



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niko Laakso

# VIILUPUUN KOSTEUS- JA KUIVUMIS- OMINAISUUDET

Sweco Asiantuntijapalvelut Oy

Tekniikka  
2017

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Niko Laakso
Opinnäytetyön nimi	Viilupuun kosteus- ja kuivumisominaisuudet
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	35 + 6 liitettä
Ohjaaja	Mika Korpi

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia rakennusten runkorakenteena käytetävän viilupuun kosteuskäyttäytymisen ja kosteuden mittaamisen erityispiirteitä. Tulosten perusteella esitetään viilupuurakentamisessa huomioon otettavia kosteuden hallintaan liittyviä erityispiirteitä. Työ perustuu viilupuun kosteuskäyttäytymisestä sekä kosteusmittausmenetelmien soveltuvuudesta tehtyyn tutkimukseen.

Tutkimuksessa selvitettiin kahden eri kosteusmittausmenetelmän soveltuvuutta viilupuurakenteen kosteudenmittaamiseen työmaaolosuhteissa. Tutkittaviksi menetelmiksi valittiin kosteuden mittaaminen porareikämenetelmällä ja sähkönjohtavuuteen perustuvalla piikkimittarilla. Tuloksia verrattiin kuivatus-punnitusmenetelmällä saatuihin tuloksiin. Viilupuun kastumista ja kuivumista tutkittiin rasittamalla viilupuuta vesipatsaalla lapepinnalta sekä päätypinnalta. Lisäksi selvitettiin hydrofobisen käsittelyn vaikutusta viilupuun kastumiseen ja kuivumiseen.

Tulosten mukaan viilupuun pintaviilut kastuvat nopeasti kosteuden vaikuttaessa lapepinnan kautta eikä hydrofobisella pinnoitteella ole merkittävää vaikutusta tuloksiin. Kuivumisen osalta todettiin, että pintaviilu kuivuu suhteellisen nopeasti, mutta jos materiaali on kastunut syvemmältä niin liimakerrokset hidastavat alempien viilukerrosten kuivumista huomattavasti. Syrjä- ja päätypintojen kautta kastuminen syvälle viilupuun sisään tapahtuu nopeasti, mutta kuivuminen on selvästi hitaampaa.

## ABSTRACT

Author	Niko Laakso
Title	Moisture Transport Behavior and Moisture Measurement Methods of Laminated Veneer Lumber (LVL)
Year	2017
Language	Finnish
Pages	35 + 6 Appendices
Name of Supervisor	Mika Korpi

---

The objective of this thesis was to research the water absorption and drying processes, the on-site moisture measurement methods and the on-site moisture control requirements of laminated veneer lumber panels. The thesis is based on the case study that examined these properties.

The two methods chosen for moisture measurement were relative humidity and temperature measurement from bore holes and moisture measurement with pin-type meters that measure electrical resistance. The oven-dry method was used as a reference method and the results were compared to each other. The water absorption and drying processes were studied by stressing the flat side and the edge side of an LVL-panel with water. The effect of a hydrophobic treatment on the water absorption and drying processes was also analyzed.

Based on the analysis it was concluded that when the moisture affects the LVL-panel from the flat side, the top plies of the panel get wet quickly. In the drying phase the top plies dry out relatively quickly but the glue layers slow down the drying process of the deeper plies considerably. When the edge side is stressed the water absorption deep into the LVL-panel takes place rapidly and the drying out becomes very slow.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tutkimuksen tausta .....	8
1.2	Tutkimuksen tavoitteet.....	8
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	9
1.4	Käsitteet ja määritelmät .....	9
2	VIILUPUU RAKENNUSMATERIAALINA.....	11
2.1	Insinööripuutuotteet .....	11
2.2	Viilupuun käyttö ja ominaisuudet.....	11
2.3	Viilupuun valmistus Suomessa .....	12
3	PUUN KOSTEUS .....	14
3.1	Puun tasapainokosteus ja hygroskooppisuus .....	14
3.2	Kosteusriskit .....	16
3.3	Tutkimuksessa käytetyt kosteusmittausmenetelmät .....	17
3.3.1	Kuivatus- punnitusmenetelmä.....	17
3.3.2	Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareiästä.....	17
3.3.3	Sähkönjohtavuuteen perustuva piikkimittari.....	18
4	TUTKIMUKSEN METODOLOGIA.....	20
4.1	Tutkimusjärjestely.....	20
4.2	Käytetyt välineet .....	22
4.3	Punnitus-kuivatusmenetelmä .....	22
4.4	Puun suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareiästä.....	24
5	TULOKSET .....	26
5.1	Puun suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareiästä.....	26
5.2	Sähkönjohtavuuteen perustuva puun piikkimittausmenetelmä.....	26
5.3	Viilupuun kastuminen ja kuivuminen.....	27
5.3.1	Viilupuun kastuminen ja kuivuminen lapepinnan kautta.....	27
5.3.2	Viilupuun kastuminen ja kuivuminen syrjäpinnan kautta.....	29

5.3.3	Viilupuun lapepinnan kastelurasitus .....	30
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	31
6.1	Kuivatus-punnitus-menetelmä .....	31
6.2	Puun suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareiästä.....	31
6.3	Sähkönjohtavuuteen perustuva puun piikkimittausmenetelmä.....	32
6.4	Viilupuun kastuminen ja kuivuminen.....	32
6.5	Viilupuurakentamisen kosteudenhallinnan erityispiirteet.....	33
6.6	Tulosten luotettavuus .....	33
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	

**KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Kuvio 1.</b> Suomalainen viilupuu. ....	12
<b>Kuvio 2.</b> Kertopuukappaleen keskimääräinen kosteuspitoisuus. ....	15
<b>Kuvio 3.</b> Kerto-tuotteen kosteuspitoisuus absorptiossa ja desorptiossa. ....	15
<b>Kuvio 4.</b> Piikkimittari juntta-anturilla. ....	19
<b>Kuvio 5.</b> Syrjäpinnalta tutkittava koekappale. ....	20
<b>Kuvio 6.</b> Lapepinnalta tutkittavien koekappaleiden valmistelu. ....	21
<b>Kuvio 7.</b> Koekappaleet asetettuna ulkoilmaan katoksen alle. ....	21
<b>Kuvio 8.</b> Punnitus-kuivatus menetelmän näytteenotto. ....	23
<b>Kuvio 9.</b> Punnituksessa käytettävä tarkkuusvaaka. ....	24
<b>Kuvio 10.</b> Kuivatuksessa käytettävä lämpökaappi. ....	24
<b>Kuvio 11.</b> Koekappaleen porareikämittaus. ....	25
<b>Kuvio 12.</b> Porareikäkosteudet, käsittelemätön lapepinta. ....	26
<b>Kuvio 13.</b> Käsittelemättömän lapepinnan kastuminen ja kuivuminen. ....	28
<b>Kuvio 14.</b> Pinnoitetun lapepinnan kastuminen ja kuivuminen. ....	28
<b>Kuvio 15.</b> Hydrofobisella pinnoitteella käsitelty syrjäpinta. ....	30
<b>Kuvio 16.</b> Hydrofobisella pinnoitteella käsitelty sivupinta. ....	30

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Porareikäkosteustulokset

**LIITE 2.** Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan vesipatsasrasitus, pinnoitettu

**LIITE 3.** Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan vesipatsasrasitus, käsittelemätön

**LIITE 4.** Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan kastelurasitus, pinnoitettu

**LIITE 5.** Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan kastelurasitus, käsittelemätön

**LIITE 6.** Kuivatus-punnitustulokset, syrjäpinnan vesipatsasrasitus, pinnoitettu

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Suomessa valtiovalta kannustaa lisäämään puun käyttöä rakentamisessa. Tavoitteen perusteena käytetään mm. materiaalien kotimaisuutta ja puun etua pyrittäessä noudattamaan kestäväen kehityksen periaatteita. Uusien palomääräysten myötä puun käyttömahdollisuudet kerrostalorakentamisessa ovat parantuneet. Tämän innoittamana on käynnistynyt entistä kunnianhimoisempia puukerrostalohankkeita, joissa runkorakenteena käytetään mm. viilupuuta (LVL).

Rakennusalalla rakennustyönaikainen kosteudenhallinta on kehittynyt harppauksin eteenpäin ja rakennusvalvontaviranomaiset ovat ottaneet näkyvän roolin rakennustyön aikaisen suunnitelmallisen kosteudenhallinnan vakiinnuttamiseksi tavanomaiseksi toimintamalliksi. Kerrostaloissa yleisimmin käytettyjen betonirakenteiden kosteusmittauksen kehitystyötä on tehty vuosia, mutta puurakenteiden kosteusmittauksesta on saatavilla tietoa vain niukasti. Myös viilupuun kosteusmittauksesta yleisesti saatavilla olevan tiedon määrä on vähäinen.

Tehdyn tutkimuksen perusteella esitetään viilupuun kosteudenmittaamisen ja kosteudenhallinnan erityispiirteet. Rakenteellisella kosteudenhallinnalla on merkittävä rooli viilupuurunkoisen rakennuksen kosteudenhallinnassa. Tämä opinnäytetyö tehtiin Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:n toimeksiannosta.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Viilupuuta eli puuviiluista osittain ristiin liimattua teollista puutuotetta on käytetty rakentamisessa jo pidemmän aikaa muiden liimattujen insinööripuutuotteiden ohella ja sen rakenteellisia ominaisuuksia on tutkittu kattavasti. Kuitenkaan sen kosteusominaisuuksista ei ole paljoa tietoa saatavilla. Puukerrostalojen rakentaminen on kasvussa ja LVL:n käyttö runkorakenteena on lisääntynyt ja näin ollen viilupuun kosteuskäyttäytymistä tulisi tutkia enemmän.



