu.

Tutkimustietoa etsitään kirjallisuudesta, eri tutkimuslaitosten tietokannoista sekä internetistä. Kyselytutkimuksen avulla selvitetään asiantuntijoiden mielipide puurakenteiden tutkimusten nykytilasta ja niiden sallitusta kastumisesta. Lisäksi kysytään mitä tutkimuksia puurakenteista heidän mielestään tulisi tehdä puurakentamisen kosteudenhallinnan kehittämiseksi.

Kyselytutkimus lähetettiin puurakenteiden parissa työskenteleville asiantuntijoille.

Tapaustutkimuksen avulla perehdytään toteutuneisiin erilaisiin puurakenteisiin sisältäviin kohteisiin, joissa Sweco Asiantuntijapalvelut Oy on toiminut kosteudenhallintakoordinaattorin tai laadunvarmistuksen tehtävissä. Tapaustutkimuskohteiden aineisto kerätään kosteudenhallintakierrosten raporteista sekä hankkeiden väli- ja loppuraporteista.

Opinnäytetyön tilaajana on Sweco Asiantuntijapalvelut Oy. Swecon toimenkuvaan kuuluu mm. rakennesuunnittelu sekä uudis- ja korjausrakentamisen asiantuntijapalvelut kuten rakennusfysikaaliset selvitykset, sisäilma- ja kosteustekniset kuntotutkimukset ja kosteudenhallinnan konsultointi. Sweco tarvitsee tietoa aiheesta koska heidän mielestään puurakenteiden sallitun kastumisen raja-arvot tulisi määrittää tarkemmin, jotta suunnittelun ja tuotannon puolella osataan suunnitella sopivat sekä taloudelliset sääsuojaustavat. Työmaalla

tapahtuu rakenteiden odottamatonta kastumista, joten lisätietoa tarvitaan puutuotteiden korjaustoimenpiteiden määrittämistä varten.

Opiskellessani rakennusinsinööriksi kiinnostuin rakenteiden rakennusfysikaalisesta käyttäytymisestä. Pääsin Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:lle töihin kesäksi 2020 ja siellä opin aiheesta paljon uutta. Swecolla tutustuin kosteudenhallintaan konsultin näkökulmasta, kun pääsin mukaan kosteudenhallintakierroksille. Pääsin myös tekemään erilaisia kosteusmittauksia. Kesällä esimieheni ehdotti minulle tätä aihetta opinnäytetyön aiheeksi ja kiinnostuin siitä heti. Aihe on ajankohtainen ja opinnäytetyöni toimii osana puurakentamisen kehittämistä.

2 Kosteudenhallinta

Kosteudenhallinta alkaa hankkeen suunnittelusta ja se jatkuu rakennuksen elinkaaren loppuun saakka. Sen toteutumista valvoo rakennushankkeen aikana kosteudenhallintakoordinaattori. Kosteudenhallintaan pitää osallistua ja sitoutua rakennushankkeessa sen eri osapuolet.

Rakennuksen home- ja kosteusongelmaan on monia eri syitä ja usein se on monen tekijän summa. Ongelma voi syntyä hankkeen ohjauksessa, suunnittelussa, rakentamisvaiheessa, rakennuksen ylläpidossa tai käyttäjän aiheuttamista vaurioista, joita ei ole korjattu oikein. Kosteusteknisesti oikein toimiva ja kosteusvarma rakennus luodaan mm. hyvällä ja asiantuntevalla suunnittelulla sekä huolellisella toteutuksella ja riittävällä valvonnalla. (Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2020, s. 12)

Kosteudenhallintaa ohjaa ja valvoo kosteudenhallintakoordinaattori.

Kosteudenhallintakoordinaattori toimii rakennushankkeeseen ryhtyvän edustajana ja se voi olla rakennushankkeeseen ryhtyvän omasta organisaatiosta tai ulkopuolisesta tahosta.

(Kosteudenhallinta, n.d.a) Kosteudenhallintakoordinaattorin toimii rakennuttajan ”oikeana kätenä” valvomassa, ohjaamassa ja varmentamassa hankkeen kosteudenhallinnan onnistumisessa rakennuttajan edellyttämällä tavalla. Kosteudenhallintakoordinaattorin tehtäviin kuuluu myös suunnitelmien tarkastus kosteusturvallisten suunnitteluratkaisujen näkökulmasta. Suunnitelmissa

täytyy myös ottaa huomioon eri suunnittelualojen suunnitelmat siten, ettei niihin jää rakennusfysikaalisia ristiriitaisuuksia. (Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2020, ss. 67–68).

Rakennushankkeen kosteudenhallintaprosessilla hallitaan rakennuksen kosteusteknistä suunnittelua ja rakennusaikaisia kosteusrasituksia. Kosteudenhallintaprosessi ei lopu rakennuksen valmistuttua, vaan jatkuu oikeilla ylläpito- ja käyttötavoilla. Kosteudenhallintaprosessin perustana ovat tilaajan asettamat laatutavoitteet. (Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2020, s. 25)

2.1 Kosteudenhallintasuunnitelma

Ympäristöministeriö on antanut asetuksen rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Asetuksen mukaan vastaavan työnjohtajan on huolehdittava työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatimisesta ja sen on pohjauduttava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen (Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017 § 13.).

”Työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaan on sisällyttävä tieto toimenpiteistä, joilla rakennusaineet ja -tuotteet sekä rakennusosat suojataan sään aiheuttamilta tai työmaan olosuhteista johtuvilta haittavaikutuksilta sekä toimenpiteistä, joilla rakennusaineiden ja -tuotteiden sekä rakennusosien kosteudensuojaus toteutetaan ja rakenteiden kuivuminen varmistetaan.” (Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä 216/2015 § 15.) Yleisimmin tarvittavat tiedot kosteudenhallintasuunnitelmassa ovat tieto sääsuojauksesta kuljetusten, varastoinnin ja rakentamisen aikana sekä pakkaselta suojaamisesta valutöiden aikana. Kosteudenhallinnalla sekä työmaan aikaisella rakenteiden ja rakennusosien suojauksella on iso merkitys rakennuksen käytön terveellisyyteen. (Ympäristöministeriö, 2015)

2.2 Rakentamisvaiheen kosteudenhallinta

Ennen rakentamisvaiheen kosteudenhallintaa tulee työmaasta luoda kosteudenhallintaselvitys. Kosteudenhallintaselvityksen tulee sisältää hankkeen yleistiedot ja vaatimukset

kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa. Selvityksen tulee myös sisältää toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallinnan vaatimusten varmentamiseen sekä kosteudenhallinnan henkilöresurssit. Kosteudenhallintaselvityksessä tulee myös esittää kosteudenhallinnan valvonnasta vastaava henkilö. (Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2020, ss. 27–28)

Kun tavoitteena on hyvä ja vaatimustenmukainen rakennus, tulee rakentamisvaiheen kosteudenhallinnan olla luonnollinen osa työnmaan työsuoritusta ja laadunhallintaa. Rakentamisvaiheen kosteudenhallinnassa tulee erityisesti ottaa huomioon materiaalien ja tuotteiden kastumisen estäminen, rakenteiden riittävän kuivumisen varmistaminen ilman aikatauluviivytyksiä sekä vähentää kuivatustarvetta. (Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2020, s. 162)

Rakentamisvaiheen kosteudenhallinnan pääkohtiin kuuluvat;

- kosteusriskien kartoitus
- kuivumisaika-arviot
- materiaalivirtojen hallinta ja välivarastointi
- olosuhdehallinta ja suojaus
- kosteus- ja tiiviysmittaussuunnitelma
- organisointi, seuranta ja valvonta
- raportointi.

Kosteusriskien arviointi tehdään hankkeen suunnitelmien perustella. Sen tulee perustua kohteen ominaispiirteiden ja vaativien kosteudenhallintatehtävien selvittämiseen. Kuivumisaika-arvioiden avulla työmaa pystyy ottamaan huomioon eri rakenteiden vaatiman kuivumisajan työmaa-aikataulussa. Tarvittaessa työmaalle annetaan ohjeistusta tehostetusta kuivauksesta.

Materiaalivirtojen hallinnalla ja välivarastoinnilla varmistetaan, etteivät materiaaleja varastoida turhan pitkiä aikoja työmaalla, eivätkä ne altistu kosteudelle varastointivaiheessa. Kuivumisaika-arvioinnin tavoitteena on varmistaa erityisesti pinnoitettavien rakenteiden kuivuminen aikataulun puitteissa. Olosuhteiden hallinnalla pyritään minimoimaan mahdolliset kosteusvahingot sekä varmistamaan, että kohteet voidaan toteuttaa aikataulun mukaisesti erilaisissa sääolosuhteissa.

Tärkeä osa olosuhteiden hallintaa on oikein tehdyt sääsuojaukset. Kosteusmittaussuunnitelman avulla voidaan varmistua rakenteiden suunnitellusta kuivumisesta. Kosteudenhallinnan organisoinnissa tulee määrittää toteutuksen, tarkastuksen ja valvonnan vastuut ja tehtäväsällöt eri osapuolille ilman aukkoja tai päällekkäisyyksiä. (Suomen Rakennusinsinööriliitto, 2020, ss. 163–164)

2.3 Puurakenteiden kosteudenhallinta

Kosteudenhallintasuunnitelmassa puurakenteille määritetään suojaustaso (Kuva 1). Suojausmenetelmät eri rakennusosille ja -tuotteille valitaan tapauskohtaisesti huomioiden käytettävää rakennusjärjestelmää. (Puuinfo, 2020d)

Kuva 1 Standardin SFS 5978 mukaiset suojaustasot (Puuinfo, 2020d).

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

Työmaalla varastoitava puutavara tulee aina säilyttää kuivalla ja tukevalla alustalla ilman että puutavara on kosketuksessa maahan. Puutavaran tulee olla säältä suojassa ja varastoinnin aikana tulee huolehtia siitä, että puutavara pääsee tuulettumaan suojauksen alla. Puutavara tulee varastoida sellaisissa kosteusolosuhteissa, jotka vastaavat mahdollisimman hyvin puun lopullista kosteusolosuhdetta. (Puuinfo, 2020c) Rakenteellinen tai kattava sääsuojaus rajoittaa tai poistaa kastumisen aiheuttamia riskejä sekä poistaa myös talviolosuhteiden haitan. Kun kattavaa sääsuojauksia ei käytetä, rakenteiden tulee olla kuivumiskykyisiä ja rakentamisen tulee olla erittäin sujuvaa. (Souto, A. 2019) Sääsuojaa on suuri kustannuserä, minkä takia sitä ei välttämättä käytetä. Ilman sääsuojaa rakentamisessa on huonojen sääolosuhteiden riski, jotka voivat aiheuttaa vahinkoa rakenteisiin. Silloin kustannukset voivat koitua suuremmiksi kuin sääsuojaa käyttäessä.

3 Puurakentaminen Suomessa

Puurakentaminen on ollut aina yleistä Suomessa puumateriaalin helpon saatavuuden vuoksi. 1940-luvulla puurakentamisessa tapahtui suuri muutos siirryttäessä hirsirakentamisesta rankorakenteisiin seiniin. Uusien rakennusmateriaalien kuten muovin ja mineraalivillan myötä rakenteiden kosteus- ja lämpötekniinen toiminta muuttui. Uusia rakennetekniikoita ei vielä tunnettu tarpeeksi, jonka vuoksi rakennuksissa alkoi esiintyä rakennusvirheitä, jotka aiheuttivat kosteus- ja homeongelmia. (Siikanen, 2008, s. 3)

3.1 Puurakentaminen taloudellisena ja ekologisena vaihtoehtona

Puu on sopiva ratkaisu Suomen vaihtelevaan säähän sen luontaisten ominaisuuksien vuoksi. ”Puurakentaminen on luonteeltaan betonirakentamista yksinkertaisempaa, nopeampaa ja halvempaa, mikä mahdollistaa monipuolisemmat arkkitehtoniset ratkaisut esimerkiksi vaaka- ja pystysuuntaisten porrastusten avulla” (Siparila, 2017). Puu on painoonsa nähden suhteessa kestävämpää kuin mikään muu materiaali ja sen pehmeys tekee siitä helposti työstettävän (Siparila, 2017). Puun keveyden vuoksi rakennusmateriaalit voidaan esivalmistaa. Puumoduulit voidaan rakentaa kuivissa ja hallituissa tehdasolosuhteissa, jolloin rakentamisen laatu pysyy korkeana läpi prosessin. (Metsägroup, n.d.)

Puuteollisuus työllistää Suomessa noin 26 600 henkilöä ja sen tuotannon bruttoarvo oli noin 6,7 miljardia euroa vuonna 2018 (Teollisuusliitto, 2020, s. 39). Puun käytön lisäämiselle on monia syitä ja yksi niistä on sen suuri vaikutus Suomen talouteen. Suomessa on suuret metsävarat ja niiden hakkuumäärien kasvatus olisi mahdollista. Vähenevän paperiteollisuuden myötä puurakentamisen on uusiuduttava. (Haapio, 2013, s. 5)

Puurakentaminen on ympäristöystävällistä rakentamista ja se on tulevaisuudelle tärkeä asia. Rakennussektori tuottaa 30 % kaikista Suomen hiilidioksidipäästöistä. Siitä 5–12 % on peräisin rakennustuotteiden valmistamisesta ja loput 90 % aiheutuu sementin ja teräksen valmistamisesta. Rakentaminen tulee myös lisääntymään nykyisestä kasvavan väkiluvun vuoksi. Tämän hetken rakennusmenetelmät tuottavat liikaa päästöjä ja siitä syystä niiden on muututtava. Konkreettisin

ja yksi parhaimmista keinoista vähentää rakentamisesta syntyviä hiilidioksidipäästöjä, on puurakentaminen. Puurakentamisesta syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat minimaalisia betonirakentamiseen verrattuna. (Siparila, 2020) Puulla on myös kyky varastoida hiilidioksidia ilmakehästä. ”Yksi puinen omakotitalo varastoi hiiltä noin 30 tonnia, joka vastaa perheen kymmenen vuoden autoilua tai kymmenen etelänloman aiheuttamia päästöjä” (Siparila, 2017). Ympäristöministeriö (2020, s. 4) on laatinut tulevaisuuden tavoitteet puun käytölle julkisessa rakentamisessa. Puurakentamisen tavoiteltu markkinaosuus kaikesta julkisesta uudisrakentamisesta on 31 % vuonna 2022 ja 45 % vuonna 2025. Ympäristöministeriö (n.d.) aikoo myös kehittää ammatillisten oppilaitosten ja ammattikorkeakoulujen koulutusta puurakentamisesta.