Kun iso puumassa pääsee kastumaan, tulee vaurioituneen alueen laajuus mitata ja kohonnut kosteus todentaa. Mitattaessa puun pintaviiluja ainoastaan piikkimittarilla, ei huomioida mahdollista syvällä rakenteessa olevaa kosteutta, joka voi aiheuttaa esimerkiksi myöhemmin realisoituvan mikrobiongelman. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia LVL-materiaalin kastumista ja kuivumista sen altistuksessa vesirasitukselle, selvittää työmaaolosuhteisiin parhaiten soveltuvat kosteusmittausmenetelmät sekä esittää toimenpiteitä, joilla viilupuurakenteen kosteusvaurioitumista voidaan ehkäistä.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimus suoritettiin kenttätutkimuksena ja viilupuun kastumista ja kuivumista seurattiin ulkoilmaolosuhteissa. Tutkimuksessa verrattiin keskenään kolmella eri mittausmenetelmällä saatuja materiaalin kosteusmittaustuloksia. Käytetyt kosteusmittausmenetelmät olivat:

1. Puun kuivatus-punnitusmenetelmä
2. Huokosilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaaminen putkitetusta porareistä
3. Sähkönjohtavuuteen perustuva puun piikkimittausmenetelmä

Mittauksia suoritettiin aluksi kahden päivän välein. Mittausväliä harvennettiin tai tihennettiin sen perusteella, oliko kastuminen ja kuivuminen hidasta vai nopeaa. Mittaustapahtumilla pyrittiin selvittämään, miten kosteus tunkeutuu viilupuuhun ja miten kosteus poistuu viilupuusta ajan funktiona. Tutkimuksessa kosteuden raja-arvoksi määritettiin 17-painoprosenttia puun kuivapainosta. 17-painoprosenttia pidettiin turvallisena arvona, koska puun katsotaan olevan kostea ja mikrobikasvu mahdollista, kun puun painoprosenttiin perustuva kosteus on yli 18 p-% /1/.

### **1.4 Käsitteet ja määritelmät**

Tutkimuksessa käytetyt kosteusmittausten kannalta keskeiset käsitteet on määritetty seuraavalla tavalla:

- **Kosteus:** yleisnimitys vedelle, joka voi olla jäätä, nestettä, höyryä tai fyysikaalisesti aineeseen sitoutunutta kosteutta. Jäljempänä esitettävä hygroskooppisesti sitoutunut kosteus on fyysikaalisesti sitoutunutta kosteutta.
- **Ilman suhteellinen kosteus:** ilman vallitsevan vesihöyrypitoisuuden suhde samassa lämpötilassa ja vesihöyryn suhteen kyllästystilassa olevan ilman vesihöyrypitoisuuteen. Yksikkönä on % R.H.
- **Vesihöyrynläpäisevyys:** aineen kyky läpäistä vesihöyryä diffuusiolla. Yksikkönä on kg/ (m s Pa).
- **Absoluuttinen kosteus:** ilman vesihöyryn massan suhde ilman määrään nähden (vesihöyrytiheys). Yksikkönä voi olla esim. g/m<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>/g/kg, kg/kg
- **Kapillaarinen tasapainokosteus:** tasapainokosteus, jonka puu saavuttaa ollessaan kosketuksissa vapaaseen veden pintaan.
- **Adsorptio:** Puun kosteuspitoisuus lisääntyy, kun puuhun imeytyy ilmasta kosteutta
- **Desorptio:** Puun kosteuspitoisuus laskee, kun puu luovuttaa ilmaan vesihöyryä.

## 2 VIILUPUU RAKENNUSMATERIAALINA

### 2.1 Insinööripuutuotteet

Viilupuu kuuluu insinööripuutuotteisiin. Insinööripuutuote (EWP-tuote) tarkoittaa puusta liimaamalla valmistettuja rakennuskomponentteja. Tuotteet kehitettiin vaihtoehtona massiivipuulle, koska yhdistelmäateriaalit säilyttävät puun rakenteelliset ominaisuudet ja niillä on samaan aikaan paljon muita hyötyjä. Esimerkiksi viilutuotteiden valmistuksessa puun menetys on vähäistä ja viilujen tuottaminen on helppoa tukkien lastuttomien ja automaattisten sorvien ansiosta. Muita etuja ovat lisääntynyt vakaus eri suunnissa, yhtenäisyys, saatavuus suuremmassa koossa, alentunut valmistushinta, parempi rasituksen jakaantuminen ja helppo muokattavuus. /2/

Viilupuun ohella muita insinööripuutuotteita ovat esimerkiksi:

- Liimapuu: Talojen kantavissa rakenteissa käytettävä tuote, joka on valmistettu lamelleista liimaamalla.
- CLT (cross- laminated timber): Massiivipuusta valmistetut rakennusmateriaalit, jotka koostuvat vähintään kolmesta ristikkäin liimatuista puulevykerroksista.

### 2.2 Viilupuun käyttö ja ominaisuudet

Ristiinliimattua puuta (CLT, cross laminated timber) ja viilupuuta (LVL, laminated veneer lumber) käytetään yleisesti puukerrostaloissa kantavina rakenteina. Yleisesti CLT: tä käytetään kerrostalojen massiivisissa puurungoissa ja viilupuuta kantavissa palkeissa ja tolmissa. Viilupuulevyjä on myös alettu käyttää rakentamisessa massiivipuuna ja seinissä levyinä CLT:n korvaajana. Viilupuun käyttö massiivipuuna on Suomessa kuitenkin vielä vähäistä. Viilupuu on massaansa nähden lujempi kuin CLT ja myös monipuolisempi.

Viilupuu on rakenteellinen puutuote, jota valmistetaan vanerin tapaan sorvatuista viiluista liimaamalla (**Kuvio 1**). Viilupuuta käytetään kaikkeen uudis- ja korjausra-

kentämiseen ja myös teolliseen käyttöön. Suomalainen viilupuun valmistetaan liimaamalla 3 mm paksuista kuusiviiluista siten, että viilujen suuntia säätämällä voidaan säätää viilupuun rakenteellisia ominaisuuksia.



**Kuvio 1.** Suomalainen viilupuun.

Erottava tekijä vanerin ja viilupuun välillä on viilujen suunta. Vanerissa kaikki viilut on ristiin liimattu, mikä tarkoittaa, että jokaisen viilukerroksen syiden suunta on 90 asteen kulmassa viereisiin viiluihin. Tämän ansiosta vanerilevy on suhteellisen vahva molempiin suuntiin kuormitettaessa sivupintaa. Syrjäpintaa kuormitettaessa vanerilevy ei ole yhtä vahva verrattuna esimerkiksi viilupuulevyn samaan poikkeileikkaukseen, koska kaikki viilut eivät kulje pituussuunnassa.

Tavallisesti viilupuun valmistuksessa käytetyt viilut ovat hiomattomia ja paikkaamattomia, mutta lapepinnastaan hiottujakin tuotteita on saatavilla. Viilupuuta on saatavilla erilaisilla pintakäsittelyillä ja AB-luokkaan painekyllästettynä. Viilupuun määrittely on SFSEN 14374 standardin mukaisesti. Vaakarakenteissa viilupuun tyyppinen jännevälialue on 5...12 metriä. /3/

### **2.3 Viilupuun valmistus Suomessa**

Suomessa viilupuutuotteita valmistavat Metsä Wood ja Stora Enso, joka aloitti vuonna 2016 oman tuotantonsa Varkauden tehtaallaan. Puhekielessä viilupuuhun viitataan yleisesti myös kaupallisella Kertopuu-nimellä. Kerto® ja Kertopuu® ovat Metsäliitto Osuuskunnan rekisteröimiä tavaramerkkejä.

Metsä Woodin valmistamia viilupuutuotteita ovat:

- Kerto-S, rakennuksen ylä-, väli- ja alapohjien kannattajat
- Kerto-T, ulko- ja sisäseinien runkotolpat
- Kerto-Q, jäykistävät katto-, seinä- ja lattialevyt.

Stora Enson vastaavia LVL-tuotteita ovat:

- T-laatu, sopii parhaiten seinätolppiin
- S-laatu, sopii parhaiten palkkeihin
- X-laatu, ristiinliimatut viilut, sopii parhaiten seinä- ja välipohjarakenteisiin.

T- ja S-laadun tuotteissa viilukerrosten syysuunta on pitkittäinen. T-laadun tyypillinen käyttökohde on väliseinätolpat. S-laatu sopii ihanteellisesti puurunkorakentamisesta palkkeihin ja kattorakenteista valumuotteihin. /4/

X-laadussa osa viiluista laminoidaan ristiin, jolloin materiaalin mittapysyvyys on tavanomaistakin parempi. X-laatu soveltuu lukemattomiin käyttökohteisiin – etenkin kun määräävänä mitoitusperusteena on leikkauslujuus tai levyistä tehdyttä välipohja- tai kattorakenteelta vaaditaan isoa jänneväliä. /4/

### 3 PUUN KOSTEUS

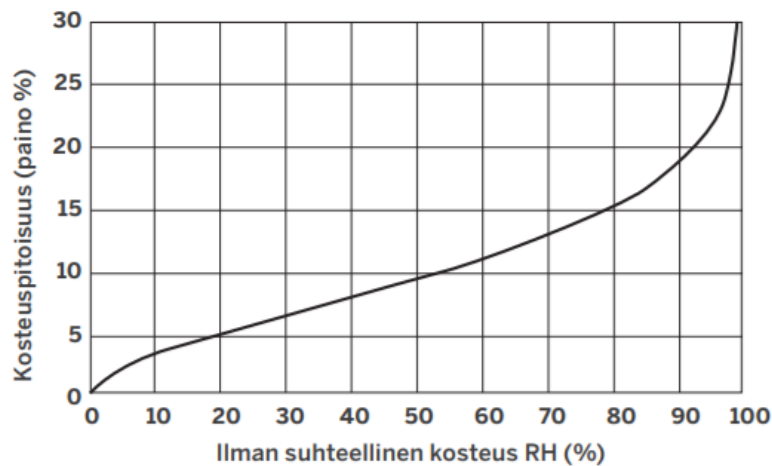
#### 3.1 Puun tasapainokosteus ja hygroskooppisuus

Puuaines on hygroskooppista, eli sillä on kyky imeä itseensä tai vastaavasti luovuttaa kosteutta ympäröivään ilmaan. Kutakin lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta vastaa tietty tasapainokosteus, jonka puu saavuttaa ollessaan tasapainossa ympäröivän ilman kanssa. Tällöin puuhun saapuu ja siitä lähtee yhtä paljon kosteutta, eli puu on saavuttanut hygroskooppisen tasapainopisteen. /5/

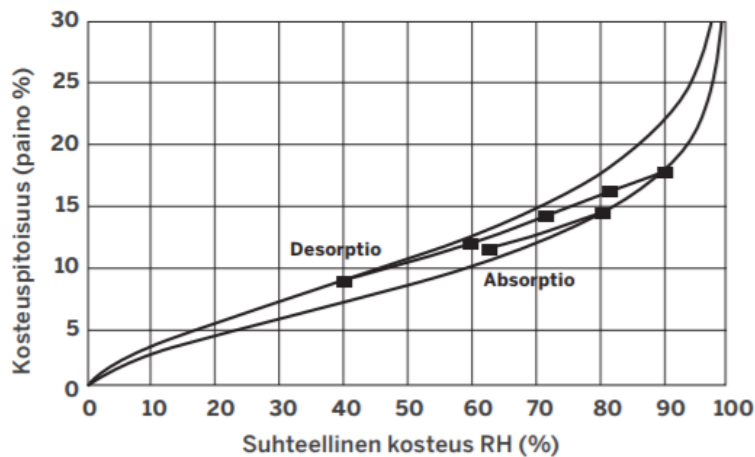
Hygroskooppisuutta kuvataan tasapainokosteuskäyrillä (adsorptiokäyrä kostumis-suuntaan ja desorptiokäyrä kuivumissuuntaan), jotka ilmaisevat aineen tasapainokosteuden ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden funktiona tietyssä lämpötilassa /6/. Puun syiden kyllästymiskosteuden ajatellaan olevan noin 30 %.

Materiaalin suhteellisella kosteudella (RH %) tarkoitetaan materiaalin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Miten paljon materiaalissa on kosteutta (kg/m<sup>3</sup>, paino-%) tietyssä tasapainotilassa (ilman RH %), saadaan selville punnitus-kuivausmenetelmällä. Joillekin materiaaleille on laadittu hygroskooppiset tasapainokosteuskäyrät, joista voidaan arvioida paljonko materiaalissa on vettä (kg/m<sup>3</sup>, paino-%) tietyllä suhteellisen kosteuden arvolla ja päinvastoin. /8/

Kertopuutuotteiden kosteuspitoisuus on riippuvainen ilman suhteellisesta kosteudesta (RH) ja siitä, kumpaan suuntaan kosteus on muuttumassa (kuivuminen/kostuminen). Tasapainokosteuden ääriarvot on kuvattu kosteuspitoisuuksina vakio­lämpötilassa (**kuvio 2**). Kun puu kuivuu (desorptio), tasapainokosteuspitoisuus on korkeampi kuin samassa suhteellisessa kosteudessa oleva kostuva puu (absorptio) (**kuvio 3**). /7/



**Kuvio 2.** Kertopuukappaleen keskimääräinen kosteuspitoisuus.



**Kuvio 3.** Kerto-tuotteen kosteuspitoisuus absorptiossa ja desorptiossa.

Hygroσκοoppiset tasapainokosteuskäyrät eivät ota huomioon materiaaliin esimerkiksi kapillaarisesti imeytynyttä vettä. Siksi materiaalin todellista kosteuspitoisuutta ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) on lähes mahdotonta määrittää mittaamalla materiaalin suhteellinen kosteus ja muuttamalla lukema kosteuspitoisuudeksi tasapainokosteuskäyrän avulla. Myös kosteuspitoisuuslukeman (paino-%,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) muuttaminen tasapainokosteuskäyrien kautta suhteelliseksi kosteudeksi johtaa helposti virheelliseen lukemaan. Hygroσκοoppisia tasapainokosteuskäyriä voidaan käyttää vain antamaan tietoa materiaalien sisältämien vesimäärien suuruusluokasta sekä arvioitaessa esimer-

kiksi materiaalien kosteuskäyttäytymistä. /8/ Yleisesti puun tasapainokosteus säädetään harvoin, koska kosteuden liikkuminen puussa on hyvin hidasta. Tämän prosessin hitaus merkitsee sitä, että kosteuden jakautuminen poikki/ läpi leikkauksessa on epäyhtenäistä /9/.

### 3.2 Kosteusriskit

Kosteudesta aiheutuvia vaurioita ja puun kosteuselämistä voidaan pienentää rajoittamalla veden pääsyä puuhun, mikä voidaan tehdä useilla eri tavoilla. Mikäli puu joutuu vain tilapäisesti kosketuksiin veden kanssa, se voidaan suojata maaleilla ja muilla pinnoitteilla, jolloin veden siirtyminen kapillaarisesti estyy. Kosteissa olosuhteissa pinnoittaminen ei kuitenkaan riitä, vaan puun hygroskooppisuutta on pyrittävä vähentämään. Puuta voidaan esimerkiksi käsitellä kemiallisesti, jolloin vettäsitovien hydroksyyliyhmiem määrä vähenee (esimerkiksi puun käsittely etikkahappoanhydridillä). /5/

Rakennustyömailla suurimmat kosteusriskit kohdistuvat puurakentamiseen. Riskejä ovat erityisesti:

- Sadeveden ja lumen sulamisen vesien pääsy kerrostasolle
- Sadeveden tai lumen sulamisvesien pääsy rakenteiden onkaloihin
- Rakenteiden liitoskohtien kastuminen ja jääminen kosteiksi asennusvaiheessa
- Vedenpoistojen riittämättömyys tasoilla ja rakenteiden kastuminen
- Puurakenteiden kastuminen työmaavarastoinnin aikana
- Puurakenteiden kuivatuksen viivästyminen kastumisen jälkeen
- Julkisivun sateenpitävyys rakennusvaiheessa
- Puulattioiden valujen puutteellisten valukaukaloideu aiheuttama kosteuden siirtyminen lattian puurakenteisiin tai askelääneneristykseen
- Vesikatko ja sen läpivientien vuodot rakentamisen aikana (kondenssi ja vuotokohdat).



### 3.3 Tutkimuksessa käytetyt kosteusmittausmenetelmät

#### 3.3.1 Kuivatus- punnitusmenetelmä

Useimmat materiaalin sähköisiä ominaisuuksia mittaavat kosteusmittarit (pintakosteudenosoittimet, piikkimittarit) antavat tulokseksi materiaalin kosteuspitoisuuden painoprosentteina. Tulos on kuitenkin välillinen ja se perustuu yleensä mittalaitteen valmistajan tietyille materiaaleille tekemiin tutkimuksiin. Materiaalin todellinen kosteuspitoisuus painoprosentteina saadaan ns. punnitus-kuivatusmenetelmällä, jolloin materiaalinäyte punnitaan kosteana, kuivataan (yleensä 105 °C) ja punnitaan kuivana. Kosteuspitoisuus saadaan kostean ja kuivan näytteen painojen erotuksen ja kuivan näytteen painon suhteena. Menetelmän käyttöön liittyy virhemahdollisuuksia lähinnä näytteenotossa, näytteiden säilytyksessä ja punnituksessa. Jos puussa on runsaasti alhaisessa lämpötilassa haihtuvia ainesosia, saattaa tulos myös vääristyä. /8, 10/

Kosteuspitoisuus  $\omega$  määritellään seuraavasti:

$$\omega = \frac{m_{\omega} - m_0}{m_0} \quad , \text{ jossa } \begin{array}{l} m_{\omega} = \text{kostean kappaleen massa} \\ m_0 = \text{kuivan kappaleen massa} \end{array}$$

#### 3.3.2 Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareiästä

Massiivisen rakenteen, kuten betoni- tai tiilirakenteen, suhteellista kosteutta mitattaessa mitataan itse materiaalin huokosten ilmatilan suhteellista kosteutta. Mittaus tehdään yleensä materiaaliin poratusta reiästä, jossa kosteus tietyn ajan kuluessa asettuu tasapainoon ympäröivän materiaalin kanssa. /8/ Menetelmää käytetään kiiviaineiden mittaukseen. Tässä tutkimuksessa menetelmää haluttiin kokeilla myös massiivipuorakenteessa.