3.2 Puu rakennusmateriaalina

Suomessa käytetään monia eri puurakenteita. Yleisimmin käytetty runkojärjestelmä puisissa omakotitaloissa on kantaviin seiniin perustuva kerroksittainen runkojärjestelmä, joka voidaan toteuttaa rankarakenteisilla tai massiivipuisilla suurelementeillä. Tavallisesti rakennuksen kantavina linjoina toimivat ulkoseinät sekä osa väliseinistä. Puurakentamisessa voidaan myös käyttää pilari-palkkijärjestelmää. Pilari-palkkijärjestelmässä rakennuksen kantava runkorakenne muodostuu liima- tai kertopuisista pilareista ja palkeista, joiden varaan ulkoseinät sekä väli- ja yläpohjatasot asennetaan. (Puuinfo, 2020a)

Suuremmissa puurakennuksissa yleisin tapa on käyttää rankarunkoista suurelementtiä, joka tehdään vakiomittaisesta liima- tai kertopuusta. Rankarakenteesta on pitkäaikainen kokemus ja sillä saavutetaan erittäin hyvä energiatehokkuus ja ilmatiiveys. Rakennuksista voidaan tehdä yli nelikerroksisia. Vielä suuremmissa puukerrostaloissa voidaan käyttää CLT-tekniikkaa. CLT-tekniikalla voidaan rakentaa jopa 12-kerroksisia puukerrostaloja. CLT-levy toimii puukerrostalossa kantavana ja jäykistävänä rakenteena seinissä ja välipohjissa. (Puuinfo, 2020a)

Eryteisesti pientalokohteisiin ja asuntoloihin soveltuva tilaelementtitekniikka on tapa, jolla suurin osa rakentamisesta voidaan toteuttaa hallituissa tehdasolosuhteissa. Tilaelementit muodostuvat valmiista kantavasta rungosta, sekä valmiista seinistä, lattiasta ja katosta. Tilaelementin kantava

rakenne voidaan toteuttaa esimerkiksi pilari-palkkitekniikalla, kehärakenteella tai laattamaisilla suurelementeillä. Myös ikkunat, LVIS-varustus ja kalusteet asennetaan elementteihin tehtaalla. Koska suurin osa työstä tehdään tehtaalla, tilaelementtitekniikan työmaavaihe on erittäin nopea. (Puuinfo, 2020a)

3.3 Kosteuden vaikutus puuhun

Suomessa on ns. väli-ilmastoa, johon kuuluu sekä merellisen että mantereellisen ilmaston piirteitä. Sää riippuu suuresti siitä, mistä suunnasta ilmavirtaukset tulevat ja miten matala- ja korkeapaineet ovat sijoittuneet. Suomen keskilämpötila vaihtelee maan lounaisosan +5 asteesta Pohjois-Lapin pariin pakkasasteeseen. Vuoden lämpimin ajankohta sijoittuu heinäkuun loppuun ja kylmin ajankohta tammikuun loppuun. Suomen vuotuinen sademäärä vaihtelee noin 500–650 mm välillä. Suurimmat sademäärät ovat maan etelä- ja keskiosissa. Eniten sateita esiintyy heinä-elokuussa ja vähiten kevätkuukausina. (Ilmasto-opas.fi, n.d.) Kesän suuret sademäärät ja korkeat lämpötilat tekevät kesän puurakentamisesta riskialtista, sillä silloin olosuhteet puun homehtumiselle ovat erittäin otolliset.

Puu on hygroskooppinen materiaali, eli sillä on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden vaihtelun mukaan. Puu asettuu aina tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Vettä pääsee puuhun kolmella eri tavalla: kapillaarisesti soluonteloiden kautta, höyrynä soluonteloiden kautta ja molekylaarisena diffuusiona soluseinämän kautta. Puu kutistuu tai turpoaa ja muuttaa muotoaan kosteuden seurauksena. Koska puu on anisotrooppinen materiaali, puun kosteuseläminen tapahtuu jokaiseen suuntaan. Pitkittäissuuntainen kosteuseläminen on vähäistä, mutta poikittaissuuntainen kosteuseläminen on merkittävää. Nämä täytyy ottaa huomioon rakenteita suunniteltaessa. Keskimääräisesti mittojen muutos laudan leveysuunnassa on 0,2 % yhden kosteusprosentin muutosta kohti. (Puuinfo, 2020b)

Mikrobivaurioitumisella tarkoitetaan materiaalin tai pinnan poikkeuksellisesti kohonnutta mikrobipitoisuutta (Palomäki, n.d., s. 1). Mikrobeja eli bakteereja, home- ja hiivasieniä sekä niiden itiöitä esiintyy kaikkialla elinympäristössä. Myös hyvässä kunnossa olevissa rakennuksissa saattaa esiintyä pieniä määriä sisäilmalle tyyppillisiä mikrobeja. (Palomäki, n.d., s. 3) Puun homeenkestävyys

riippuu puulajista sekä sille tehdystä prosessista, mm. kuivauksesta tai suoja-ainekäsittelystä (Viitanen, 2019, s. 22). Suomen puurakentamisessa käytetään paljon mäntyä ja kuusta, jotka ovat homeelle jonkin verran kestäviä. Koivu on homeelle herkkä materiaali, minkä takia sitä ei tulisi käyttää rakentamisessa. Eri puulajien luontainen lahonkestävyysluokka on esitetty seuraavassa taulukossa (Kuva 2 **Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.**).

Kuva 2 Suuntaa antava arviointi sydänpuun luontaisesta lahonkestävyydestä (Viitanen, 2019, s. 23)

Luokka	Kestävyys	Esimerkkilajeja
1	Hyvin kestävä	Tiikki, iroko, afzelia, bilinga
2	Kestävä	Jättituija, Amerikanmahonki, tammi
3	Kohtalaisesti kestävä	Lehtikuusi, douglaskuusi
4	Jonkin verran kestävä	Mänty, kuusi, hemlok
5	Ei kestävä	Koivu, leppä, haapa, pyökki, vaahtera

Suosiolliset kosteusolosuhteet homeen kasvun alkamiselle riippuvat vallitsevasta lämpötilasta. Sitä korkeampi ilman suhteellinen kosteus vaaditaan, mitä matalampi lämpötila on. Homeen kasvu selvästi hidastuu, jos ilman suhteellinen kosteus putoaa vaaditun rajan alapuolelle. Lämpötilassa on myös havaittu alue, jonka ulkopuolella homeen kasvu ei ole mahdollista. Home ei kasva pakkasessa, eikä myöskään yli 50 °C lämpötilassa. Homeen alkanut kasvu loppuu ja rihmasto mahdollisesti kuolee, jos lämpötila on joko liian kylmä tai kuuma. (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka & Viitanen, 1999, s. 37)

Puu on turvassa lahottajasieniltä, homeilta ja muilta biologiasilta tuhoajilta, kun sen kosteuspitoisuus on alle 20 % (Puuinfo, 2020b). Puun homehtuminen vaatii vähintään 80 % ilman suhteellista kosteutta vastaavan kosteuden. Huomioitavaa on, että riskirajan olosuhteissa, homeen kasvu on erittäin hidasta. Homeen kasvu on nopeaa, jos ilman suhteellinen kosteus on yli 90 % ja lämpötila välillä 10–50 °C. Jos lämpötila on 0–5 °C, ilman suhteellisen kosteuden on oltava yli 95 %. Homehtumisriskin kannalta pelkästään kosteus ei yksinään ole riittävä arvio mahdolliseen riskiin, vaan se vaatii kosteuden, lämpötilan, vaikutusajan ja vaihtelun yhdysvaikutuksen. (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka & Viitanen, 1999, s. 35) Puun lujuuden kannalta homehtuminen ei ole vaarallista, sillä home ei pysty tunkeutumaan puun pintaa syvemmälle (Puuinfo, 2020b).

Puun homehtumistutkimuksen mukaan ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 95 % silmin havaittavaa homekasvustoa muodostuu jo muutamassa päivässä, lämpötilan ollessa 25–40 °C. Lämpötilan ollessa 10–20 °C, silmin havaittavan homekasvuston muodostumisessa kestää 4–8 viikkoa. (Viitanen, 1997, s. 1)

Lahoaminen vaatii puulta 25–30 % kosteuden ja pitkän yli 95 % ilman suhteellisen kosteuden. Lahon esiintymistä ei ole havaittu 90–92 % ilman suhteellisessa kosteudessa, vaikka lämpötila olisi ollut lahoamiselle sopiva. Laho kehittyy hyvin nopeasti 30 °C lämmössä ja 97–100 % ilman suhteellisessa kosteudessa. Laho kehittyy 20 °C lämpötilassa monta kertaa nopeammin kuin 5 °C lämpötilassa. Kehittyäkseen lahoaminen vaatii pitkään vaikuttavat kosteat tai märät olosuhteet. Lahon esiintyminen rakenteissa on usein paikallista. (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka & Viitanen, 1999, ss. 35–36)

3.4 Puun suojaus- ja kuivausmenetelmät

Rakentamisessa käytettävää puuta voidaan suojata eri tavoin. Puun suojauksen tarkoituksena on estää mahdolliset home-, laho-, hyönteis-, ym. vauriot silti säilyttäen puun hyvät ominaisuudet. Puu suojataan kemiallisesti, jos sitä käytetään sellaisissa paikoissa, ettei sen suojaaminen ole mahdollista rakenteellisin keinoin. Kemiallisen suojauksen menetelmiä ovat esimerkiksi ruiskutus tai sively puunsuoja-aineella tai upotus siihen, sekä paine- että tyhjiökyllästys. (Puuinfo, 2020b)

Ruiskutettavilla ja siveltävillä puunsuoja-aineilla suojaava vaikutus on vähäinen, sillä aineet tunkeutuvat puun pintaan yleensä vain 1–2 mm. Ruiskutettavia ja siveltäviä puunsuoja-aineita käytetään yleisesti julkisivuissa. Upotusmenetelmällä aine saadaan uppoamaan pintapuuhun noin 5 mm syvyyteen. Kyllästyksellä suoja-aine saadaan syvemmälle puuhun. Tyhjiökyllästyksellä pintapuu kyllästyy noin 5–10 mm syvyyteen. Paine- ja tyhjiökyllästyksessä kyllästysaine tunkeutuu männyn sydänpuuta lukuun ottamatta koko puuhun. Kuusi kyllästyy maksimissaan 10 mm syvyyteen. Kyllästettyjä puutuotteita käytetään vain ulkona, esimerkiksi terassirakenteissa. (Puuinfo, 2020b)

Puuta voidaan kuivata monella eri tapaa. Ilmakuivaamisella päästään 15–25 % kosteuspitoisuuden väliin, riippuen ulkoilman suhteellisesta kosteudesta. Mikäli puun kosteuspitoisuus halutaan alle

15 %, se tulee keinokuivata. Keinokuivaamiseen on erilaisia menetelmiä, kuten jatkuvatoiminen kanavakuivaus, kamarikuivaus, kuumakuivaus, lauhdekuivaus ja alipaineakuivaus. Yleisesti parasta kuivausmenetelmää ei ole, vaan käytettävä menetelmä valitaan puutavaran käyttökohteen ja sille asetettujen laatuvaatimusten mukaan. (Puuinfo, 2020b)

4 Tutkimuskysymykset ja -menetelmät

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyön tutkimuskysymykset sekä tutkimusmenetelmät. Tutkimusmenetelmien avulla pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Lisäksi luvussa perustellaan kysymysten ja menetelmien valinnat, sekä kerrotaan, kuinka menetelmiä on käytetty.

4.1 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön tarkoituksena on saada tietoa puurakenteiden tutkimusten nykytilasta, puurakenteiden kosteusvaurioitumisesta, sekä ideoita, minkälaisilla asioilla kosteudenhallintaa voitaisiin kehittää. Työn tarkoituksena on myös saada alan asiantuntijoiden mielipide puurakenteiden tutkimusten nykytilasta, sekä mitä tutkimuksia puurakenteista heidän mielestään tulevaisuudessa tulisi tehdä. Näiden tavoitteiden pohjalta valikoituivat seuraavat tutkimuskysymykset:

- kuinka kauan puu saa kastua työmaaolosuhteissa, ennen kuin se alkaa homehtumaan
- mitä tutkimuksia puurakentamisen kosteudenhallinta vaatii tulevaisuudessa.

4.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyössä käytetään tutkimusmenetelminä kirjallisuus-, kysely- ja tapaustutkimusta. Kirjallisuustutkimuksen avulla kerätään tutkimustietoa eri insinööripuutuotteiden kosteusvaurioitumisesta. Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena on saada tietoa eri tuotteiden kosteuskäyttäytymisestä ja saada katsaus tuotteiden tämänhetkisestä tutkimuskannasta, sekä selvittää, mistä tuotteista tutkimuksia ei ole tehty. Tutkimustietoa etsitään kirjallisuudesta, eri tutkimuslaitosten tietokannoista ja internetistä. Kirjallisuustutkimus valittiin

tutkimusmenetelmäksi sen takia, että myös tutkimustiedon lisäksi saadaan näkemys siitä, kuinka paljon aiheetta on tutkittu.

Kyselytutkimuksen avulla kerätään tietoa alalla työskenteleviltä asiantuntijoilta. Kyselyssä selvitetään, onko tämänhetkisten tutkimusten laajuus heidän mielestään riittävä, kuinka paljon puurakenteet saavat heidän mielestään kastua sekä millaisia tutkimuksia aiheesta pitäisi tulevaisuudessa tehdä. Kyselytutkimuksen muodoksi valittiin posti- ja verkkokysely, koska vastaajat asuvat ympäri Suomea sekä kyselymalli antoi vastaajille oman ajan kysymyksien käsittelemiseen ja vastaamiseen. Kysymystyyppiksi valittiin avoin kysymys, eli kysymyksen alle jätettiin tyhjä tila vastausta varten, koska vastauksista haluttiin asiantuntijoiden oma näkemys ja mielipide aiheesta. Kyselytutkimus valittiin tutkimusmenetelmäksi siitä syystä, että saataisiin näkökulmia aiheesta puurakenteiden parissa toimivilta asiantuntijoilta.

Tapaustutkimuksen avulla kerätään tietoa neljän käytännönkohteen puurakenteiden kastumisesta ja kosteuden vaikutuksesta puurakenteisiin. Tapaustutkimuksen kohteet ovat Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:n toteutuneita kohteita, joissa Sweco on toiminut kosteudenhallintakoodinaattorina tai tutkijana. Tapaustutkimuksen tavoitteena on saada tietoa erilaisten puurakenteiden kastumisesta ja mahdollisesta vaurioitumisesta työmaaolosuhteissa. Tapaustutkimus valittiin tutkimusmenetelmäksi siksi, että saataisiin tietoa puurakenteiden kosteuskäyttäytymisestä myös työmaaolosuhteissa. Kosteusvaurioitumiseen vaikuttaa myös rakennetta ympäröivän ilman olosuhteet.

5 Tutkimusten toteuttaminen ja tulokset

Tässä luvussa käydään läpi opinnäytetyössä käytettyjen tutkimusmenetelmien avulla kerättyä tietoa ja tuloksia. Kirjallisuustutkimus perustuu aiheetta käsittelevään lähdekirjallisuuteen, tutkijoiden raportteihin ja muihin kirjallisiin lähteisiin. Kyselytutkimus kohdennetaan alalla toimiville asiantuntijoille. Tapaustutkimus toteutetaan perehtymällä Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:n toteutuneiden kohteiden raportteihin.

5.1 Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, mitä tutkimuksia on tehty eri puutuotteiden kosteuskäyttäytymisestä. Pääsääntöisesti etsittiin tutkimuksia, joissa tutkittiin insinööripuutuotteiden kastelua ja niiden kuivumista sekä mahdollisten kosteusvaurioiden syntymistä. Kaikista tuotteista tällaisia tutkimuksia ei löytynyt, joten sellaisista tuotteista etsittiin tutkimuksia kosteuden vaikutuksesta tuotteen johonkin ominaisuuteen, esimerkiksi sen lujuuteen. Tutkimustietoa etsittiin kirjallisuudesta, eri tutkimuslaitosten tietokannoista sekä internetistä.

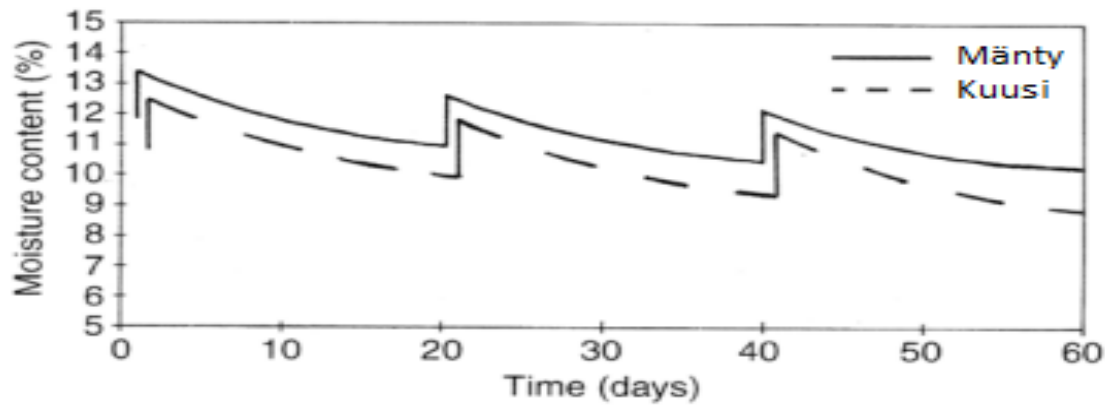
5.1.1 Rakennesahatavara

D. Sandberg tutki rakennesahatavaran käyttäytymistä uunikuivauksen ja kastelujaksojen jälkeen Tukholmassa, Ruotsissa vuonna 1996. Tutkimuksessa käytettiin Scots pineä (mänty) ja Norway sprucea (metsäkuusi). Puut sahattiin tukeista 50 x 100 mm paloiksi, jonka jälkeen palat uunikuivattiin. Puun kuivaus $18 \% \pm 3 \%$ kosteuspitoisuuteen kesti kaksi viikkoa $+21 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$ ja RH $39 \% \pm 5 \%$ olosuhteissa. Kuivatuksen jälkeen puussa olevien halkeamien pituudet mitattiin ja dokumentoitiin.

Kuivauksen jälkeen puut altistettiin kolmelle 20 päivää kestäväälle kastelujaksolle. Jokainen jakso koostui 30 minuutin upotuksesta vesialtaassa, jonka jälkeen puut kuivattiin samanlaisessa olosuhteessa kuin kokeen alussa. Viimeisen jakson jälkeen puiden halkeamat mitattiin uudelleen ja puut jaettiin kolmeen eri ryhmään:

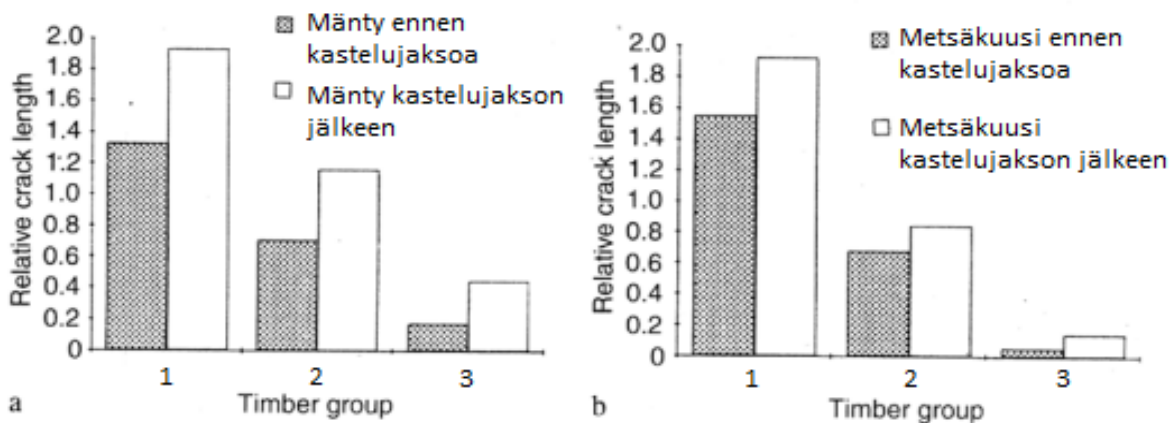
- laudat, jotka on sahattu kokonaan tai osittain puun ytimestä
- laudat, jotka ovat sahattu alle 30 mm ytimestä. 1-ryhmä ei kuulu tähän ryhmään
- laudat, jotka ovat sahattu yli 30 mm ytimestä.

Kuva 3 Kosteuspitoisuuden muutos tutkimuksen aikana (Sandberg, 1996, s. 1)



Lautojen suhteellinen halkeamapituus on halkeaman pituus suhteellistettuna laudan pituuteen ja kuten seuraavasta kuvasta käy ilmi, halkeamien suhteellinen pituus on lyhempi laudoissa, jotka ovat sahattu kauempaa puun ytimestä (Kuva 4). Puiden kastelu kuitenkin aiheutti halkeamien kasvamista jokaisessa puussa, mutta kastelun aiheuttaman halkeilun suuruus on hieman suurempi männyssä kuin metsäkuusessa.

Kuva 4 Puiden halkeaminen ennen ja jälkeen kastelujaksoa (Sandberg, 1996, s. 2)



Tutkimus osoittaa, että laudan kuivumisesta muodostuvat halkeamat ovat suhteellisia siihen, kuinka kaukaa puun ydintä lauta on leikattu (Sandberg, 1996, s. 2).

5.1.2 Liimapuu

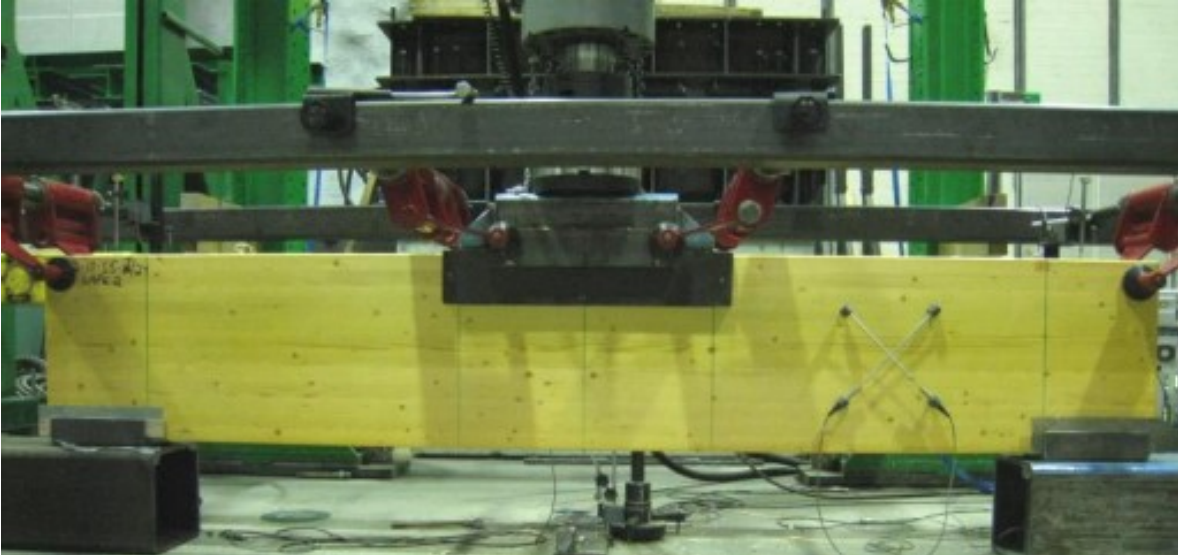
Kosteuden vaikutuksesta liimapuun lujuuteen on tutkittu paljon, mutta sen mikrobivaurioitumista ei ole juurikaan tutkittu. Tero Sundström, Ari Kevarinmäki, Stefania Fortino ja Tomi Toratti tutkivat muuttuvan ilmankosteuden vaikutusta liimapuun leikkauslujuuteen vuonna 2011. Tutkimuksessa käytettiin 104 Suomessa valmistettua liimapuupalkkia, jotka jaettiin neljään testiryhmään ja yhteen vertausryhmään, joihin kosteusrasitettuja liimapuita verrattiin. Testiryhmän liimapuut säilytettiin tietyissä kosteusolosuhteissa eri pituisia ajanjaksoja (Kuva 5). Testiryhmien liimapuista puolet oli pinnoitettu erilaisilla suojapinnoitteilla, jotta voitiin verrata vaikuttaako suojapinnoite palkin leikkauslujuuteen. Vertausryhmän palkit olivat pinnoittamattomia.

Kuva 5 Eri testiryhmien kosteusolosuhteet ja sen kesto ennen testiä (Sundström, Kevarinmäki, Fortino & Toratti, 2011, s. 26)

Test series	Conditioning
S1	1 month RH 65% -> testing
S2	1 month RH 65% -> 1 month RH 90% -> testing
S3	1 month RH 65% -> 3 months RH 90% -> testing
S4	1 month RH 65% -> 3 months RH 90% -> 1 month RH 30% -> testing
S5	1 month RH 65% -> 3 months RH 90% -> 3 months RH 30% -> testing

Liimapuupalkkien leikkauslujuutta tarkasteltiin pistekuormilla (Kuva 6). Tutkimustulosten perusteella muuttuva ilmankosteus vaikuttaa vähän tai ei yhtään liimapuupalkin leikkauslujuuteen (Sundström, Kevarinmäki, Fortino & Toratti, 2011, s. 122). Tulokset myös osoittivat, että pinnoitteella oli hyvin pieni vaikutus palkin leikkauslujuuteen. Tutkijoiden mukaan aiheetta olisi silti syytä tutkia esimerkiksi liimapuilla, jotka ovat kokoaikaisen kuormituksen alla.

Kuva 6 Liimapuupalkki leikkauslujuustestissä. (Sundström, Kevarinmäki, Fortino & Toratti, 2011, s. 29).



5.1.3 LVL, Viilupuu

Niko Laakso tutki opinnäytetyössään viilupuun kosteus- ja kuivumisteknisiä ominaisuuksia vuonna 2017. Tutkimuksessa käytettiin käsittelemättömiä tai hydrofobisella liuoksella käsiteltyjä 51 mm paksuja LVL-paneeleja, joita kasteltiin kolmella eri tapaa:

- jatkuva 10 mm vesipatsas levyn lapepinnan päällä
- jatkuva 10 mm vesipatsas levyn syrjäpinnan päällä
- lapepinnan kastelu 2–3 päivän välein.

Eri kasteluilla luotiin mahdollisia työmaalla tapahtuvia tilanteita. Ensimmäinen ja toinen tapa kuvaa veden lammikoitumista elementin päälle ja kolmannessa tilanteessa kuvattiin ulkoilman viistosaderasitusta. Lapepintatutkimuksessa käytetyistä LVL-kappaleista leikattiin 500 x 600 mm kokoisia paloja, joiden syrjä- ja päätypinnat käsiteltiin vesihöyrytiivillä pinnoitteella. Vastaavasti syrjäpintoja tutkiessa levyt leikattiin 500 x 130 mm kokoisiksi kappaleiksi ja niiden lapepinnat käsiteltiin samalla tavalla. Vesipatsasrasituksissa rasitettavalla pinnalla pidettiin 10 mm korkuista vesipatsasta kolme viikkoa, jonka jälkeen sen annettiin kuivua. Saderasitusta kuvaavassa

tutkimuksessa levyn sivupintaa kasteltiin 2–3 päivän välein kolmen viikon ajan, jonka jälkeen levyn annettiin kuivua.

Lapepinnan kautta kasteltujen kappaleiden viisi ensimmäistä viilua kastui yli 17-painoprosentin raja-arvon. Hydrofobisella liuoksella käsitelty kappale ylitti raja-arvon noin kaksi päivää ennen käsittelemätöntä kappaletta. (Laakso, 2017, s. 27) Kosteusrasituksen alettua käsittelemättömien koekappaleiden pintakerros kastui 17-painoprosentin kosteuteen 15 vuorokauden kuluessa. Kasteluvaiheen lopussa kosteuspitoisuus oli noussut noin 21-painoprosenttiin. (Laakso, 2017, s. 28) Viilupuun kuivumista arvioidessa koekappaleiden pintakerros kuivui 17-painoprosenttiin 16 vuorokauden aikana. Koekappaleiden kosteus oli lähellä lähtötasoa noin neljä viikkoa kastelun loputtua. (Laakso, 2017, s. 29) Syrjäpinnan kautta kasteltujen käsittelemättömien 130 mm viilupuukappaleiden läpi kosteus oli mennyt jo ennen ensimmäistä kosteusmittausta, eivätkä ne ehtineet kuivua tutkimusajan aikana. Hydrofobisella liuoksella käsitellyissä puissa vesi imeytyi korkeintaan 50 mm syvyyteen. Käsitellyt puukappaleetkaan eivät ehtineet kuivua tutkimusajan puitteissa (Laakso, 2017, s. 29). Vesisadetta kuvanneessa kokeessa puukappaleet pysyivät kuivana koko kokeen ajan. Koekappaleiden kosteuspitoisuus ei noussut yli 12-painoprosentin, eikä koekappaleissa käytetyillä pinnoitteilla ollut vaikutusta tuloksiin. (Laakso, 2017, s. 30)

Viilupuun kastuminen sen syrjä- sekä päätypintojen kautta on erittäin nopeaa, mutta kuivuminen on hidasta. Viilupuun syrjä- ja päätypinnat olisi hyvä suojata veden imeytymistä estävällä hydrofobisella pinnoitteella, mikä estää veden imeytymistä syvemmälle rakenteeseen. Lapepinnan kautta viilupuun kastuminen on hidasta, eikä hydrofobisella pinnoitteella ole merkitystä kastumisen nopeuteen. (Laakso, 2017, s. 32)

5.1.4 Rakenteellinen kuusivaneri

Vanerin kosteudenkestävyys on samanlainen kuin sen puulajin, josta se on valmistettu. Vaikka suomalaisessa vanerissa käytetään ulkokäyttöön tarkoitettua fenoliformaldehydiliimaa, pinnoittamattoman ja reunasuojamattoman vanerin kosteudenkestävyys on rajallinen. Pysyvissä kosteusolosuhteissa tulee käyttää pinnoitettuja ja reunoiltaan suojattuja vanereita, jotta ne

kestävät kosteusrasituksen. Vanerin kosteuden kasvaessa sen lujuus- ja kimmo-ominaisuudet heikkenevät. (Metsäteollisuus, 2006)

5.1.5 CLT, Monikerroslevy

Ruth McClung, Hua Ge, John Straube ja Jieying Wang tutkivat CLT-elementtien kastumista Kanadassa vuonna 2014. Tutkimuksessa tutkittiin erilaisia CLT-elementtejä, joiden CLT-paneelit oli upotettu veteen viikon ajaksi. Viikon upotuksen aikana paneelit oli saavuttanut noin 30 % kosteuspitoisuuden (McClung, Ge, Straube & Wang, 2014, s. 3). Ennen paneelien upotusta niiden syrjät suljettiin kolmella kerroksella maalia. Elementtien kosteuskäyttäytymistä tarkkailtiin yli vuoden ajan Ontariossa, Kanadassa. Kastelunjakson päätyttyä CLT-paneelista rakennettiin neljä erilaista elementtiä, jotka kiinnitettiin tutkimuskeskuksen hallirakennuksen seinärakenteeksi (Kuva 7).