Kosteus ja lämpötila massiivisen rakenteen sisällä eivät muutu niin nopeasti ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta kuin keveissä rakenteissa, joten massiivisissa rakenteissa kosteustilanne saadaan usein selvitettyä lyhytkestoisella mittauksella. Mittauksissa on kuitenkin otettava huomioon porareiän tasaantumisaika sekä mittausanturin vaatima tasaantumisaika. Betonimittauksissa porareiän tasaantumisaika

on 3–7 vuorokautta ja mittalaitteen vaatima tasaantumisaika 1–8 tuntia mittarityypin mukaan. /8/

Porareikämenetelmässä materiaalin suhteellinen kosteus on mitattava rakenteen käyttölämpötilassa. Lämpötila vaikuttaa merkittävästi massiivisten rakenteiden suhteelliseen kosteuteen ja mittaukseen. Pienikin lämpötilan muutos mittauksen aikana voi aiheuttaa useiden prosenttiyksiköiden muutoksen suhteellisessa kosteudessa. Huokoisen materiaalin suhteellista kosteutta mitattaessa lämpötilan nousu aiheuttaa usein suhteellisen kosteuden nousua päinvastoin kuin ilmassa. Materiaalin lämpötilan muuttuessa kosteustasapaino huokosessa muuttuu. Jos mittaus tehdään normaalitilasta huomattavasti poikkeavassa lämpötilassa, voi mittaustuloksessa olla useiden prosenttiyksiköiden virhe. Tällaiset mittausrvirheet ovat erittäin yleisiä, kun mittauksia tehdään rakenteista, joita kuivatetaan lämmittämällä. /8/

Myös lämpötilaero mittausanturin ja mitattavan materiaalin välillä voi aiheuttaa mittausrvirheen. Esimerkiksi 1 °C:n lämpötilaero mitattavan materiaalin ja anturin välillä voi aiheuttaa 5 %-yksikön virheen. Tällaisen lämpötilaeron voi saada aikaan esimerkiksi ulko-oven avaamisesta johtuva anturin jäähtyminen mittauksen aikana tai kylmän anturin asentaminen mittausrreikään. Erityisen vaativia mittausrkohteita ovat ulkona olevat rakenteet, kuten julkisivut. /8/

### 3.3.3 Sähkönjohtavuuteen perustuva piikkimittari

Sähköisistä menetelmistä on yleisimmin käytössä puun sähkövastukseen perustuva kosteuden mittaus. Puuhun lyödään elektrodit, joiden välinen puun sähkövastus mitataan (**kuvio 4**). Mittari on kalibroitu ilmoittamaan puun kosteuden. Saatu kosteus on riippuvainen puulajista ja puuaineksen lämpötilasta, ja laitteissa nämä tekijät voidaan ottaa huomioon. Laitteella voidaan mitata luotettavasti alle puunsyntien kyllästymispisteen olevia kosteusrarvoja. /10/

Mittalaitteet antavat tuloksen yleensä painoprosentteina. Menetelmää voidaan pitää suhteellisen luotettavana mitattaessa rakentamisessa yleisesti käytettäviä puulajeja. Puu on selvästi homogeenisempi materiaali kuin esimerkiksi betoni, jolloin myös

sen sähkövastuksen ja kosteuden välinen yhteys on helpompi määrittää. Mittauksissa on otettava huomioon, että eri valmistajien mittalaitteiden välillä on eroja, jolloin samasta kohdasta eri laitteella mitattaessa voidaan saada erilaisia tuloksia. Lisäksi kaikki sähkönjohtavuuteen vaikuttavat tekijät, esimerkiksi suolat, kemikaalit ja metallit, voivat muuttaa tulosta. /8/



**Kuvio 4.** Piikkimittari juntta-anturilla.

## 4 TUTKIMUKSEN METODOLOGIA

### 4.1 Tutkimusjärjestely

Materiaalina käytettiin 51mm paksuja Kerto-Q- levyjä, joissa osa viiluista on asennettu ristiin.

LVL-levyjen kastumista tutkittiin kolmessa eri rasiustilanteessa:

1. Jatkuva 10 mm vesipatsas levyn lapepinnan päällä
2. Jatkuva 10 mm vesipatsas levyn syrjäpinnan päällä
3. Lapepinnan kastelu 2–3 päivän välein.

Ensimmäisessä ja toisessa rasiustilanteessa simuloitiin työmaaoloissa pahinta mahdollista tilannetta, jossa vesi pääsee lammikoitumaan puurakenteen päälle eikä lammikoitunutta vettä poisteta. Kolmannessa rasiustilanteessa simuloitiin ulkoilman viistosaderasitusta.

Lapepintoja tutkittaessa levyistä leikattiin 500\*600 mm kokoisia koekappaleita ja koekappaleiden syrjä- sekä päätypinnat käsiteltiin vesihöyrytiivillä pinnoitteella (**kuvio 6**). Vastaavasti syrjäpintoja tutkittaessa levyistä leikattiin 500\*130 mm kokoisia koekappaleita, joiden lapepinnat käsiteltiin vastaavasti (**kuvio 5**). Vesihöyrytiivillä käsittelyllä haluttiin rajata kosteuden imeytyminen ja kuivuminen vain tutkitulle pinnalle.



**Kuvio 5.** Syrjäpinnalta tutkittava koekappale.



**Kuvio 6.** Lapepinnalta tutkittavien koekappaleiden valmistelu.

LVL-levyt asetettiin ulkoilmaan katoksen alle (**kuvio 7**). Vesipatsasrasituksissa tutkittavalle pinnalle rakennettiin kaukalo polykarbonaattilevystä, joka kiinnitettiin Masa liima- ja tiivistemassalla puuhun. Kaukalossa pidettiin 10 mm korkuista vesipatsasta. Ensimmäiset 3 viikkoa pinnat olivat alttiina vedelle, jonka jälkeen vesi poistettiin ja LVL-kappaleiden annettiin kuivua. Kastumisaika oli lyhyempi tutkittaessa syrjäpinnan kastumista. Saderasituksen simuloinnissa yhtä sivupintaa kasteltiin 2–3 päivän välein, kun ulkona ei ollut pakkasta. Kastelua suoritettiin kolmen viikon ajan ja tämän jälkeen levykappaleiden annettiin kuivua.



**Kuvio 7.** Koekappaleet asetettuna ulkoilmaan katoksen alle.

Jokaisessa rasiutilanteessa tutkittiin samanaikaisesti käsittelemättömiä sekä hydrofobisella liuoksella pinnoitettuja koekappaleita. Hydrofobisuudella tarkoitetaan aineen tai materiaalin vettä hylkivää ominaisuutta. Koekappaleita valmistettiin kaksi rinnakkaista kappaletta jokaista tutkimustapausta varten. Kastumisen ja kuivumisen etenemistä seurattiin kosteusmittauksilla.

#### 4.2 Käytetyt välineet

Tutkimuksessa käytetyt aineet ja välineet olivat:

- Pintojen tiivistys: Liquid Rubber HB s-200 Professional
- Porareikäkosteus: Vaisalan HMP40S / HMP110 mittapääät  
Vaisalan HM40 -mittalaite
- Piikkikosteus mittari: Gann Hydromette BL H 40 ja Gann M18 puuanturi
- Porat: Tulppaporat 30 mm ja 50 mm
- Puntari: Precisa XB 320M, d=0,001g
- Lämpökaappi: Memmert UL 50.

#### 4.3 Punnitus-kuivatusmenetelmä

Koekappaleiden poraukseen käytettiin 50 mm ja 30 mm tulppaporia riippuen miltä sivulta koepalat porattiin. Poravaihtoehtoina oli rasia- sekä tulppapora, mutta tulppapora oli käytännöllisempi poraussyvyytensä ja pienemmän lämmöntuotannon ansiosta. Myös koepalojen irrotus oli helpompaa tulppaporan leveämmän uran ansiosta.

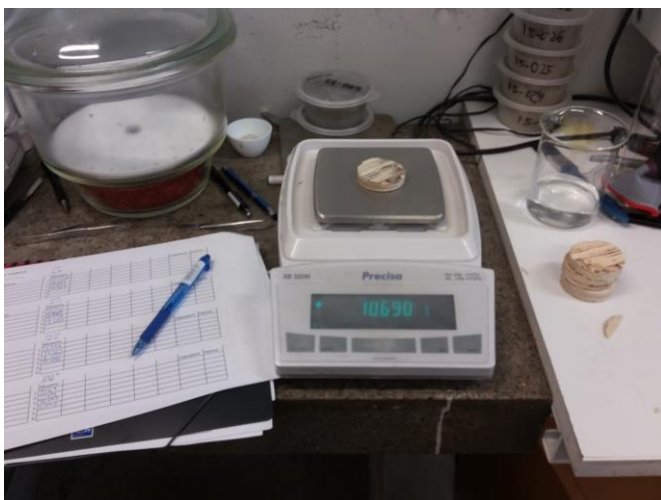
Koska yli 30 mm tulppaporioiden kiinnitysvarsi on 16 mm paksu, ei se sovellu työmailla käytettävien akkuporakoneiden istukkaan, joten poraus suoritettiin sisätiloissa pylväsporakoneessa (**kuvio 8**). Kone sijaitti hyvin lähellä käytettävää lämpökaappia sekä vaakaa, joten näytepalat saatiin punnittua heti porauksen jälkeen.

Lapepintaa tutkittaessa koepalat porattiin 45 mm syvyydestä asti, tällöin levyn pintaa jäi suojaamaan vielä kaksi viilua. Tämä 45 mm pala halkaistiin edelleen 4–5 osaan, joista kolme ensimmäistä olivat 9 mm eli kolmen viilun paksuisia. Näin koepalat saatiin vastaamaan porareikien syvyyksiä ja levyn kosteusjakauma saatiin selville. Syrjäpintojen osalta koepalat porattiin 120 mm syvyydestä asti. Levyn pintaa jäi näin suojaamaan 10 mm puukerros. Porattu näytepala jaettiin 20 mm paksuihin osiin, jotta puumassaa saataisiin enemmän ja tämä vähentäisi virhemarginaalia.



**Kuvio 8.** Punnitus-kuivatus-menetelmän näytteenotto.

Koepalojen porauksesta jäävä kolo täytettiin puutapilla, joka porattiin erillisestä LVL-levystä. Puutappeja säilytettiin samassa katoksessa testikappaleiden kanssa, jotta niiden tasapainokosteus pysyisi samana. Koepalat punnittiin heti porauksen jälkeen (**kuvio 9**) ja kuivattiin lämpökaapissa 105 °C lämpötilassa (**kuvio 10**), kunnes niiden paino ei enää punnitusten välillä muuttunut. Tämän jälkeen laskettiin kosteuspitoisuudet.



**Kuvio 9.** Punnituksessa käytettävä tarkkuusvaaka.



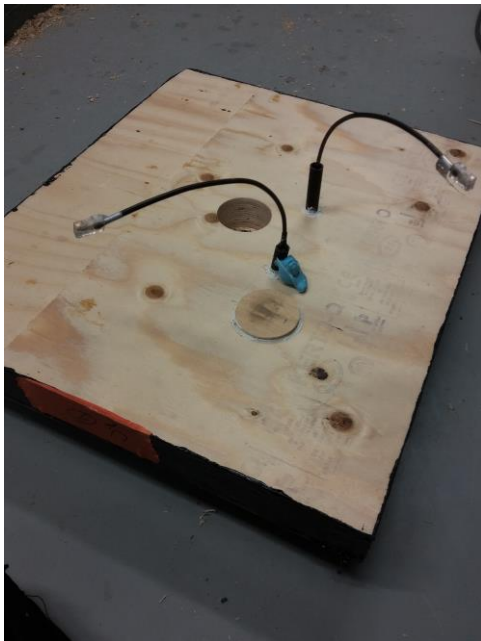
**Kuvio 10.** Kuivatuksessa käytettävä lämpökaappi.