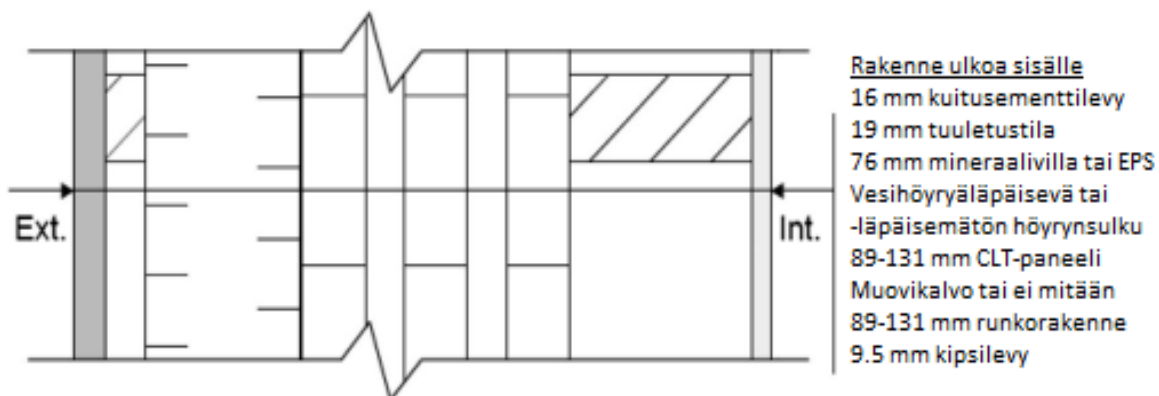
Kuva 7 CLT-elementit hallirakennuksen seinärakenteena (McClung, Ge, Straube & Wang, 2014, s. 4)



Kokeessa tutkittiin neljää erilaista elementtityyppiä (Kuva 8): kolmea elementtiä, jossa oli joko korkea, keskitason tai heikko vesihöyrynläpäisevä materiaali CLT-paneelin ulkopuolella mutta tuuletettu vesihöyryäläpäisevä rakenne sisäpuolella, mikä antaa paneelin kuivua myös sisäpuolelle rakennusta. Neljännessä elementissä ulkokuoren vesihöyrynläpäisevyys oli keskierto, mutta CLT-paneelin sisäpuoli oli suljettu muovikalvolla. Elementtien vesihöyrynläpäisevyys oli seuraava:

- heikko ulkokuoren vesihöyrynläpäisevyys, vesihöyrynläpäisemätön kalvo ja mineraalivillaeriste, vesihöyrynläpäisevyys 1.6 ng/Pa s m^2
- korkea ulkokuoren höyrynläpäisevyys, vesihöyryäläpäisevä kalvo ja mineraalivillaeriste, höyrynläpäisevyys 975 ng/Pa s m^2
- keskierto ulkokuoren höyrynläpäisevyys, vesihöyryäläpäisevä kalvo ja ESP eriste, höyrynläpäisevyys 64.4 ng/Pa s m^2
- heikko vesihöyrynläpäisevyys sisäpuolelta, mutta keskierto höyrynläpäisevyys ulkopuolelta, vesihöyrynläpäisevä kalvo ja EPS eriste, höyrynläpäisevyys 64.4 ng/Pa s m^2 ja 0.15 mm muovikalvo sisäpinnassa minkä höyrynläpäisevyys 3 ng/Pa s m^2 .

Kuva 8 CLT-elementin rakennetyyppi (McClung, Ge, Straube & Wang, 2014, s. 4)



Seuraavassa kuvassa esitetään CLT-elementin kuivumista (Kuva 9). Kuvan vasemmalla puolella on esitetty tutkimuksessa käytetyt elementtityypit ja kuvan oikealla puolella esitetään elementtien laskeva kosteuspitoisuus vuoden aikana. CLT-elementtien mittauksessa tuli selväksi, että suurin osa kuivumisesta tapahtui ensimmäisen kuukauden aikana. Tutkimuksesta saatu data osoittaa, että kastuneen CLT-paneelin kuivuminen riippuu elementin rakenteesta (McClung, Ge, Straube & Wang, 2014, s. 11). Rakenne, joka pystyy luovuttamaan kosteutta molempiin suuntiin helposti,

kuivui paljon nopeammin. Heikon vesihöyrynläpäisevyyden omaavat rakennusmateriaalit heikensivät rakenteen kuivumista, joten niitä tulisi käyttää varovaisemmin. Vaikka CLT-paneelien kosteuspitoisuus ja ympäröivän ilman olosuhde oli riittävä rakenteen mikrobivaurioitumiselle, puun mikrobivaurioituminen ei kuitenkaan alkanut (McClung, Ge, Straube & Wang, 2014, s. 10).

Kuva 9 CLT-elementin kuivuminen

CLT-elementit	Kuivumisaika ja kosteuspitoisuus			
	0kk	1kk	4kk	12kk
Heikko ulkokuoren vesihöyrynläpäisevyys	34 %	24 %	21 %	15 %
Korkea ulkokuoren vesihöyrynläpäisevyys	21 %	16 %	13 %	12 %
Keskiverto ulkokuoren vesihöyrynläpäisevyys	30 %	22 %	18 %	14 %
Heikko sisäkuoren vesihöyrynläpäisevyys ja keskiverto ulkokuoren vesihöyrynläpäisevyys	45 %	26 %	19 %	16 %

5.1.6 Yhteenveto kirjallisuustutkimuksesta

Osasta tuotteista ei löytynyt mitään tutkimustietoa, joka olisi opinnäytetyön kannalta olennaista. Tällaisia tuotteita olivat halkaistu liimapuu, GLVL ja MHM. LVL-paneelin tutkimuksessa tuli selville, että syrjäpinnan kautta paneeli kastuu helposti ja kuivuu hitaasti. Tämän takia paneelien syrjäpinnat tulisi suojata, ettei paneeli pääse kastumaan sitä kautta. CLT-paneelin kuivumiselle merkittävä tekijä oli sitä ympäröivä rakenne. Elementti olisi hyvä suunnitella siten, että se pystyy luovuttamaan kosteutta molempiin suuntiin. Liimapuun tutkimuksessa selvisi, ettei muuttuvalla ilmankosteudella juurikaan ole vaikutusta palkin leikkauslujuuteen. Rakennesahatavaran tutkimuksessa kävi ilmi, että puun halkeaminen voidaan suhteellistaa siihen, kuinka läheltä puun ydintä lauta on sahattu.

5.2 Kyselytutkimus

Kyselytutkimus toteutettiin sähköpostin välityksellä 5.10.2020-29.10.2020 aikana. Sähköpostin sisältö on liitteenä (liite 1). Kysely lähetettiin 12 puurakenteiden parissa työskenteleville asiantuntijoille, kuten puurakennetutkijoille ja opettajille. Kyselyyn vastasi 6 henkilöä, eli vastausprosentti oli 50. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää alan asiantuntijoiden mielipide tämänhetkisestä tutkimuskannasta, kuinka paljon heidän mielestään puurakenteen saivat kastua

rakentamisen aikana sekä mitä tutkimuksia puurakentaminen heidän mielestään tulevaisuudessa vaatii.

5.2.1 Puurakenteiden kosteusteknisten tutkimusten nykytila

Ensimmäinen kysymys koski puurakenteiden kosteusteknisten tutkimusten nykytilaa. Tutkimusten nykytilasta vastaajat olivat erimieltä. Yksi vastaaja kuudesta oli sitä mieltä, että mikrobien osalta tiedetään jo melko paljon, koska Suomessa on kehitetty puurakenteiden ja muiden rakennusmateriaalien vaurioitumista varten homeindeksi. Homeindeksi on kehitetty perustuen rakenteissa olevien materiaalien homehtumiseen eli käytännössä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden perusteella voidaan arvioida homehtumista.

Viisi vastaajaa kuudesta arvioi, että tutkimuksia tulisi tehdä lisää. Kosteuden vaikutuksista puun lujuusominaisuuksiin on aika hyvin tiedossa, mutta sen vaikutus puun vaurioitumiseen, mikrobeihin ja halkeiluun, ei ole riittävästi tutkittua. Kyseiseen aiheeseen on alettu kiinnittämään enemmän huomiota viime aikoina.

5.2.2 Puurakenteiden kuivana pysyminen rakentamisen aikana

Toisessa kysymyksessä kysyttiin, kuinka kuivana puurakenteiden tulisi pysyä rakentamisen aikana. Kaksi vastaajaa kuudesta oli sitä mieltä, että puurakenteiden tai muiden rakennusmateriaalien ei tulisi kastua kuljetuksen, varastoinnin tai asennuksen aikana. Rakentamisessa tulisi käyttää apuna Kuivaketju10 -periaatteita. Jos rakenne kastuu, sen kuivuminen täytyy varmistaa, ettei valmis rakenne jää märäksi ja ala muodostamaan mikrobikasvustoa. Rakennuksen rakenteiden tulisi olla riittävän kuivia rakennuksen luovutuksen aikaan.

Neljä vastaajaa kuudesta oli sitä mieltä, että tähän kysymykseen ei ole tarkkaa vastausta ja tätä voitaisiin tutkia. Olisiko kuljetuksen ja pystytyksen aikaisia suojauksia mahdollista keventää? Jotkut rakenteet ovat yhteydessä ulkoilmaan, joten näiden tuotteiden kastuminen ei ole katastrofi. Esimerkiksi ulkoseinien ulko-osissa mikrobikasvuston esiintyminen on normaalia ja koska vesikattorakenne on osin yhteydessä ulkoilmaan, mikrobikasvuston esiintyminen sielläkin on

tavanomaista. Vaikka puurakenteen pintaan muodostuu mikrobikasvustoa, se voidaan höylätä siitä pois. Tärkein asia on, ettei mikrobivaurioituneella puurakenteella ole ilmayhteyttä sisäilmaan. Ulkoseinien ja vesikattorakenteiden kostumista tapahtuu työmaa- että käyttöoloissa. Kostuminen saa olla lyhytaikainen, mutta kosteusvaurion riski korostuu etenkin loppukesällä, syksyllä ja talvella. Kriittisiä homeen tai lahon kehittymiseen johtavia olosuhteita ja niiden vaikutusaikoja ei saisi ylittää. Kastuminen on turvallista siihen asti, kun se ei aiheuta vaurioita materiaaleihin. Työmaaoloissa kastumista voidaan välttää tehokkailla sääsuojilla. Suunnitelma ja toteutus tulisi integroida niin, että suunnitelmat on helppo toteuttaa. Jos suunnitelmat ovat liian mutkikkaita tai hankalia toteuttaa, niissä usein epäonnistutaan.

5.2.3 Tarvittavat tutkimukset kosteuden vaikutuksesta puurakenteisiin

Kolmas kysymys koski tarvittavia lisätutkimusaiheita. Alla on suoria lainauksia asiantuntijoiden vastauksista.

- Puutoimistojen, puukerrostalojen ja puutalojen rakenteet kehittyvät nopeasti ja niistä kaivataan uutta tietoa. Esimerkiksi jos kantavan puulevyrakenteen päälle valetaan pintabetonilaatta, kuinka voimakasta mikrobikasvustoa puulevyrakenteen pintaan muodostuu vai muodostuuko ollenkaan, jos puulevy on vedeneristetty?
- Miten sprinkleröityjen puukerrostalojen sammutusvesiä voidaan hallita, että saadaan estettyä koko rakennuksen vaurioituminen tai rajoitetaan vaurioitumisen eteneminen, jos sammutus laukeaa? Miten rakenteet saadaan kuivattua riittävän nopeasti turvalliselle tasolle?
- Mitkä homeet viihtyvät milläkin pinnoilla ja miten ne vaikuttavat ihmisen terveyteen?
- Puurakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavia asioita tulisi tutkia lisää. Mitkä ovat hyviä rakennedetaljeja ja liitostapoja, joilla saadaan taattua mahdollisen pitkäaikainen kestävyys?
- Liimapuussa on ollut pitkään isona kysymyksenä sen halkeilu. Miten ne saataisiin korjattua, miten ne vaikuttavat palkin lujuteen ja onko niitä mahdollista saada estettyä?

- Perustutkimusta aiheesta kaivataan lisää. Työmaalle pitäisi saada tarkempaa tietoa missä kosteudessa tuotteita voidaan asentaa ja koska mikrobikasvustoa alkaa muodostumaan, jos puutuotteita varastoitaisiin ulkona sateelta suojassa?
- Puurakenteiden pitkäaikaiskestävyys, etenkin detaljien suunnittelun ja toteutuksen osalta vaatisi tutkimusta. Samoin ullakkorakenteiden sekä julkisivujen taustan ja tuulensulkurakenteen toimivuuden varmistaminen muuttuvissa ilmasto-oloissa vaatisi tutkimusta: miten ulkoilman kosteuden ja lämpötilan nousu otetaan huomioon rakenteiden, etenkin korkeiden rakennusten osalta suunnittelussa ja toteutuksessa huomioon, etenkin detaljien osalta.

5.2.4 Yhteenveto kyselytutkimuksesta

Kyselytutkimuksen tuloksista kävi ilmi, että alalla työskentelevien asiantuntijoiden mielestä puurakenteita tulisi tutkia lisää. Puurakenteiden tutkimukset ovat keskittyneet enemmän lujuusteknisiin ominaisuuksiin, eikä kosteusvaurioitumista ole tutkittu niin paljon kuin pitäisi. Vastaajilta tuli hyviä ideoita puurakenteiden tulevaisuuden tutkimuksille, joilla puurakennuksista saataisiin kestäviä ja rakentamisesta helpompaa.

5.3 Tapaustutkimus

Sweco Asiantuntijapalvelut Oy on toiminut eri hankkeissa kosteudenhallintakoodinaattorina. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan hankkeita, joissa on käytetty puurakenteita. Hankkeiden työmaa-aikainen kosteudenhallinta on ollut erilaista. Kohteista kerrotaan anonymisti ja niissä kiinnitetään huomiota enemmän kohteen puurakenteisiin kuin koko rakennukseen. Alla olevien kohteiden tiedot on kerätty hankkeiden kosteudenhallintakierrosten raporteista, väli- ja loppuraporteista sekä hankkeiden kosteudenhallintakoordinaattorien haastatteluista. Asiakirjat ja haastattelut eivät ole julkisia.

5.3.1 Tapaustutkimuskohde 1

Tapaustutkimuskohde 1 liittyy koulurakennushankkeeseen, jossa Sweco Asiantuntijapalvelut Oy toimi kosteudenhallintakoordinaattorina. Hankkeen aikana toteutettiin valvontakäyntejä, joista laadittiin muistiot. Kohteen tiedot ovat kerätty kosteudenhallintakoordinaattorin haastattelusta, kosteudenhallintakierrosten muistioista, väliraportista sekä loppuraportista. Käydyt haastattelut ja asiakirjat eivät ole julkisia.

Rakennuksen runko on betonirakenteinen, alapohja osittain maanvarainen ja ulkoseinät ovat sisäkuorielementtejä. Lämmöneristys ja julkisivumuuraus tehtiin työmaalla. Vesikattorakenteena on puurakenteinen kerto-ripa-elementti, joka asennettiin ontelolaattaholvin ja höyrynsulkukermin päälle. Rakennus rakennettiin ilman koko rakennuksen kattavaa sääsuojaa.

Vesikaton rakentaminen aloitettiin tammikuussa. Kun yhden lohkon kattoelementeistä oli asennettu puolet, yläpohjan ja vesikattorakenteen väliin pääsi lunta ja jäätä (Kuva 10). Vesikaton rakenteisiin pääsi myös valumaan vettä, sillä yläpohjarakenteen päälle suunniteltu veden kulkeutumista estävä padotus asennetun ja asentamattoman vesikatteen rajakohdalle oli jätetty tekemättä. Suurin osa lumesta saatiin poistettua höyrynsulkukermin päältä tammikuun loppuun mennessä ja rakenteet olivat silmämääräisesti kuivia. Kaikkia jäitä ei pystytty poistamaan, sillä se olisi voinut vahingoittaa höyrynsulkukermiä. Kun puurakenteet olivat lumen ja jään rasituksen alaisena, ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 93 % ja lämpötilan keskiarvo oli -6,2 °C. Kosteudenhallintakoordinaattorin mukaan osa vesikaton alasidepuusta oli pisimmillään kaksi viikkoa yhtäjaksoisessa vesikosketuksessa. Alasidepuut oli valmistettu höylätavarasta.

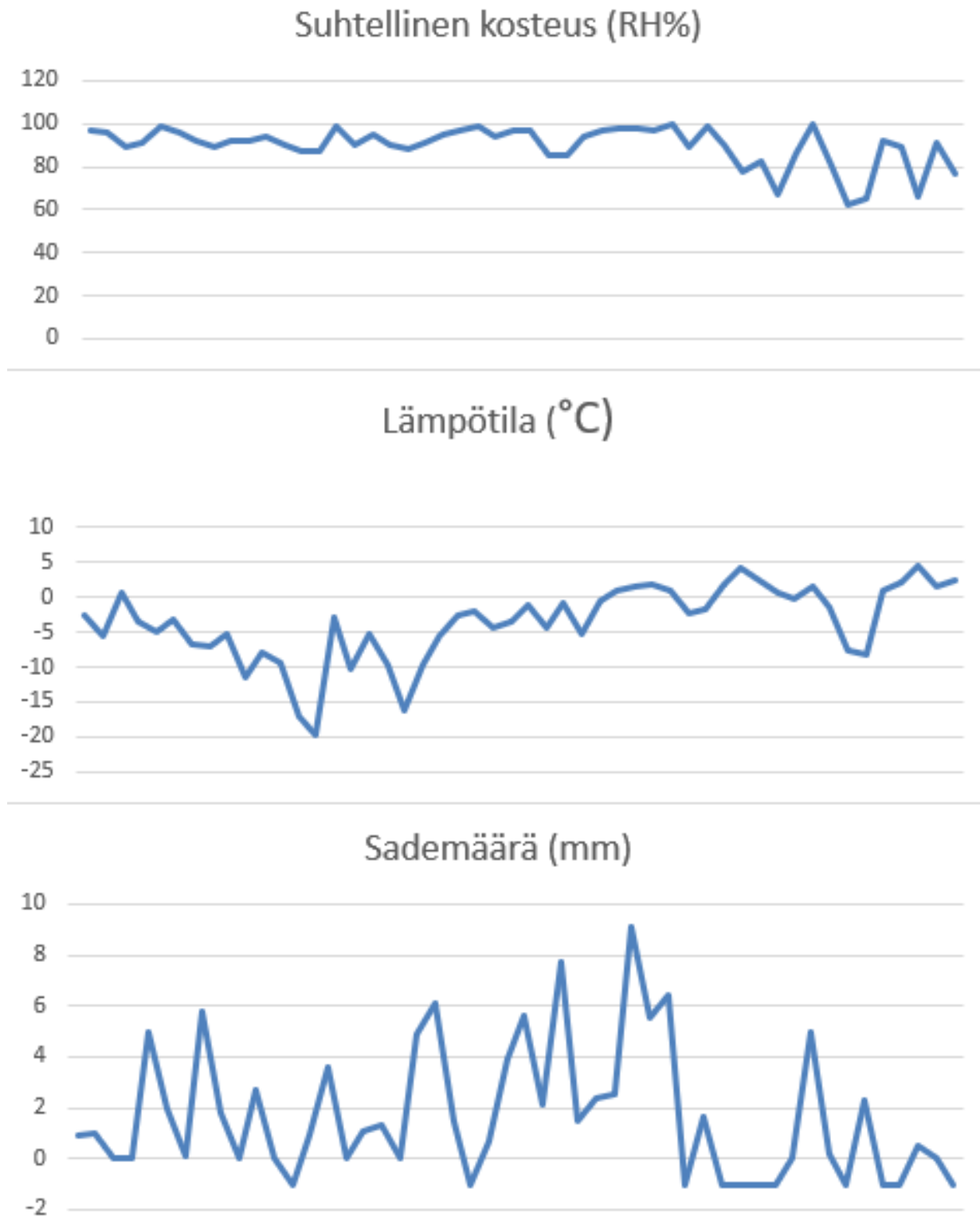
Kuva 10 Vesikaton puurakenne. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto)



Vesikaton asennus toteutettiin lohkoittain, jotta kukin lohko olisi saatu säältä suojaan ennen seuraavan lohkon pystyttämistä. Asennussuunnitelma ei täysin toteutunut toimitusviiveiden vuoksi. Myös sääolosuhteet hankaloittivat asennustyötä. Vesikatto saatiin valmiiksi helmikuun lopulla. Rakenteiden haitallinen kastuminen saatiin kuitenkin estettyä ja vesikaton valmistuttua puurakenteet todettiin riittävän kuiviksi maaliskuun lopussa tehdyssä kosteusmittauksessa. Puurakenteiden kosteutta mitattiin 23 eri mittauspisteestä Gann M18 -puuanturilla ja Gann Hydromette BL H40 -lukulaitteella. Mittauspisteiden kosteudet vaihtelivat 12,3–18,7 p-% välillä, paitsi yhdessä mittapisteessä, jossa kosteus oli 18,1–21,2 p-%. Ullakon lämpötila mittaushetkellä oli 9,8 °C ja ullakon suhteellinen kosteus oli 47 %. Mittausten perusteella kahden viikon yhtäjaksoinen vesikosketus kasteli vain vähäisiä alueita alasidepuista, joten vesikaton puurakenteiden asennustyö onnistui hyvin.

Vesikaton rakentamisen aikana ilman suhteellinen kosteus oli 90–100 % helmikuun puoleen väliin saakka. Lämpötila pysyi myös kylmänä melkein koko ajan. Rakentamisen alussa lämpötila oli yhden päivän plussan puolella, jonka jälkeen pakkaset pysyivät helmikuun 8. päivään asti. Myös vesisadetta esiintyi suurimpana osana ajasta ja niistä 25 päivänä sademäärä oli yli millin. Suurin sademäärä rakentamisaikana oli 9,1 mm. Vesikaton rakentamisen aikaiset sademäärät, lämpötilat ja ilman suhteelliset kosteudet on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 11).

Kuva 11 Ulkoilman olosuhteet vesikaton rakentamisen aikana. Mittauspisteen latitudi = 60.32670 (Ilmantieteen laitos, 2020)



5.3.2 Tapaustutkimuskohde 2

Tapaustutkimuskohde 2 liittyy peruskoulurakennushankkeeseen, jossa Sweco Asiantuntijapalvelut Oy toimi kosteudenhallintakoordinaattorina. Kohteen tiedot on kerätty kosteudenhallintakoordinaattorin haastattelusta, kosteudenhallintakierrosten muistioista ja väliraportista. Käydyt haastattelut ja asiakirjat eivät ole julkisia.

Rakennus oli teräsbetonirakenteinen ja sen vesikatto oli kantavan betoniholvin varaan pystytetty liimapuinen pilari-palkkirunko, jonka varaan asennettiin esivalmistetut puurakenteiset kattoelementit. Vesikaton rakentaminen aloitettiin tammikuun loppupuolella. Vesikaton elementteihin oli kiinnitetty pohjakermi tehtaalla ja vierekkäisten elementtien pohjakermien liitosreunat kiinnitettiin toisiinsa heti asennuksen jälkeen. Rakennuksen vesikatto rakennettiin elementeistä, jotka muodostivat osan sääsuojaa. Rakenne suunniteltiin siten, että vesikatto saataisiin tiiviiksi kahdessa viikossa. Vesikaton aikataulu venyi neljään viikkoon, joten se saatiin tiiviiksi maaliskuun lopussa. Muuttuneen aikataulun vuoksi vesikaton puurakenteet suojattiin, etteivät ne olisi säälle alttiina suunniteltua aikaa pidempään. Vesikate-elementtien alle tuleva liimapuurunko suojattiin tehtaalla Valtti Pohjuste puunsuoja-aineella. Työmaalla sahattavat päät suojattiin viipymättä samalla suoja-aineella. Vesikaton räystäsrakenteet suojattiin muovilla sitä mukaan, kun vesikaton kattoelementit oli saatu paikoilleen (Kuva 12).

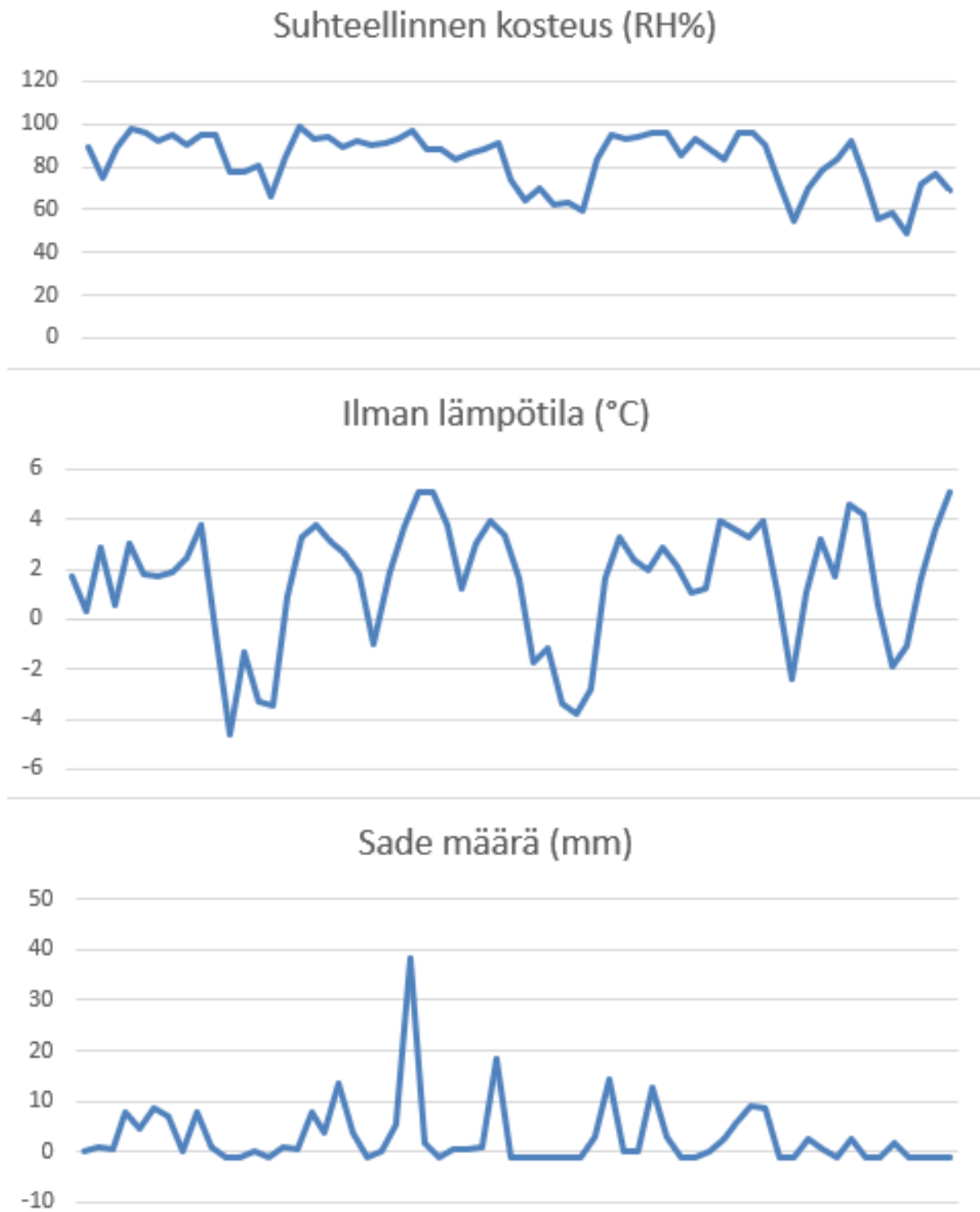
Kuva 12 Muovitettu räystäsrakenne viistosateen suojana. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto)



Rakentamisen aikana katon pilari-palkkijärjestelmä oli paikoittain noin viikon sateessa ja viikon kylmässä talvisäässä. Kuten oli suunniteltukin, mikään puurakenne ei ollut alttiina säälle yli kahta viikkoa. Vesikatto saatiin tiiviiksi maaliskuun alussa ja sen sivut saatiin suojattua muovilla maaliskuun loppupuolella. Vesikattorakenteessa ei havaittu kosteusvaurioita hankkeen aikana.

Vesikaton rakentamisen aikana ilman suhteellinen kosteus oli 80–100 % suurimman osan ajasta. Lämpötila oli enimmäkseen plussan puolella, mutta silti alhainen. Korkein lämpötila vesikaton rakentamisen aikana oli +5,1 °C. Myös sateisia päiviä oli enemmän kuin poutaisia. Vesikaton rakentamisen aikana oli 26 päivää, joina vettä satoi yli 1 mm. Suurin sademäärä oli 38,5 mm. Vesikaton rakentamisen aikaiset sademäärät, lämpötilat ja ilman suhteelliset kosteudet on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 13).

Kuva 13 Ulkoilman olosuhteet vesikaton rakentamisen aikana. Mittauspisteen latitudi = 60.20307
(Ilmantieteen laitos, 2020)



5.3.3 Tapaustutkimuskohde 3

Tapaustutkimuskohde 3 liittyy palvelurakennukseen, jossa Sweco Asiantuntijapalvelut Oy toimi kosteudenhallintakoordinaattorina. Rakennus liitettiin olemassa olevaan rakennukseen yhdeltä sivulta. Kohteessa käytettiin Kuivaketju10-järjestelmää. Kohteen tiedot on kerätty kosteudenhallintakoordinaattorin haastattelusta, kosteudenhallintakierrosten muistioista, väliraporteista sekä loppuraportista. Käydyt haastattelut ja asiakirjat eivät ole julkisia.

Rakennus on suurimmalta osin kaksikerroksinen betonielementtirakenteinen uudisrakennus, jossa on pääosin maanvarainen alapohjarakenne. Rakennuksen yläpohjarakenteena toimii ontelolaatan päälle rakennettu puurunkoinen ristikko, joka on valmistettu rakennesahatavarasta. Rakennus rakennettiin sääsuojan alla. Hankkeen aikana vesikaton sääsuojauksessa oli puutteita, joista aiheutui kattoristikoiden sekä yksittäisten sisätilojen kastumisia. Vesikaton rakentaminen aloitettiin lokakuussa.

Vesikattorakenteen alasidepuut oli valmistettu höylätystä rakennesahatavarasta. Osa alasidepuista joutui kovan kosteusrasituksen alle, kun vesi pääsi lammikoitumaan yläpohjarakenteen kermin päälle (Kuva 14). Vesikaton rakentamisen aikana lammikoitumisia tapahtui viisi kertaa, ja ne tapahtuivat joulukuun ja maaliskuun välillä. Tänä aikana ulkoilman lämpötilan keskiarvo oli $-4,3\text{ °C}$ ja ilman suhteellinen kosteus oli yli 80 % 64 päivänä. Näistä päivistä ilman suhteellinen kosteus ylitti 90 % 31 päivänä.

Rakenteet kastuivat myös puutteellisen sääsuojauksen vuoksi viistosateessa. Yhden lohkon sääsuoja oli puutteellinen maaliskuusta kesäkuuhun, joka altisti rakenteet mahdolliselle viistosateelle. Tämän ajanjakson aikana vettä satoi 87,9 mm ja lämpötila vaihteli $-9,7\text{ °C}$ – $14,9\text{ °C}$ välillä. Lämpötilan keskiarvo oli $2,7\text{ °C}$. Suhteellisen kosteuden mediaaniluku oli 60 % ja päiviä, jona suhteellinen kosteus ylitti 80 %, oli 8 kpl.

Kuva 14 Lammikoitunut vesi yläpohjarakenteen kermin päällä. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto)



Maaliskuun puolivälin jälkeen vesikaton yhden lohkon puurakenteille tehtiin kosteusmittaus, jossa mitattiin alaside-, pysty- ja vinopuiden kosteudet. Kosteusmittausten yhteydessä yhdessä alasidepuussa havaittiin pieni määrä mikrobikasvustoa (Kuva 15). Kyseiset puurakenteet olivat alttiina viistosateelle joulukuusta lähtien. Ne olivat myös kastuneet yläpohjarakenteen päälle muodostuneessa lammikossa 13 päivää ennen mikrobivaurion havaitsemista. Joulukuun alun ja maaliskuun puolivälin välisenä aikana vettä satoi 156,6 mm. Lämpötila pysyi pääosin pakkasen puolella helmikuun alkuun saakka, jonka jälkeen ilma alkoi lämmetä. Helmikuun alun ja maaliskuun puolivälin välillä lämpötila oli pakkasen puolella 19 päivää ja plussan puolella 20 päivää. Pitkäkestoisia plussakelejä ei tänä aikana ollut. Helmi- ja maaliskuun aikana vettä satoi 51,7 mm sekä ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 71 %. Lämpötilan keskiarvo oli -1,5 °C ja korkein lämpötila oli 4,7 °C. Lammikossa kastumisen ja mikrobikasvuston havaitsemisen välisenä aikana ulkoilman lämpötila oli plussan puolella 7 päivää. Lämpötilan keskiarvo oli -1 °C ja korkein lämpötila oli 2,3 °C. Tänä aikana vettä oli satanut 30,6 mm ja ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 61 %. Ilman suhteellinen kosteus ylitti 80 % vain kahtena päivänä.