#### **4.4 Puun suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareiästä**

Puun yhdeksi kosteusmittausmenetelmäksi valittiin normaalisti betonin suhteellisen kosteuden mittaamisessa käytetty huokosilman suhteellisen kosteuden mittaaminen putkitetuista porarei'istä. Kosteusmittausmenetelmää kuvaavassa RT 14-10984 -kortissa esitetyt ohjeet ovat tarkoitettu kiviaineisten rakenteiden mittaamiseen. Menetelmän käytöstä puumateriaalin kosteusmittauksessa oli tutkimushetkellä käytettävissä vain hajanaista kokemuseräistä tietoa. Tutkimuksessa selvitettiin menetelmän soveltuvuutta työn aikaiseen kosteusmittaukseen työmaalla. Jokai-



seen koekappaleeseen tehtiin porareivät kolmelle eri syvyydelle (**kuvio 11**). Sivupintoja mitattaessa 40 mm, 30 mm ja 20 mm syvyyteen ja päätypinnoilla 110 mm, 90 mm ja 70 mm syvyyteen. Saatuja tuloksia verrattiin kuivatus-punnitus-menetelmällä saatuihin tuloksiin



**Kuvio 11.** Koekappaleen porareikämittaus.

Mittaus suoritettiin RT 14-10984 -kortissa kuvatulla tavalla käyttäen Vaisalan mitausputkia. Erona standardiin oli, että mittaukset suoritettiin koko seurannan ajan samoista mittareistä. Tämä tehtiin käytännöllisten syiden vuoksi. Koekappaleiden olisi oltava suurempia, jotta voitaisiin porata uudet mittareivät jokaisella mittauskeralla.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Puun suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareikästä

Porareikäkosteusmittausten tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 1. Porareikäkosteusmittausten tulokset jäljittelivät kuivatus-punnitus-menetelmän tuloksia karkeasti, mutta tarkempia vertauksia saatujen tulosten välillä ei voi tehdä (**kuvio 12**). Porareikäkosteusmenetelmällä saatuja arvoja ei voida rajata tarkemmin tai esittää mikä arvo vastaisi tiettyä puun kosteuspitoisuutta.

Lapepinnan vesipatsasrasitus, käsittelemätön					
PVM	Syvyys (mm)	Kuivatus- punnitus- metelmä (p-%)	Porareikäkosteusmentelmä		
			Suhteellinen kosteus	Lämpötila	Absoluuttinen kosteus
27.maalis	20	9,4	48,6	5,4	3,4
	30	9,1	32,4	5,4	2,3
29.maalis	10	9,9	55,7	6	4,06
	20	9,3	35,2	6,5	2,65
	30	9,4	34,9	6,9	2,7
1.huhti	10	10,9	70,2	3,3	4,27
	20	9,5	37,6	3,6	2,34
	30	9,3	36,1	3,6	2,24
13.huhti	20	19,7	99	11,3	10,14
	30	11,6	61,9	10,4	6,01
	40	9,8	48,7	9,9	4,56
18.huhti	20	21,6	81,2	5	5,53
	30	13,4	62,8	4,9	4,26
	40	10,6	46,7	5	3,19
21.huhti	20	16,8	71,2	7,9	5,87
	30	11,6	58,3	8,2	4,9
	40	10,1	47,5	8,5	4,07
26.huhti	20	18,8	74,3	2,7	4,3
	30	13,7	67,6	2,5	3,98
	40	10,7	54,1	2,5	3,12
29.huhti	20	12,9	49,3	16	6,7
	30	11,0	52,9	17,2	7,7
	40	11,0	48,5	17,4	7,2

**Kuvio 12.** Porareikäkosteudet, käsittelemätön lapepinta.

### 5.2 Sähkönjohtavuuden perustuva puun piikkimittausmenetelmä

Tutkimuksessa käytettiin elektronista puunkosteusmittaria GANN Hydromette BL H 40 ja puuanturia M18. Mittarilla voidaan mitata eri puulajien kosteuspitoisuutta vastusmittausta käyttämällä. Tutkimuksen alussa testattiin piikkimittauksen toimivuutta viilupuurakenteessa. Kun pintaviilusta ei menty mitattaessa läpi, tulokset py-

syivät useamman mittauskerran aikana samoina. Mentäessä ensimmäistä viilua syvemmälle, mittarin antamat kosteuslukemat vaihtelivat saman mittauksen aikana useamman yksikön verran eikä tulos ollut toistettavissa.

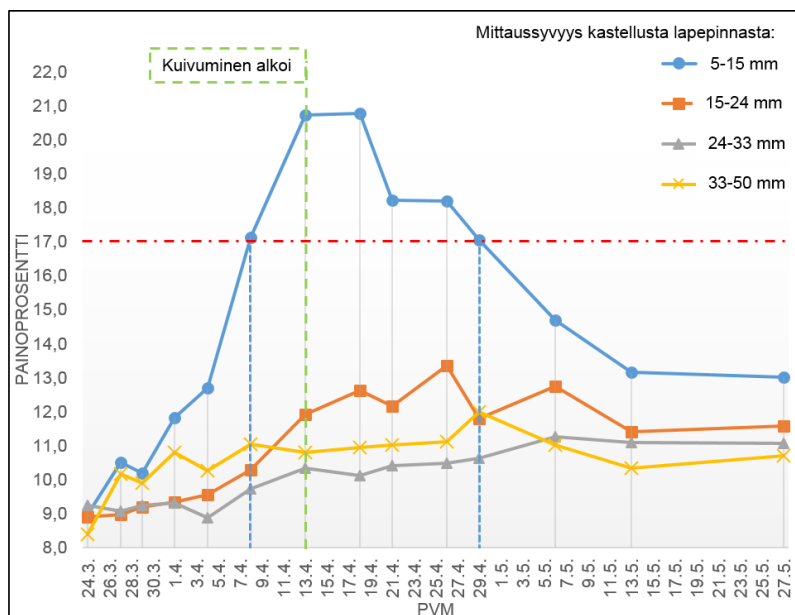
Painettaessa elektrodikärjet syvemmälle puuhun mittaaja ei voi olla varma osuvatko elektrodien kärjet liimakerrokseen. Piikkimittaus soveltuu ensisijaisesti viilupuulevyn pintaviilujen kosteuden kartoitukseen. Mittausmenetelmä on epäluotettava mitattaessa kosteutta syvemmältä rakenteesta. Viilupuun liimakerrokset vääristävät mittalaitteen antamia mittaustuloksia.

### **5.3 Viilupuun kastuminen ja kuivuminen**

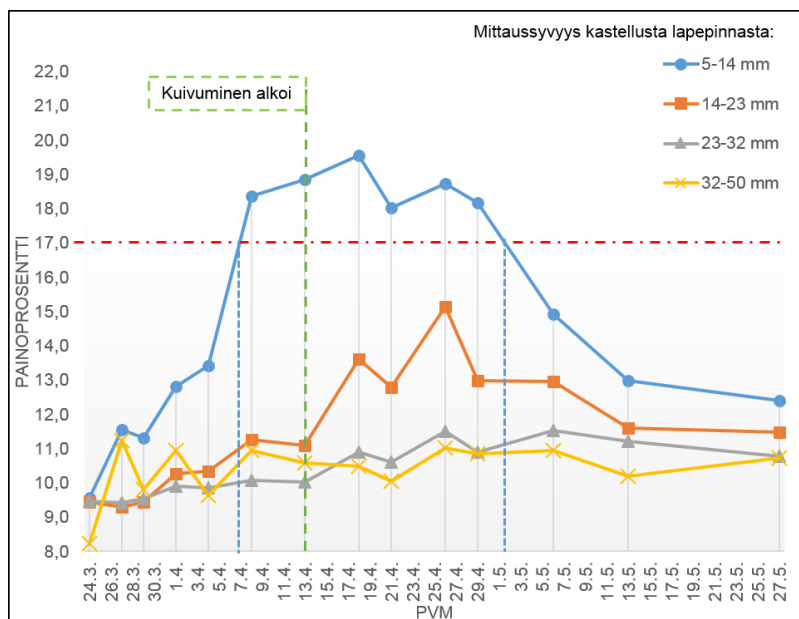
Koekappaleita säilytettiin ulkoilmassa 4 päivää ennen vesirasituskokeen aloittamista ja kokeen alussa koekappaleiden kosteuspitoisuus oli 9,5 painoprosenttia. Ulkoilman lämpötila kokeen aikana vaihteli maalisi- ja huhtikuussa 0–12°C välillä. Toukokuussa lämpötila oli 4–17°C välillä.

#### **5.3.1 Viilupuun kastuminen ja kuivuminen lapepinnan kautta**

Tutkittaessa viilupuun kastumista kolmen viikon ajan lapepinnan kautta, käsittelemättömien (**kuvio 13**) ja hydrofobisella liuksella pinnoitettujen (**kuvio 14**) koekappaleiden viisi ensimmäistä viilua (15 mm) kastuivat yli 17-painoprosentin raja-arvon. Pinnoitettu kappale ylitti 17-painoprosentin raja-arvon noin kaksi päivää käsittelemättömästä nopeammin, mutta käytännössä kastumista voidaan pitää lähes yhtä nopeana. Käsittelemättömän viilupuun kuivuminen on hieman nopeampaa kuin hydrofobisella liuksella pinnoitetun viilupuun kuivuminen. Hydrofobisella liuksella ei ollut merkittävää vaikutusta kastumis- ja kuivumisaikoihin. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että lapepinta ei anna sivelymenetelmällä pinnoitettaessa liuksen imeytyä tasaisesti ja muodostaa yhtenäistä kalvoa.