Kastuneella alueella olleet alasidepuut olivat märkiä, mutta myös kuivana pysyneiden alasidepuiden kosteus oli korkea. Tämä aiheutui talviajan alhaisesta lämpötilasta ja korkeasta ulkoilman suhteellisesta kosteudesta. Vesikattorakenteen rakentaminen aloitettiin lokakuun puolivälissä, jonka jälkeen ilman suhteellinen kosteus pysyi suurimman osan ajasta yli 90 %. Alasidepuiden kosteus vaihteli 15–28 p-% välillä. Pysty- ja vinopuiden, joiden tiedetään pysyneen käytännössä kuivina, kosteus vaihteli 9–19 p-% välillä, enimmäkseen 16–18 p-%. Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:n kosteudenhallintakoordinaattori suositteli, että alasidepuut tarkastetaan vasta myöhemmin keväällä ja vaurioituneet alasidepuut vaihdetaan, koska mikrobikasvustoa voi muodostua talven aikana lisää.

Kuva 15 Vesikattorakenteen alasidepuun kosteusmittaus. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto)



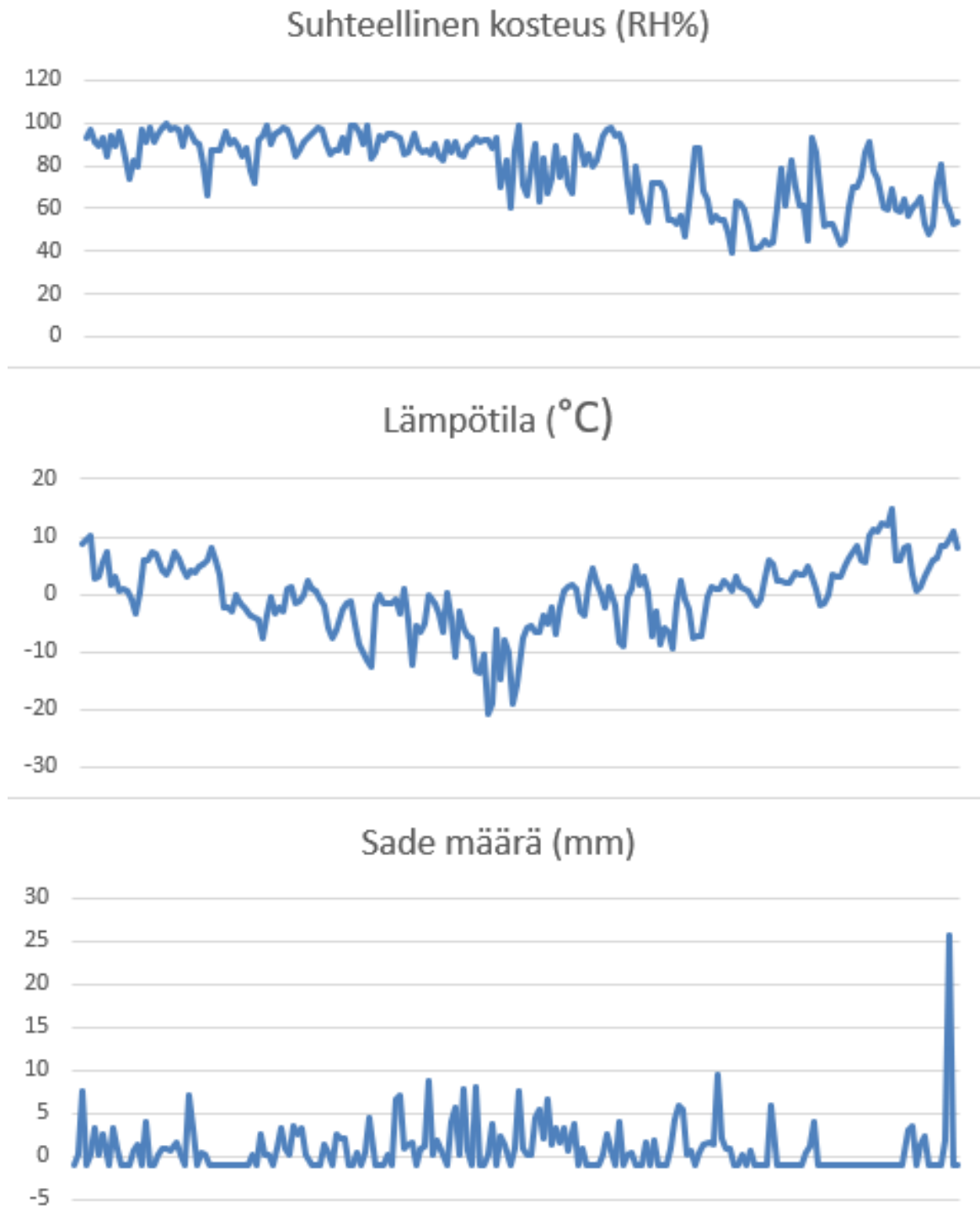
Kastuneiden puurakenteiden annettiin kuivua itsestään. Yläpohjatila on korkea varsinkin rakennuksen keskiosalla, joten puurakenteiden kastumisen jälkeen osa yläpohjan sivuista jätettiin auki useamman kuukauden ajaksi, jotta ilmankierto saatiin varmistettua. Tästä syystä auki olevien sivujen julkisivurakenteet rakennettiin myöhemmin. Yläpohjarakenteen aukot suojattiin, ettei

vesikaton valmistuttua vettä pääse rakenteisiin. Yläpohjan kuivumisolosuhteita seurattiin myös jatkuvatoimisilla loggereilla noin puolen vuoden ajan. Yläpohjan ontelokenttä oli sen verran epätasainen, ettei osa alasidepuista ollut tiiviisti kiinni ontelolaatan päälle asennettua höyrynsulkukermiä, joka auttoi ilmankiertoa alasidepuiden alta. Rakenteiden kuivumista myös edesauttoi se, ettei alasidepuuna ollut käytetty liimapuuta.

Kattoristikoiden kastuneiden alasidepuiden kunto tarkistettiin kesäkuussa, tarkastelemalla niiden kuntoa aistinvaraisesti ja poraamalla puista 18 näytekappaletta. Näytekappaleissa ei havaittu vaurioita. Yläpohjan sivut suljettiin kosteusmittauksen jälkeen.

Vesikattoa rakennettiin noin 210 päivää. Vesikaton rakentamisen aikana ulkoilman lämpötila oli yhtä paljon plussan kuin pakkasen puolella. Sateisia päiviä esiintyi hieman enemmän kuin poutaisia. Sateisia päiviä, joihin satoi yli 1 mm vettä, oli 64. Suurin päivänäkainen sademäärä oli 25,8 mm. Suhteellisen kosteuden mediaaniluku vesikaton rakentamisen aikana oli 84 %. Vesikaton rakentamisen aikaiset sademäärät, lämpötilat ja ilman suhteelliset kosteudet on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 16).

Kuva 16 Ulkoilman olosuhteet vesikaton rakentamisen aikana. Mittausaseman latitudi = 60.96211
(Ilmantieteen laitos, 2020)

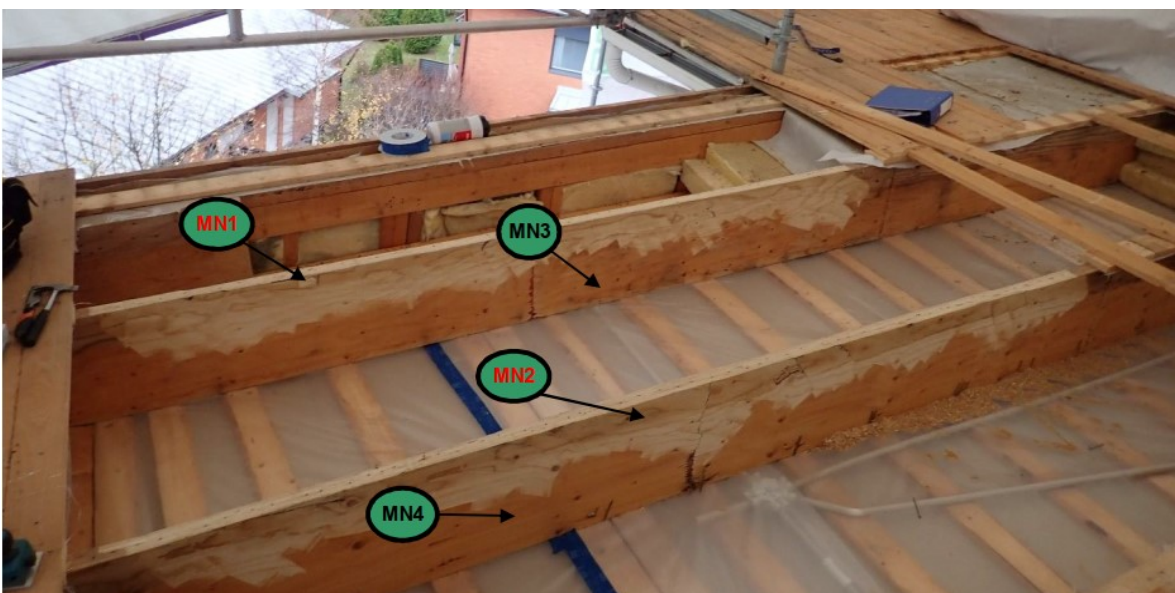


5.3.4 Tapaustutkimuskohde 4

Tapaustutkimuskohde 4 liittyy erillistaloista koostuvaan kiinteistöön, jossa Sweco Asiantuntijapalvelut Oy toimi laadunvarmistustehtävissä. Kiinteistöön oli tehty kattoremontti vuonna 2018. Kattoremontissa uusittiin vesikate ja lämmöneriste. Kattoremontin yhteydessä huomattiin, että kattorakenteen kertopuisissa kattokannattajissa on kosteusvaurioita. Rakennus oli rakennettu 1980-luvulla, eli sen rakenteiden kastumista ei ollut pyritty estämään niin tarkasti kuin nykyään pyritään. Vesikatossa oli myös ollut vuotoja. Kohteen tiedot on kerätty tutkijan haastattelusta ja merkkiainekokeen tutkimusselostuksesta. Käydyt haastattelut ja asiakirjat eivät ole julkisia.

Yläpohjan vanhoissa lämmöneristeissä ja kertopuisissa kattokannattajissa todettiin mikrobikasvustoa (Kuva 17). Kattokannattajissa kasvustoa todettiin olevan kannattajien yläosassa. Kattokannattajien alaosassa eli lämmöneristeiden kohdalla kasvustoa ei todettu olevan. Kattokannattajien yläosassa on melkein ulkoilman olosuhteet, joten kannattajiin kasvuston muodostumista ei voi estää.

Kuva 17 Kattokannattajien mikrobinäytteiden kohdat. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto)



Kattokannattajien yläosat höylättiin, jotta kosteusvaurion aiheuttamat tummentumat poistuvat ja kannattajasta tuli puhdas. Höyläyksen jälkeen kannattajista otetuista näytteistä todettiin, että kannattajissa on edelleen mikrobikasvustoa (Kuva 18). Tämä johtuu siitä, että kertopuun yläosassa mikrobikasvustoa syntyy myös liimakerroksen sisään.

Kuva 18 Puhtaaksi höylätyn kattokannattajan mikrobinäyte kohta. (Sweco, sisäinen arkisto, henkilökohtainen tiedonanto)



Koska mikrobikasvustoa ei saatu pois puusta, tiiveys asuintilasta yläpohjaan tarkistettiin merkkiainekokeella. Merkkiainekokeella varmistettiin se, ettei kannattajissa kasvavan mikrobikasvuston haitalliset aineenvaihduntatuotteet pääse kulkeutumaan sisäilmaan.

5.3.5 Yhteenveto tapaustutkimuksista

Tapaustutkimuksissa kriittinen ajankohta oli vuoden alku. Alkuvuodesta ilman suhteellinen kosteus on erittäin korkea, mutta matalien lämpötilojen vuoksi homeen kasvu on erittäin hidasta tai jopa mahdotonta (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka & Viitanen, 1999, s. 35). Tapaustutkimukset osoittavat sen, että homehtuminen vaatii monen asian yhteisvaikutuksen. Moni puurakenne oli suorassa vesikosketuksessa kaksi viikkoa, jonka jälkeen rakenne oli märkä vielä jonkin aikaa. Näihin rakenteisiin ei syntynyt mikrobikasvustoa, koska sinä aikana lämpötila ja/tai ilman suhteellinen kosteus ei ollut otollinen mikrobikasvuston syntymiselle.

Tapaustutkimuksessa syntynyt mikrobikasvusto on mahdollisesti voinut muodostua jo vesikaton rakentamisen alussa. Silloin lämpötila pysyi plussan puolella ja ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 91 % noin kuukauden ajan. Mikrobivaurioitunut rakenne oli alttiina viistosateelle joulukuusta lähtien, mutta helmikuuhun asti lämpötila oli pääsääntöisesti pakkasen puolella. Helmikuun ja maaliskuun välillä lämpötila alkoi nousemaan plussan puolelle, mutta pakkaspäiviä esiintyi silti melkein yhtä paljon kuin plussan puolella olevia päiviä. Helmikuun ja maaliskuun puolivälin välillä vettä satoi 51,7 mm, ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 71 % ja lämpötilan keskiarvo oli -1,5 °C. Korkein lämpötila oli 4,7 °C. Alle 5 °C lämpötilassa mikrobikasvuston syntyminen on erittäin hidasta (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka & Viitanen, 1999, s. 35), eikä joului- ja maaliskuun välisenä aikana ollut pitkäkestoisia plussakelejä. Mikrobivaurioitunut rakenne oli myös kastunut yläpohjarakenteen päälle syntyneessä lätäkössä 13 päivää ennen mikrobivaurion havaitsemista, mutta huonojen olosuhteiden vuoksi mikrobikasvustoa ei olisi kerennyt muodostua sinä aikana.

6 Tulosten analysointi

Tässä luvussa käydään läpi eri tutkimusmenetelmien tulosten analysointia. Tulosten analysoinnit esitetään alaluvuissa tutkimusmenetelmittäin, analysoinnin esityksen selkeyttämiseksi.

6.1 Kirjallisuustutkimuksen analysointi

Tehtyjä tutkimuksia insinööripuutuotteiden kosteusvaurioitumisesta löytyi erittäin vähän. CLT:n ja LVL:n pitkäaikaisen kosteusrasituksen vaikutusta oli tutkittu hieman, mutta muista tuotteista ei samanlaisia tutkimuksia löytynyt. Suurin osa tutkimuksista oli tehty hallituissa olosuhteissa, jotka eivät kuvaa työmaan muuttuvia olosuhteita. Tutkimuksia ei löytynyt MHM:stä, GLVL:stä sekä halkaistusta liimapuusta, mutta voisi olettaa, että GLVL:n ja halkaistun liimapuun kosteuskäyttäytyminen on samanlaista kuin LVL:ssä tai liimapuussa, mutta tämä ei tietenkään ole varmaa.