**Kuvio 13.** Käsittelemättömän lapepinnan kastuminen ja kuivuminen.



**Kuvio 14.** Pinnoitetun lapepinnan kastuminen ja kuivuminen.

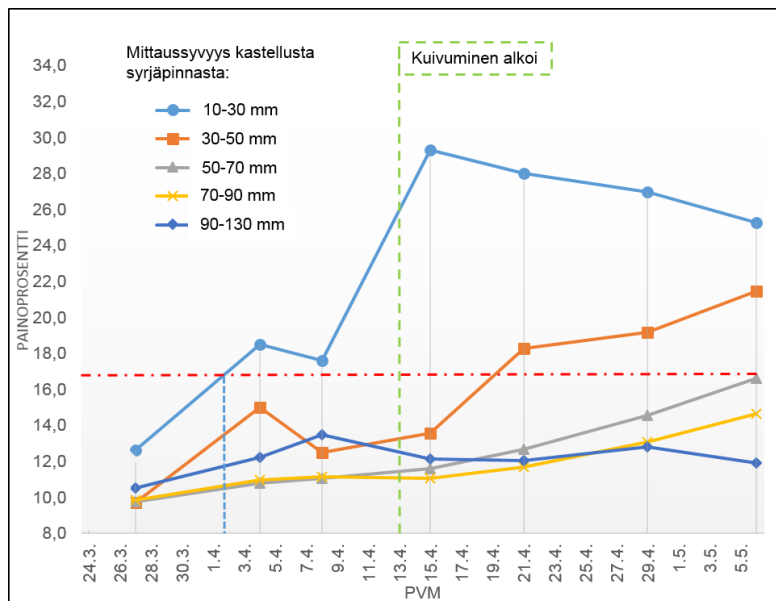
Kosteusrasituksen alettua käsittelemättömien koekappaleiden pintakerros (viisi pintaviilua) kastui 17 paino-% kosteuteen 15 vuorokauden kuluessa. Kastumisvaiheen loppuun mennessä kosteuspitoisuus oli noussut noin 21 paino-%:iin. Viilupuun kuivumista arvioidessa koekappaleiden pintakerros kuivui 17 paino-%:iin 16

vuorokaudessa. Neljän viikon jälkeen kuivumisen alkamisesta koekappaleen kosteuspitoisuus oli palannut lähelle lähtötasoa. Pinnoitettujen koekappaleiden osalta kastuminen raja-arvoon asti tapahtui 13 vuorokaudessa ja kuivumisen alettua raja-arvon saavuttamiseen kului 18 vuorokautta.

### **5.3.2 Viilupuun kastuminen ja kuivuminen syrjäpinnan kautta**

Viilupuun kastumista syrjäpinnan kautta tutkittiin 3 viikon ajan. Käsittelemättömien 130 mm korkeiden koekappaleiden läpikastuminen oli tapahtunut jo ensimmäiseen kosteusmittaukseen mennessä, eivätkä ne ehtineet kuivua tutkimusajan puitteissa.

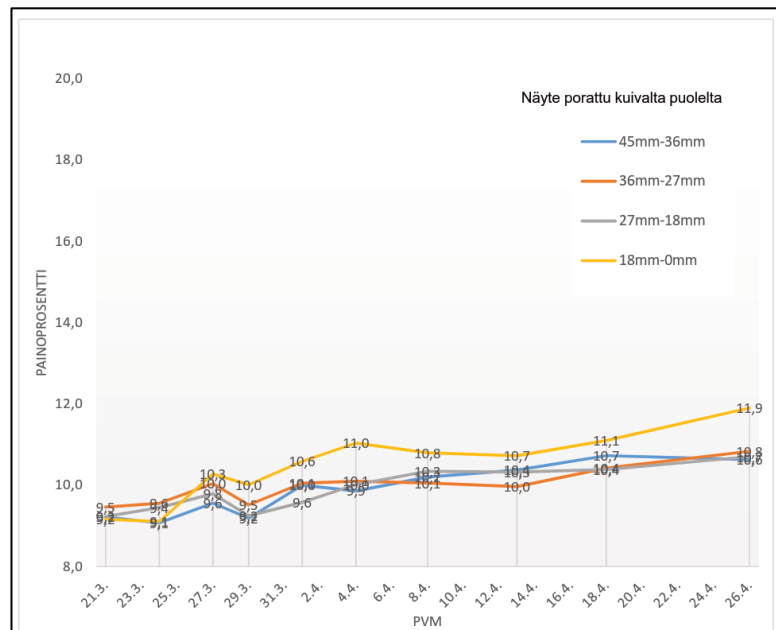
Hydrofobisella liuoksella pinnoitetuissa koekappaleissa vesi imeytyi korkeintaan 50 mm syvyyteen (**kuvio 15**). Ensimmäiset 30 mm kastellusta pinnasta ylittivät 17-painoprosentin raja-arvon viidessä päivässä, tästä kosteusprosentti jatkoi nousuaan 12 päivän ajan kosteusrasituksen poistoon asti. Kosteusrasituksen poistumisen jälkeen viilupuun pintakerros (0–30 mm) alkoi kuivua tasaisesti ja samaan aikaan syvemmällä rakenteessa (30–70 mm) kosteuspitoisuuden kasvaminen jatkui. Kuuden päivän kuluttua kosteusrasituksen poistumisesta myös 30–50 mm syvyydessä ylittyi 17 paino-% raja-arvo. Koekappaleet eivät ehtineet kuivua tutkimusajan puitteissa.



**Kuvio 15.** Hydrofobisella pinnoitteella käsitelty syrjäpinta.

### 5.3.3 Viilupuun lapepinnan kastelurasitus

Kastelurasituksessa olleet kappaleet pysyivät kuivina koko kasteluosuuden ajan. Kosteuspitoisuus ei noussut 12-painoprosenttia korkeammaksi, eikä pinnoitteella ollut vaikutusta tuloksiin.



**Kuvio 16.** Hydrofobisella pinnoitteella käsitelty sivupinta.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

### 6.1 Kuivatus-punnitus-menetelmä

Kuivatus-punnitus-menetelmän käyttö työnaikaisessa kosteuden seurannassa on haastavaa, koska rakenteesta porattavat näytepalat on punnittava ja kuivattava laboratorio-olosuhteissa. Menetelmässä on myös porattava rakennetta rikkovia mittareikiä. Erityisen haitallisia ne ovat rakenteiden liitosalueella, jossa rakenteen kuormitus on suuri. Myös näytteenotto ja tulosten saatavuus on hidasta.

### 6.2 Puun suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareistä

Mittaputken pään ollessa suora porareikämittauksella saadut tulokset eivät korreloineet referenssimenetelmänä käytetyn kuivatus-punnitus-menetelmän mittaustulosten kanssa. Tuloksista ei voida arvioida oikeaa kosteuspitoisuutta ulkoilmaolosuhteissa. Syynä tässä on se, että tehdyt porareivät olivat kohtisuorassa viilujen lapepinnan kanssa. Työmaaoloissa käytettävissä oleva poraussyvyyden tarkkuus on niin vähäinen, ettei mittaaja voi olla varma onko mittauspinta osin liimakerroksessa. Parempien tulosten saamiseksi mittaputken pää voi olla viisto, jolloin tuloksena saataisiin keskiarvo useamman viilukerroksen huokosilman suhteellisesta kosteudesta.

Virallisten betonin porareikämittauksen ohjeissa mainitaan lämpötilan vaikutus tuloksiin: ”Lämpötila vaikuttaa merkittävästi massiivisten rakenteiden suhteelliseen kosteuteen ja mittaukseen. Pienikin lämpötilan muutos mittauksen aikana voi aiheuttaa useiden prosenttiyksiköiden muutoksen suhteellisessa kosteudessa.” Tehdyssä tutkimuksessa koekappaleet eivät olleet tasaisissa lämpötilaolosuhteissa mittauksen aikana ja lämpötila saattoi vaihdella mittapään tasaantumisen aikana. Lisätutkimuksia tulisi tehdä hallituimmissa olosuhteissa.

Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaus porareistä voisi olla toimiva menetelmä puurakenteiden mittaukseen, kunhan yllä mainitut seikat otetaan huomioon.

### **6.3 Sähkönjohtavuuteen perustuva puun piikkimittausmenetelmä**

Viilupuun sisällä olevat liimakerrokset vääristävät merkittävästi sähkönjohtavuuteen perustuvien mittalaitteiden (piikkimittari) antamia tuloksia. Viilujen ollessa vain 3 mm välein, ei käsin mitattaessa voi olla varma osuvatko elektrodikärjet samaan viiluun vai jääkö niiden väliin liimakerroksia. Menetelmä soveltuu vain viilupuun pintaviilujen mittaukseen.

### **6.4 Viilupuun kastuminen ja kuivuminen**

Viilupuun kastuminen on erittäin nopeaa syrjä- sekä päätypintojen kautta ja kuivuminen taas hidasta. Koekappaleissa hydrofobinen pinnoite estää kastuneen puun kuivumista kahteen suuntaan ja kosteus siirtyy kuivan päädyn suuntaan. Syrjä- ja päätypinnat on suositeltavaa suojata veden imeytymisen estävällä hydrofobisella pinnoitteella, jonka todettiin estävän hyvin veden tunkeutumista syvemmälle rakenteeseen. Vesivahingon sattuessa hydrofobinen pinnoite rajoittaa veden imeytymistä syvemmälle rakenteeseen ja näin ollen kuivumisaika lyhenee huomattavasti.

Lapepinnan kautta viilupuun kastuminen on hidasta, eikä hydrofobisella pinnoitteella ole merkittävää vaikutusta kastumisen nopeuteen. Tehtaalta tulevan viilupuun pinta on jo itsessään vettä hylkivää. Viilupuun pinnat kuivuvat nopeasti, mutta viilupuun kastuessa pintaviiluja syvemmältä materiaalin kuivuminen on hidasta. Liimakerrokset hidastavat merkittävästi viilupuun kuivumista ja tästä johtuen syrjä- sekä päätypintojen, saumojen ja rakenneliitosten suojaus on rakennusaikana tärkeää.

Tehdyn tutkimuksen perusteella yhtenäisiä LVL-vaakarakenteita ei ole tarpeen suojata vedeltä, kunhan huolehditaan että pinnalle päässyttä vettä ei jätetä paikalleen pitkäksi aikaa. Kaikki LVL-materiaalien syrjäpinnat, jotka ovat missään vaiheessa alttiina kosteusrasitukselle, on hyvä suojata huolellisesti.



## 6.5 Viilupuurakentamisen kosteudenhallinnan erityispiirteet

Puumateriaaleja käytettäessä on kosteusvauriosta aiheutuva homehtuminen yksi suurimmista riskeistä. Riskin suuruus on riippuvainen materiaalin homehtumisherkkyydestä ja homeenkasvun kannalta kriittisten olosuhteiden vaikutusajasta. Rakenne voi kostua ilman, että homehtumiselle herkkien materiaalien pinnoille muodostuu homeita tai mikrobien kasvua, jos rakenteen kostumiseen reagoidaan riittävän ajoissa. Kosteuden vaikutusajan lyhentäminen kuivatustoimenpiteillä on tehokain keino vaikuttaa rakenteen kelpoisuuteen. Puurakenteiden kriittisenä kosteutena pidetään puun kosteuspitoisuutta 18 % puun kuivapainosta. Kriittinen kosteus saa ylittyä lyhytaikaisesti, kunhan rakenteisiin pääsevä vesi poistetaan ja rakenteet kuivataan välittömästi.

Etenkin viilupuurunkoisessa rakennuksessa tulisi vesivahinkojen riski eliminoida jo suunnittelussa. On tärkeä huolehtia riittävästä työmaahenkilöstön opastuksesta erityispiirteiden hallinnassa. Kosteuden hallintaa suunniteltaessa tulee veden pääsy rakenteiden liitosten ja saumojen alueelle estää. Viilupuurakennusta suunniteltaessa tulee välttää rakenneosien välisiä huonosti tuulettuvia kapeita ilmarakoja sekä umpinaisia kotelarakenteita, joita ei voida tarkastaa.

## 6.6 Tulosten luotettavuus

Punnitus-kuivatus-menetelmän edellyttämä käsityö ja koepalojen suuri määrä voivat aiheuttaa virheitä tuloksissa. Tutkimuksessa käytetyt koekappaleet olivat pieniä, mikä rajoitti näytteiden kokoa. Näytteiden otto tarvittavilta syvyyksiltä oli ongelmallista. Näytepalojen irrotus taltalla etenkin oksakohdissa tuotti ongelmia ja puun halkeilu aiheuttivat sen, että koepalat eivät aina olleet saman kokoisia tai irronneet halutulta syvyydeltä.

Rasituskokeissa viilupuun liimakerrokset, jotka eivät todennäköisesti olleet yhtenäisiä, saattoivat kuljettaa kosteutta ja estää levyn tasaisen kastumisen. Tilan puutteen vuoksi viimeisimmissä mittauksissa porareikäkosteudet ja kuivatus-punnitusnäytteet otettiin koekappaleen eri päädyistä. Kokeen alussa mittapisteteet olivat lä-

hempänä toisiaan, joten ensimmäisten tulosten vertailu on luotettavampaa verrattuna kokeen lopussa saatuihin tuloksiin. Näytepalojen reikien täyttämiseen käytetyt puutapit saattoivat myös imeä kosteutta ja vääristää tuloksia.

## LÄHTEET

/1/ Pesonen, R. ja Karnaattu, R. 2012. Piilevien kosteusvaurioiden aiheuttamat terveyshaitat, selvittäminen terveydensuojelulain mukaisilla asunnontarkastuksilla. Opinnäytetyö. Kuopio: Itäsuomen yliopisto

/2/ Kilic, Y., Colak, m., Baysal, E. & Burdurlu, E. 2006. An investigation of some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber manufactured from black alder glued with polyvinyl acetate and polyurethane adhesives. Forest Products Journal. Forest Products Society.

/3/ Viilupuu (LVL). Puuinfo Oy:n verkkosivut. Viitattu 2.11.2011. [www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6%C3%B6ripuutuotteet/viilupuu-lvl](http://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6%C3%B6ripuutuotteet/viilupuu-lvl)

/4/ Introducing LVL by Stora Enso. Stora Enson verkkosivut. Viitattu 2.11.2017 [www.storaenso.com/LVL](http://www.storaenso.com/LVL)

/5/ Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

/6/ Kokko, E. Sisäilman kosteusolojen parantaminen puurakenteilla. 2004. Wood Focus Oy. [www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunniteluohjeet/sisailman-kosteusolojen-parantaminen-puurakenteilla/sisailmaraportti.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunniteluohjeet/sisailman-kosteusolojen-parantaminen-puurakenteilla/sisailmaraportti.pdf)

/7/ Kerto-käsikirja, kosteuseläminen. 2015. Metsä Wood verkkosivut. [www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-Kosteuselaminen.pdf](http://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-Kosteuselaminen.pdf)

/8/ Merikallio, T. Ei päiväystä. Kosteusmittaus. [Verkojulkaisu]. Viitattu 15.10.2017. [www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s740.pdf](http://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s740.pdf)

/9/ Jönsson, J. 2005. Moisture Induced Stresses in Timber Structures. Opinnäytetyö. Lund Institute of Technology.

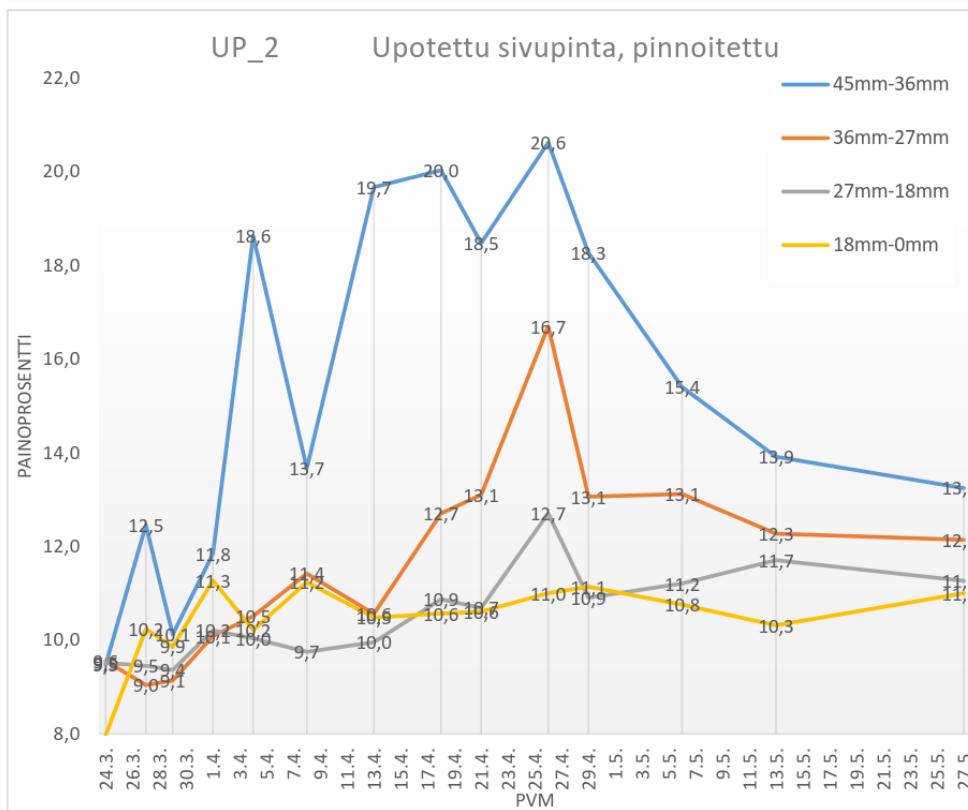
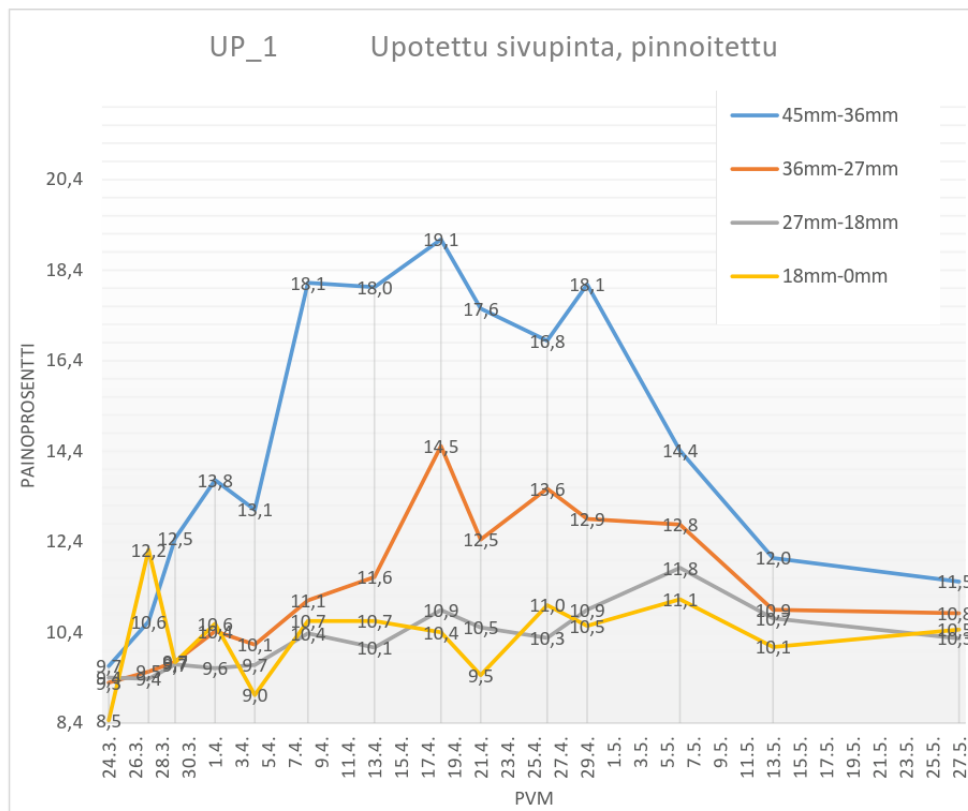
/10/ Opetushallitus. Puutavaran kuivaus. Viitattu 15.10.2017. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavaran\\_kuivaus/index.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavaran_kuivaus/index.html)