Liimapuusta oli teetetty tutkimus muuttuvan ilmankosteuden vaikutuksesta sen leikkauslujuuteen. Tutkimus osoitti, ettei kuuden kuukauden kosteusrasituksella ole vaikutusta liimapuun

leikkauslujuuteen, mutta aihetta olisi mahdollista vielä tutkia kokoaikaisen kuormituksen alla olevien liimapuupalkkien kanssa. CLT- ja LVL-paneelien tutkimuksista selvisi, että paneelien syrjä- ja päätypinnat tulisi käsitellä hydrofobisella pinnoitteella, sillä sen kastuminen niiden kautta on erittäin nopeaa ja kuivuminen hidasta. CLT-paneelia ympäröivä rakenne tulisi suunnitella siten, että rakenne pystyy luovuttamaan kosteutta molempiin suuntiin, jotta rakenne kuivuisi mahdollisimman nopeasti, jos se pääsee kastumaan. CLT-paneelin kosteudenkestävyys oli hyvä, eikä rakenteeseen syntynyt kosteusvaurioita, vaikka sen kosteuspitoisuus sekä ympäröivän ilman olosuhde oli riittävä vaurioiden syntymiselle. Rakennesahatavaran tutkimuksessa selvisi, että sen kuivumisen aiheuttamat halkeamat ovat verrannollisia siihen, kuinka kaukaa puun ydintä lauta on sahattu.

6.2 Kyselytutkimuksen analysointi

Kyselytutkimuksessa tuli selville, että alan parissa työskentelevien asiantuntijoiden mielestä kosteuden vaikutusta puurakenteisiin tulisi tutkia lisää. Uusista, nopeasti kehittyvistä puurakenteista kaivataan seurantaa ja uutta tutkimustietoa. Myös puurakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavia asioita tulisi selvittää, esimerkiksi mitkä ovat hyviä rakennedetaljeja, liitostapoja ja toteutustapoja. Perustutkimusta ja -tietoa kaivattaisiin lisää, jotta työmaahenkilöstölle saataisiin tarkemmat ohjeet missä olosuhteissa tuotteita voidaan asentaa sekä miten työmaalla tapahtuvia kosteusongelmia voidaan ratkaista. Vastaajista yksi kuudesta oli sitä mieltä, että mikrobeista tiedetään jo melko paljon ja siihen on kiinnitetty enemmän huomiota viime vuosina. VTT ja TTY on kehittänyt homemallin, jonka avulla voidaan arvioida homeen kasvua eri rakennusmateriaalien pinnoilla muuttuvissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa ajan funktiona (Tampereen yliopisto, n.d.).

Suurimman osan kyselyyn vastanneiden mielestä esimerkiksi yläpohjan ja ulkoseinän puurakenteiden kastuminen ei ole ongelma, kunhan kriittisiä homeen ja lahon kehittymiseen johtavia olosuhteita ja niiden vaikutusaikoja ei ylitetä. Kostuminen saa olla vain lyhytaikainen, joten kastuneiden rakenteiden kuivatukseen on ruvettava välittömästi. Rakenteiden, jotka eivät pääse helposti luovuttamaan kosteutta, tulisi olla kuivana, mutta jos sellaiset rakenteet kastuvat, tulisi niiden riittävästä kuivumisesta varmistua. Eri rakenteet ovat yhteydessä ulkoilmaan, joten

homeen esiintyminen sellaisissa rakenteissa on normaalia. Tärkein asia on huolehtia, ettei mikrobikasvustolla ole ilmayhteyttä sisäilmaan.

6.3 Tapaustutkimuksen analysointi

Tapaustutkimuksen kohteissa puurakenteet olivat erilaisia ja ne altistuivat monenlaisille kosteusrasituksille. Suurimman kosteusrasituksen alaisena olivat vesikattojen alasidepuut. Alasidepuut oli valmistettu höylätystä rakennesahatavarasta. Osa kohteista oli toteutettu sääsuojalla ja osa ilman sääsuojaa. Kohteissa missä sääsuojaa ei ollut käytetty, vesikaton rakentaminen oli suunniteltu siten, että vesikatto saadaan nopeasti valmiiksi ja siten rakenteet saadaan säältä suojaan tiiviin vesikatteen alle. Yhdessä kohteessa missä sääsuojaa ei ollut käytetty, puurakenteet oli suojattu puunsuoja-aineella.

Rakentamisen aikana osa puurakenteista pääsi kastumaan. Kastumisia aiheutui sääsuojaamattomuudesta, sääsuojien riittämättömyydestä tai sulamisvesistä, joiden kulkeutumisen estämiseksi ei ollut rakennettu padotuksia. Yhdessä tapaustutkimuskohteessa rakennuksen vesikaton yksi lohko oli alttiina viistosateelle noin kolmen kuukauden ajan, vaikka sääsuojan puutteellisuudesta mainittiin monesti.

Tapaustutkimukset ajoittuivat pääsääntöisesti talviaikaan, jolloin ilman suhteellinen kosteus on korkea. Talviajan matala lämpötila kuitenkin tekee homeen kasvusta hidasta tai jopa mahdotonta. Kohteiden vesikattojen alasidepuut altistuivat kovalle kosteusrasitukselle, mutta kastumisen aikaiset lämpötilat eivät olleet otollisia homeen kasvun alkamiselle. Kolmas tapaustutkimuskohde, jonka vesikaton rakentaminen aloitettiin loppusyksystä, altistui korkealle ilman suhteelliselle kosteudelle sekä lämpötiloille, jotka ovat homeen kasvulle riittävät. Tässä kohteessa havaittiin pieni määrä mikrobikasvustoa vesikaton alasidepuussa, joka oli altistunut viistosateelle joulukuusta lähtien. Alasidepuu oli myös kastunut yläpohjarakenteen päälle syntyneessä lätäkössä 13 päivää mikrobikasvuston havaitsemista aiemmin. Mikrobikasvusto havaittiin maaliskuun puolivälissä. Lämpötila pysyi pakkasen puolella helmikuun alkuun saakka, jonka jälkeen ilma alkoi lämmetä. Helmikuun alun ja maaliskuun puolivälin välisenä aikana lämpötila oli plussan puolella 20 päivänä ja pakkasen puolella 19 päivänä. Kaikki plussan puolella olleet päivät eivät olleet

peräkkäisiä, vaan pakkaspäiväjaksoja esiintyi myös lyhyiden plussapäiväjaksojen välissä. Helmikuun alun ja maaliskuun puolivälin välisenä aikana vettä satoi 51,7 mm, ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 71 % ja lämpötilan keskiarvo oli -1,5 °C. Korkein lämpötila tänä aikana oli 4,7 °C. Kun alasidepuut kastuivat lammikossa, oli lämpötila plussan puolella 7 päivää ennen mikrobikasvuston havaitsemista. Korkein lämpötila oli 2,3 °C. Tänä aikana vettä oli satanut 30,6 mm ja ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 61 %. Ilman suhteellinen kosteus ylitti 80 % vain kahtena päivänä.

Vaikka rakenteet olivat joului- ja maaliskuun välillä pitkäaikaisen kosteusrasituksen alaisena, on silti mahdollista, että mikrobikasvusto oli muodostunut jo syksyllä vesikaton rakentamisen alussa. Syksyllä olosuhteet olivat otolliset mikrobikasvuston syntymiselle, koska noin kuukauden ajan lämpötila pysyi plussan puolella ja ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 91 %. Kosteusrasituksen aikana lämpötila pysyi pääsääntöisesti pakkasen puolella eikä lämpötila noussut yli 5 °C. Mikrobikasvuston muodostuminen on hidasta alle 5 °C lämpötilassa (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka & Viitanen, 1999, s. 35), eikä kosteusrasituksen aikana pitkäkestoisia plussakelejä ollut.

Kastuneiden puurakenteiden annettiin kuivua itsestään varmistamalla riittävä ilmankierto. Ilmankierto saatiin varmistettua esimerkiksi jättämällä osa yläpohjan sivuista auki useamman kuukauden ajaksi. Kastuneiden rakenteiden kuivuminen varmistettiin kosteusmittauksin. Kosteutta mitattiin monista eri pisteistä, jotka valittiin pistokoemaisesti. Kastuneiden rakenteiden kosteusvaurioitumista tarkasteltiin näytepaloin. Näytepalat otettiin kastuneilta alueilta ja niitä tarkasteltiin silmämääräisesti.

Tapaustutkimuksissa tuli esille, että kosteudenhallinnan varmistamiseksi tulee varmistaa ainakin seuraavat asiat: Hyvät olosuhteet, jossa kastunut materiaali pääsee kuivumaan helposti. Materiaalivalmistajan ohjeiden noudattaminen, jos materiaali joudutaan altistamaan sääolosuhteille. Rakennuksen sääsuojan tarkoituksenmukaisuus sekä kaikkien hankkeessa olevien osallistuminen kosteudenhallintaan.

7 Tulosten tulkinta

Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymyksiin tulkiten analysoitua aineistoa. Luvussa kootaan yhteen eri tutkimusmenetelmien antamat tulokset puurakenteiden kosteusvaurioitumisesta sekä tarvittavista tutkimuksista, joiden avulla kosteudenhallintaa pystyttäisiin kehittämään.

7.1 Kuinka kauan puu saa kastua työmaaolosuhteissa, ennen kuin se alkaa homehtumaan

Puurakenteiden mikrobivaurioitumisen mahdollisuutta ei voida määrittää pelkästään puun kosteuden perustella, vaan se vaatii kosteuden, lämpötilan, vaikutusajan ja vaihtelun yhteisvaikutuksen (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka, & Viitanen, 1999, s. 35). Tämän vuoksi on vaikea sanoa missä kosteudessa puurakenteet alkavat homehtumaan.

Yhdessä tapaustutkimuskohteessa havaittiin pieni määrä mikrobikasvustoa vesikaton alasidepuussa. Mikrobikasvusto havaittiin kosteusmittauksen yhteydessä maaliskuun puolivälissä. Kosteusmittauksessa mitattiin vesikaton yhden lohkon alasidepuut ja niiden kosteudet olivat 15–28 p-% välillä. Alasidepuut olivat alttiina viistosateelle joulukuusta lähtien sekä ne olivat kastuneet yläpohjarakenteen päälle syntyneessä lätäkössä 13 päivää ennen mikrobikasvuston havaitsemista. Viistosateelle altistumisen aikana lämpötila pysyi pakkasen puolella helmikuun alkuun saakka, jonka jälkeen ilma alkoi lämmetä. Helmi- ja maaliskuun aikana plussapäiviä esiintyi melkein saman verran kuin pakkaspäiviä. Kaikki plussan puolella olleet päivät eivät olleet peräkkäisiä, vaan pakkaspäiväjaksoja esiintyi myös lyhyiden plussapäiväjaksojen välissä. Helmi- ja maaliskuun aikaisen lämpötilan keskiarvo oli -1,5 °C ja korkein lämpötila oli 4,7 °C. Lätäkössä kastumisen ja mikrobikasvuston havaitsemisen välisenä aikana ulkoilman lämpötila oli seitsemän päivää plussan puolella. Näistä seitsemästä päivästä ilman suhteellinen kosteus ylitti 80 % kahtena päivänä ja korkein lämpötila oli 2,3 °C. Joulu- ja maaliskuun välisen kosteusrasituksen aikana otolliset olosuhteet homeen kasvulle kestivät vain lyhyen ajan. Tänä aikana lämpötila ei noussut yli 5 °C, joten mikrobikasvuston syntyminen olisi erittäin hidasta (Kokko, Ojanen, Salonvaara, Hukka & Viitanen, 1999, s. 35). On siis mahdollista, että mikrobikasvusto oli syntynyt jo aikaisemmin. Kyseisen vesikaton rakentaminen aloitettiin lokakuussa, jonka jälkeen kuukauden ajan ulkoilman

lämpötila oli plussan puolella ja ilman suhteellinen kosteus yli 90 %. Mikrobikasvusto on mahdollisesti syntynyt silloin.

Samassa tapaustutkimuskohteessa tapahtui myös neljä muuta lammikoitumisesta johtuvaa alasidepuiden kastumista. Kastumiset tapahtuivat joulukuun ja maaliskuun välissä, jonka aikana ulkoilman lämpötilan keskiarvo oli $-4,3$ °C. Näissä alasidepuissa mikrobikasvustoa ei havaittu.

Toisessa tapaustutkimuskohteessa ei käytetty sääsuojaa, jonka takia rakenteiden kastumisia tapahtui. Kosteudenhallintakoordinaattorin mukaan alasidepuut olivat suorassa vesikosketuksessa korkeintaan kaksi viikkoa, mutta alasidepuiden kosteus pysyi korkeana myös veden poiston jälkeen. Kohteen vesikatto rakennettiin vuoden alussa ja sen rakentamisessa meni noin 50 päivää. Rakentamisen aikana lämpötila oli plussan puolella 15 päivää ja korkein lämpötila oli $4,4$ °C. Vesikaton rakentamisen aikana homeen kasvu olisi ollut joko todella hidasta tai jopa mahdotonta.

Insinööripuutuotteiden tutkimuksissa liimapuiden sekä CLT- ja LVL-paneelien kosteuspitoisuus oli korkea suhteellisen pitkään, eikä mikrobikasvustoa syntynyt. LVL:n tutkimus suoritettiin sisätiloissa, joten ympäröivän ilman olosuhde ei ole ollut sopiva mikrobikasvuston syntymiselle. CLT:n tutkimuksessa paneelit olivat ulkoilmassa ja tutkimuksessa mainittiin, että ympäröivän ilman olosuhteet olivat suotuisia mikrobivaurioitumisen alkamiselle, mutta silti niitä ei syntynyt.

Home ei pysty tunkeutumaan puun pintaa syvemmälle mutta siihen on silti suhtauduttava vakavasti, koska homeen levittämät itiöt ovat haitallisia terveydelle (Puuinfo, 2020b). Viimeisessä tapaustutkimuskohteessa huomattiin, että mikrobeja voi muodostua kertopuun liimakerrosten väliin. Mikrobikasvuston muodostuminen liimakerrosten sisään hankaloitti kasvuston poistoa höyläämällä, joten tällaisessa tilanteessa täytyy varmistaa, ettei mikrobit pääse kulkeutumaan sisäilmaan. Mikrobivaurioiden syntyminen on normaalia rakenteissa, joilla on yhteys ulkoilmaan. Tärkeintä on varmistaa, ettei kasvustolla ole ilmayhteyttä sisäilmaan.

Tapaustutkimuksista saatu tieto osoittaa Kokon, Ojasen, Hukan ja Viitasen (1999, s. 35) väitteen puun mikrobivaurioitumisesta todeksi. Puun mikrobivaurioituminen vaatii kosteuden, lämpötilan, vaikutusajan ja vaihtelun yhteisvaikutuksen. Monessa tapaustutkimuskohteessa rakenteet olivat kovan kosteusrasituksen alaisena, mutta mikrobikasvustoa ei syntynyt esimerkiksi liian alhaisen

lämpötilan vuoksi. Tapaustutkimusta saadun tiedon perusteella voidaan todeta, että rakennesahatavaran käyttö talviolosuhteissa on turvallista. Pääosin talviolosuhteissa lämpötila pysyy pakkasen puolella, mutta mahdollisten lyhyiden ajanjaksojen aikana, kun lämpötila on plussan puolella, rakennesahatavara ei ala homehtumaan.

7.2 Mitä tutkimuksia puurakentamisen kosteudenhallinta vaatii tulevaisuudessa

Kosteudenhallinnan kehittämisen vuoksi tulisi eri puurakenteiden ja -tuotteiden kosteuskäyttäytymistä tutkia lisää. Kirjallisuustutkimuksessa käytetyt tutkimukset oli pääsääntöisesti tehty hallituissa sisäolosuhteissa, jotka eivät vastaa työmaan muuttuvia sääolosuhteita. Siitä syystä tulisi eri puurakenteiden kosteuskäyttäytymistä tutkia työmaaolosuhteiden kaltaisissa olosuhteissa. Tutkimuksissa tulisi tarkkailla rakenteen kastumista, kuivumista ja kosteusvaurioitumista. Tutkimuksia tulisi tehdä yleisimmin käytetyistä puutuotteista, kuten höylätystä rakennesahatavarasta ja liimapuusta. Tutkimuksia tulisi myös tehdä tuotteista, joista aiempaa tutkimustietoa ei ole. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi LVL, GLVL ja MHM.

Tutkimukset tulisi tehdä ulkoilmassa, koska siellä ne ovat muuttuvissa olosuhteissa, kuten työmaalla. Rakenteiden kosteusvaurioitumista on mahdollista tutkia siten, että tutkittava puumateriaali jätettäisiin ulos suojaamatta esimerkiksi vuoden tai vuodenajan pituiseksi ajaksi. Tutkimuksen aikana puurakenteen kosteutta mitattaisiin sekä kosteusvaurioiden syntymistä ja laajenemista tarkkailtaisiin säännöllisin väliajoin. Tutkimuksia voisi myös toteuttaa siten, että puurakenteet suojataan sateelta, mutta altistetaan ulkoilman lämpötilalle ja ilman suhteelliselle kosteudelle. Näin pystyttäisiin tutkimaan puurakenteiden kosteuskäyttäytymistä tilanteessa, jossa ne olisivat varastoituna ulkona sateelta suojassa. Kosteusvaurioitumisen lisäksi tulisi myös tutkia eri puutuotteiden kuivumisesta. Tutkimuksissa tulisi selvittää parhaat kuivausmenetelmät, jotta niitä voitaisiin hyödyntää työmaalla.

Tutkimuksilla saadaan tietoa rakenteiden kosteuskäyttäytymisestä oikeissa työmaaolosuhteissa. Tällä tiedolla kosteudenhallintakoordinaattori pystyisi arvioimaan paremmin kastuneiden rakenteiden kosteusvaurioitumisen riskin sekä määrittämään mahdollisimman tehokkaat kuivumismenetelmät kastuneille rakenteille rakenteen mukaan. Tutkimuksilla saataisiin myös lisää

tietoa työmaahenkilöstölle, jotka pystyisivät toimimaan paremmin rakentamisvaiheen kosteudenhallinnassa. Iso osa kosteudenhallinnan onnistumisesta on kiinni työmaan henkilöstöstä ja jos heille voitaisiin antaa parempi tieto eri rakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta, kosteudenhallinta voisi onnistua paremmin. Kyselytutkimuksessa esille tullut puukerrostalojen sprinklerijärjestelmien laukeamisen aiheuttaman kastumisen kuivatus hyötyisi paljon siitä, että mahdollisimman tehokas kuivausjärjestelmä osattaisiin valita. Jos rakenteet saataisiin kuivattua nopeasti ja kosteusvaurion eteneminen estettyä, säästyttäisiin suurilta korjauskustannuksilta.

Kosteudenhallintaa auttaisi, että jo suunnitteluvaiheessa mietittäisiin mahdollisen vesivahingon syntymistä puurakennuksessa. Kirjallisuustutkimuksessa selvisi, että CLT- ja LVL-paneelit eivät ime paljoa vettä lapepinnan kautta, mutta jos vettä valuu rakenteiden liittymien kautta paneelien syrjäpinnoille, kastuminen on runsaampaa ja sen kuivuminen hitaampaa. Puukerrostalojen rakenneliittymät eivät ole niin tiiviitä, ettei vesivahingon sattuessa vesi pääsisi kulkeutumaan puuelementin syrjäpinnalle. Asiantuntijoiden vastausten perusteella parhaat rakennedetaljit ja liitostavat olisi hyvä selvittää, joten ehkä tämä asia tulisi myös ottaa esille niiden kehityksessä.

Kyselytutkimuksesta saadun tiedon perusteella myös sääsuojat tarvitsivat kehitystä ja niiden käyttöön tulisi suhtautua huolellisemmin. Usein sääsuojatun kohteen kastuminen johtuu sääsuojan riittämättömyydestä, monimutkaisesta toteuttamisesta tai hitaasta sääsuojan epäkohtien korjaamisesta. Sääsuoja on myös suuri kustannuserä, minkä takia sitä ei välttämättä käytetä. Sääsuojan rikkoutuessa se tulisi korjata mahdollisimman nopeasti, jotta siitä johtuva kastumisen riski saataisiin poistettua. Jos sääsuojista kehitettäisiin yksinkertaisempia ja varmempia, saataisiin mahdollisesti niiden kustannuksiakin halvemmaksi pienemmän työmäärän vuoksi.

8 Pohdinta

Puurakentamisen ja kosteudenhallinnan kehittäminen vaatii lisää tutkimuksia, myös alan asiantuntijoiden mukaan. Puurakenteet kehittyvät kovaa vauhtia, eikä niistä ole kovin paljoa tutkimustietoa saatavilla. Tutkimuksia puurakenteiden kastumisesta, kuivumisesta ja kosteusvaurioitumisesta työmaaolosuhteissa tulisi tehdä lisää. Tutkimustietoa olisi mahdollista hyödyntää kosteudenhallinnassa. Laajempi tieto puurakenteista mahdollistaa tarkemman kosteudenhallintasuunnitelman laatimisen. Sääsuojausmenetelmän valitseminen olisi helpompaa, kun olisi riittävä tieto, miten käytettävät puumateriaalit käyttäytyvät työmaaolosuhteissa. Kosteudenhallinnan toteutuminen on jokaisen työmaalla työskentelevän vastuulla ja sen parantamiseksi tarvitaan työmaalle lisää tietoa puurakenteiden kosteudenkestokyvystä. Työmaahenkilöstö pystyisi tunnistamaan herkästi kastuvan tai huonosti kuivuvan rakenteen ja toimimaan sen edellyttämällä tavalla.

Tapaustutkimuksissa osa puurakenteiden kastumisista johtui kosteudenhallintakoordinaattorin ohjeiden noudattamatta jättämisestä. Työnjohdon tulisi varmistaa, että kosteudenhallintakoordinaattorin korjaussuositukset tehdään mahdollisimman nopeasti, varsinkin jos ne koskevat mahdollista rakenteiden kastumisriskiä. Kosteudenhallintaa tulisi valvoa samalla tavalla kuin työturvallisuutta, eli sen pitäisi tapahtua automaattisesti työmaakerroksen yhteydessä. Kosteudenhallinta on pakollista nykypäivän rakentamisessa ja jokaisen työmaalla työskentelevän olisi hyvä tietää perusasiat kosteudenhallinnasta.

Puurakenteita ja kosteudenhallintaa käsitellessäni aihe avautui kokonaisuutena minulle todella hyvin. Opin paljon erilaisista puurakenteista, kosteudesta, kuivumisesta sekä kosteusvaurioiden syntymisestä. Sain todella hyvää ohjausta opinnäytetyöni kanssa oppilaitoksesta ja varsinkin Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:n asiantuntijoilta. Opinnäytetyötäni voisi käyttää puurakenteiden ja kosteudenhallinnan kehityksessä sekä jatko-opintojen kehityshankkeen alkuna. Opinnäytetyössä on tullut esille eri aiheita, mitä olisi hyvä tutkia tulevaisuudessa. Mielestäni puurakentamisessa on vielä paljon kehitettävää ja toivon, että siihen kiinnitetään enemmän huomiota ja sen kehittämiseen myönnetään rahoitusta tulevaisuudessa.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa puurakenteiden kosteusteknisestä tutkimuksista sekä puurakenteiden kosteusvaurioitumisesta. Tutkimusmenetelminä opinnäytetyössä käytettiin kirjallisuus-, kysely- ja tapaustutkimusta. Näiden tutkimusmenetelmien avulla pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Kuinka kauan puu saa kastua työmaaolosuhteissa, ennen kuin se alkaa homehtumaan?
- Mitä tutkimuksia puurakentamisen kosteudenhallinta vaatii tulevaisuudessa?

Tapaustutkimuksen avulla saatiin todistettua Kokon, Ojasen, Salovaaran ja Viitasen (1999, s. 35) väittämiä ”puurakenteiden mikrobivaurioitumisen mahdollisuutta ei voida määrittää pelkästään puun kosteuden perusteella, vaan se vaatii kosteuden, lämpötilan, vaikutusajan ja vaihtelun yhteisvaikutuksen” todeksi. Tästä syystä puun homehtumisen raja-arvoa ei voida määrittää pelkällä kastumisella. Tapaustutkimuksesta saadun tiedon perusteella voidaan todeta, että rakennesahatavaran käyttö yläpohjarakenteissa on turvallista, ainakin talviolosuhteissa.

Kosteudenhallinnan parantamiseksi saatiin ideoita vertailemalla kirjallisuus- ja tapaustutkimuksesta saatua tietoa. Kirjallisuustutkimuksessa käytetyt tutkimukset oli pääsääntöisesti tehty hallituissa sisäolosuhteissa, jotka eivät vastaa työmaan muuttuvia sääolosuhteita. Tämä seikka on merkittävä homehtumisen kannalta, sillä vaihtelevat sääolosuhteet vaikuttavat puun homehtumiseen. Asiantuntijoiden mielestä tulevaisuudessa tulisi esimerkiksi tutkia parhaat ja kestävimmit liitostavat sekä kehittää sääsuojia yksinkertaisemmiksi ja varmemmiksi. Rakenneliitosten suunnittelun yhteydessä tulisi ottaa huomioon liitosten tiiveys, sillä kirjallisuustutkimuksessa selvisi että CLT- ja LVL-paneelit kastuvat helposti ja kuivuvat huonosti syrjäpinnan kautta.

Opinnäytetyön tulosten perusteella mielestäni lisätutkimuksia tulisi tehdä yleisimmin käytetyistä puumateriaaleista ja -rakenteista. Tutkimukset voisi suorittaa esimerkiksi eri vuodenaikoina tai pidempien ajanjaksojen aikana. Tutkimukset tulisi tehdä ulkona, jossa tutkitut materiaalit ja rakenteet altistuisivat samanlaisille olosuhteille kuin työmaalla. Tutkimusten avulla saataisiin parempi ymmärrys puurakenteiden käyttäytymisestä työmaaolosuhteissa, minkä avulla

kosteudenhallintakoordinaattori pystyisi arvioimaan paremmin kastuneiden rakenteiden kosteusvaurioitumisen riskin sekä määrittämään mahdollisimman tehokkaat kuivumismenetelmät kastuneille rakenteille rakenteen mukaan.

Lähteet

Haapio, A. (2013). *Puurakentamisen tulevaisuuden näkymät*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)

Ilmantieteenlaitos (2020). Havaintojen lataus. Haettu 21.11.2020 osoitteesta:

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Ilmasto-opas.fi (n.d.). Nykyinen ilmasto – 30 vuoden keskiarvot. Haettu 2.12.2020 osoitteesta:

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/1c8d317b-5e65-4146-acda-f7171a0304e1/nykyinen-ilmasto-30-vuoden-keskiarvot.html>

Kokko, E., Ojanen, T., Salonvaara, M., Hukka, A & Viitanen, H. (1999). *Puurakenteiden kosteustekninen toiminta*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)

Kosteudenhallinta (n.d.) Kosteudenhallintakoordinaattori. Haettu 3.11.2020 osoitteesta

<http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-osapuolet/kosteudenhallintakoordinaattori>

Laakso, N. (2017). *Viilupuun kosteus- ja kuivumisominaisuudet*. Opinnäytetyö. Tekniikka. Vaasan ammattikorkeakoulu. Haettu 23.9.2020 osoitteesta

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/138871/Laakso_Niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y

McClung, Ruth., Ge, Hua., Straube, John. & Wang, Jieying. (2013). *Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: field measurements and simulations*. Amsterdam: Elsevier

Metsägroup. (n.d.). Puurakentaminen on ratkaisu. Haettu 21.10.2020 osoitteesta:

<https://www.metsagroup.com/fi/Campaigns/AlykasMetsa/urbancarbon/puurakentaminen-on-ratkaisu/Pages/default.aspx#>

Metsäteollisuus. (2006). *Vanerikäsikirja*. Lahti: Kirjapaino Markprint Oy

Palomäki, E. (n.d.). Kosteus- ja homevauriot. Haettu 22.11.2020 osoitteesta:

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s497.pdf>

Puuinfo. (2020a). Yleisimmät rakennejärjestelmät. Haettu 21.10.2020 osoitteesta:

<https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/>

Puuinfo. (2020b). Kosteusteknisiä ominaisuuksia. Haettu 28.9.2020 osoitteesta

<https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/kosteusteknisia-ominaisuuksia/>

Puuinfo. (2020c). Puun kosteuskäyttäytyminen. Haettu 19.10.2020 osoitteesta:

<https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>

Puuinfo. (2020d). Kosteudenhallinta puurakentamisessa. Haettu 20.10.2020 osoitteesta:

<https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/>

RIL 250-2020. (2020). Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Sandberg, D. (1996). *The influence of pith and juvenile wood on proportion of cracks in sawn timber when kiln dried and exposed to wetting cycles*. Lontoo: Springer Nature

Siikanen, U. (2008). *Puurakentaminen*. Helsinki: Rakennustieto

Siparila. (2020). Puurakentaminen on tulevaisuuden rakentamisen tärkeimpiä teemoja. Haettu 28.9.2020 osoitteesta: <https://www.siparila.fi/puurakentaminen/>

Siparila. (2017). 5 syytä valita rakennusmateriaaliksi puu. Haetti 21.10.2020 osoitteesta: <https://www.siparila.fi/5-syyta-valita-rakennusmateriaaliksi-puu/>

Sisäilmayhdistys ry. (n.d.a). Työmaan kosteudenhallinta. Haettu 19.10.2020 osoitteesta: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Tyomaan-kosteudenhallinta>

Sisäilmayhdistys ry. (n.d.b). Kosteudenhallintasuunnitelma. Haettu 20.10.2020 osoitteesta:

<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Tyomaan-kosteudenhallinta/Kosteudenhallintasuunnitelma>

Souto. A. (2019). Kosteuden ja kuivumisen hallinta. Haettu 19.10.2020 osoitteesta:

https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/45_Kosteuden-ja-kuivumisen-hallinta.pdf

Sundström, T., Kevarinmäki, A., Fortino, S. & Toratti, T. (2011). *Shear resistance of glulam beams under varying humidity conditions*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)

Tampereen yliopisto. (n.d.) Suomalainen homemalli. Haettu 29.10.2020 osoitteesta:

<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>

Teollisuusliitto. (2020). *Toimialakatsaus kevät 2020*. Helsinki: Teollisuusliitto

Viitanen, H. (1997). *Modelling the Time Factor in the Development of Mould Fungi – the Effect of Critical Humidity and Temperature Conditions on Pine and Spruce Sapwood*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)

Viitanen, H. (2019). *Vaativien puurakenteiden suunnittelu. Elinkaarisuunnittelu*. Helsinki: Puuinfo

Ympäristöministeriö. (2015). *Ympäristöministeriön ohje rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä*. Helsinki: Ympäristöministeriö

Ympäristöministeriö. (2020). *Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet*. Helsinki:

Ympäristöministeriö

Ympäristöministeriö. (n.d.). Puurakentamisen ohjelma. Haettu 3.11.2020 osoitteesta:

<https://ym.fi/puurakentaminen>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. Haettu

20.10.2020 osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>

Liite 1: Kyselytutkimuksen kyselylomake

Hei,

olen Juho Viljanen ja teen rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opinnäytetyötä Hämeen ammattikorkeakoulussa. Opinnäytetyöhöni liittyy kyselytutkimus puurakenteiden kosteusteknisestä käyttäytymisestä.

Lähetän kyselyn puurakenteiden parissa työskenteleville asiantuntijoille ja olisi mahtava saada vastauksesi kysymyksiini.

- Onko mielestäsi puurakenteiden kastumisen aiheuttamia mikrobivaurioita, lujuudenheikkenemisiä tai muita vaurioita tutkittu liian vähän?
- Jos mielestäsi puuta on tutkittu tarpeeksi, osaatko ottaa kantaa siihen, kuinka paljon ulkoseinä- tai vesikattorakenteet saavat kastua turvallisesti työmaaolosuhteissa?
- Jos mielestäsi puuta ei ole tutkittu tarpeeksi, mitä tutkimuksia kyseisestä aiheesta sinun mielestäsi täytyisi tehdä?
- Saako nimeäsi käyttää kyselytuloksen esityksessä?

Kiitos jo etukäteen!