## LIITE 1. Porareikäkosteudet.

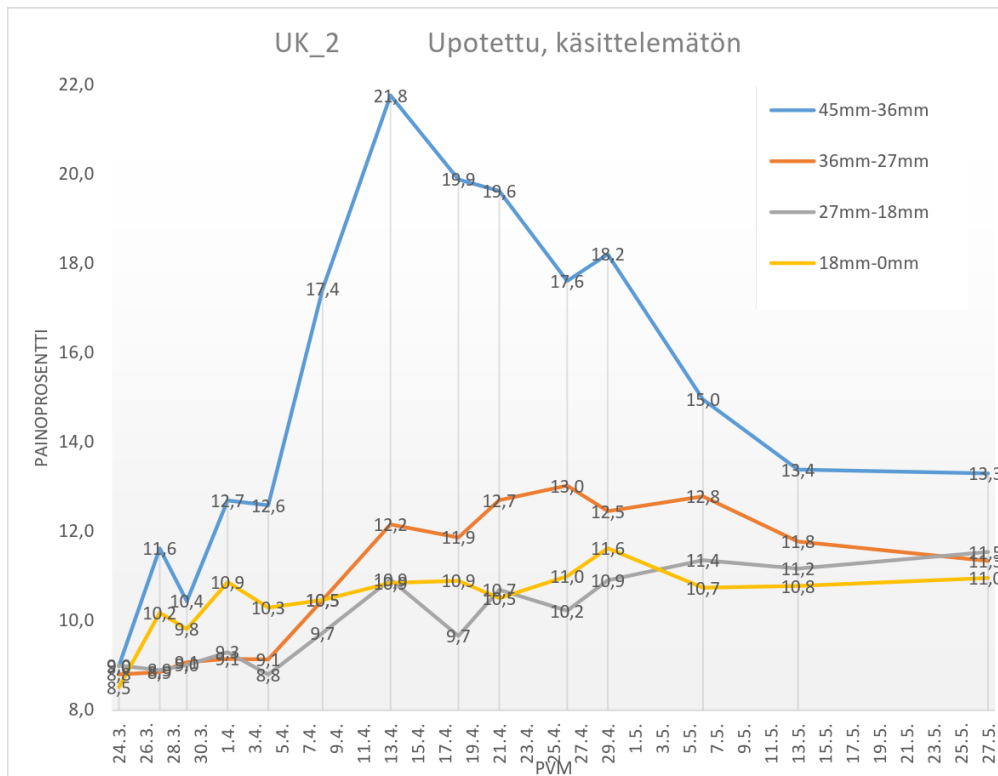
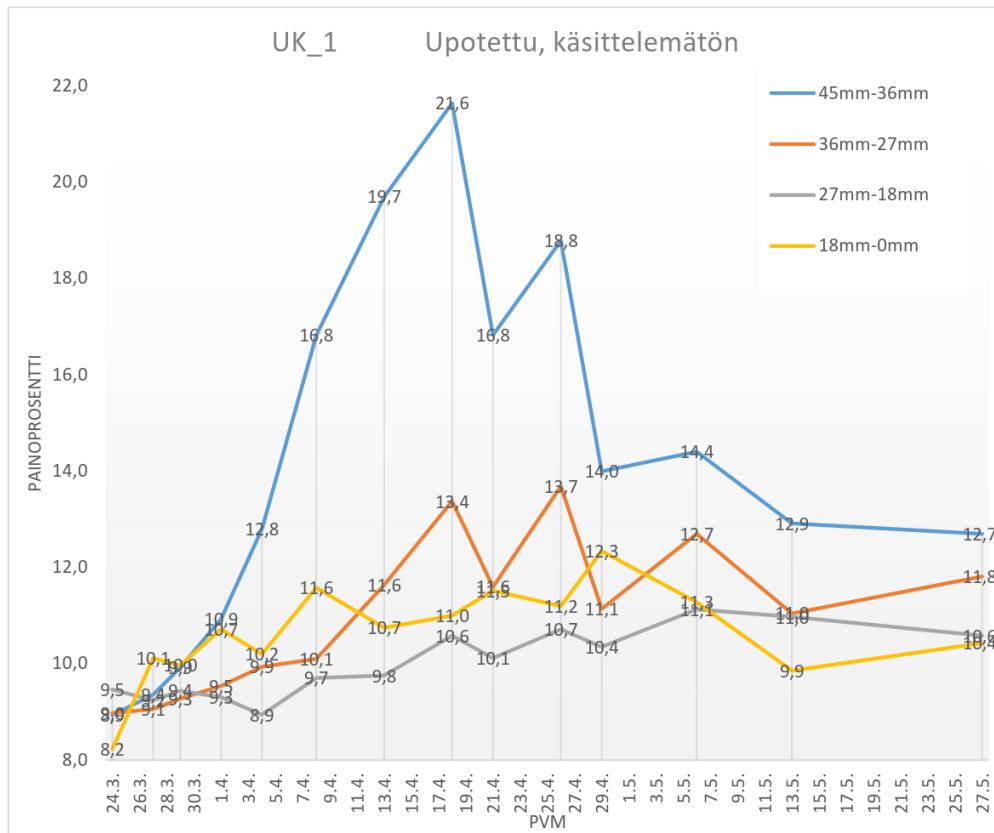
Lapepinnan vesipatsasrasitus, pinnoitettu					
PVM	Syvyys (mm)	Kuivatus- punnitus- metelmä (p-%)	Porareikäkosteusmentelmä		
			Suhteellinen kosteus	Lämpötila	Absoluuttinen kosteus
27.maalis	20	10,6	33,3	5,5	2,35
	30	9,5	35,8	5,5	2,52
29.maalis	10	12,5	38,8	6,9	6,9
	20	9,7	42,8	7,7	3,5
	30	9,7	38,5	8,6	3,3
	40	9,7	37,6	8,8	3,3
1.huhti	10	13,8	39,8	3,2	2,41
	20	10,4	51,4	3,4	3,15
	30	9,6	38,9	3,4	2,4
	40	10,6	48,3	3,7	3,02
13.huhti	20	18,0	64,1	10,2	6,11
	30	11,6	85,8	10,2	8,19
	40	10,1	45,9	10	4,32
18.huhti	20	19,1	61,2	4,6	4,08
	30	14,5	76,4	4,7	5,1
	40	10,9	46,1	4,6	3,07
21.huhti	20	17,6	62,1	6,9	4,8
	30	12,5	70,6	7,3	5,6
	40	10,5	47,9	7,4	3,82
26.huhti	20	16,8	69,4	3,6	4,33
	30	13,6	75,1	4,1	4,82
	40	10,3	56,2	3,1	3,37
Syrjäpinnan vesipatsasrasitus, pinnoitettu					
PVM	Syvyys (mm)	Kuivatus- punnitus- metelmä (p-%)	Porareikäkosteusmentelmä		
			Suhteellinen kosteus	Lämpötila	Absoluuttinen kosteus
27.maalis	20	12,6	90,9	7	7,07
	30	9,7	63,5	6,7	4,83
	40	9,7	60,7	6,7	4,62
4.huhti	10	18,5	100	9,8	9,31
	20	18,1	94	9,6	8,64
	30	10,8	70,4	9,4	6,38
8.huhti	10	15,7	->93		
	20	12,5	96,6	10,8	9,58
	30	11,0	81,8	10,4	7,93
15.huhti	20	29,3	91,9	7,9	7,58
	30	13,6	95,9	7,9	7,9
	40	11,6	90,6	8,2	7,61
21.huhti	20	39,3	96,1	7,4	7,67
	30	18,3	89,7	7,3	7,11
	40	12,6	90	7,4	7,18

Lapepinnan vesipatsasrasitus, käsittelemätön					
PVM	Syvyys (mm)	Kuivatus- punnitus- metelmä (p-%)	Porareikäkosteusmentelmä		
			Suhteellinen kosteus	Lämpötila	Absoluuttinen kosteus
27.maalis	20	9,4	48,6	5,4	3,4
	30	9,1	32,4	5,4	2,3
29.maalis	10	9,9	55,7	6	4,06
	20	9,3	35,2	6,5	2,65
	30	9,4	34,9	6,9	2,7
1.huhti	10	10,9	70,2	3,3	4,27
	20	9,5	37,6	3,6	2,34
	30	9,3	36,1	3,6	2,24
13.huhti	20	19,7	99	11,3	10,14
	30	11,6	61,9	10,4	6,01
	40	9,8	48,7	9,9	4,56
18.huhti	20	21,6	81,2	5	5,53
	30	13,4	62,8	4,9	4,26
	40	10,6	46,7	5	3,19
21.huhti	20	16,8	71,2	7,9	5,87
	30	11,6	58,3	8,2	4,9
	40	10,1	47,5	8,5	4,07
26.huhti	20	18,8	74,3	2,7	4,3
	30	13,7	67,6	2,5	3,98
	40	10,7	54,1	2,5	3,12
29.huhti	20	12,9	49,3	16	6,7
	30	11,0	52,9	17,2	7,7
	40	11,0	48,5	17,4	7,2

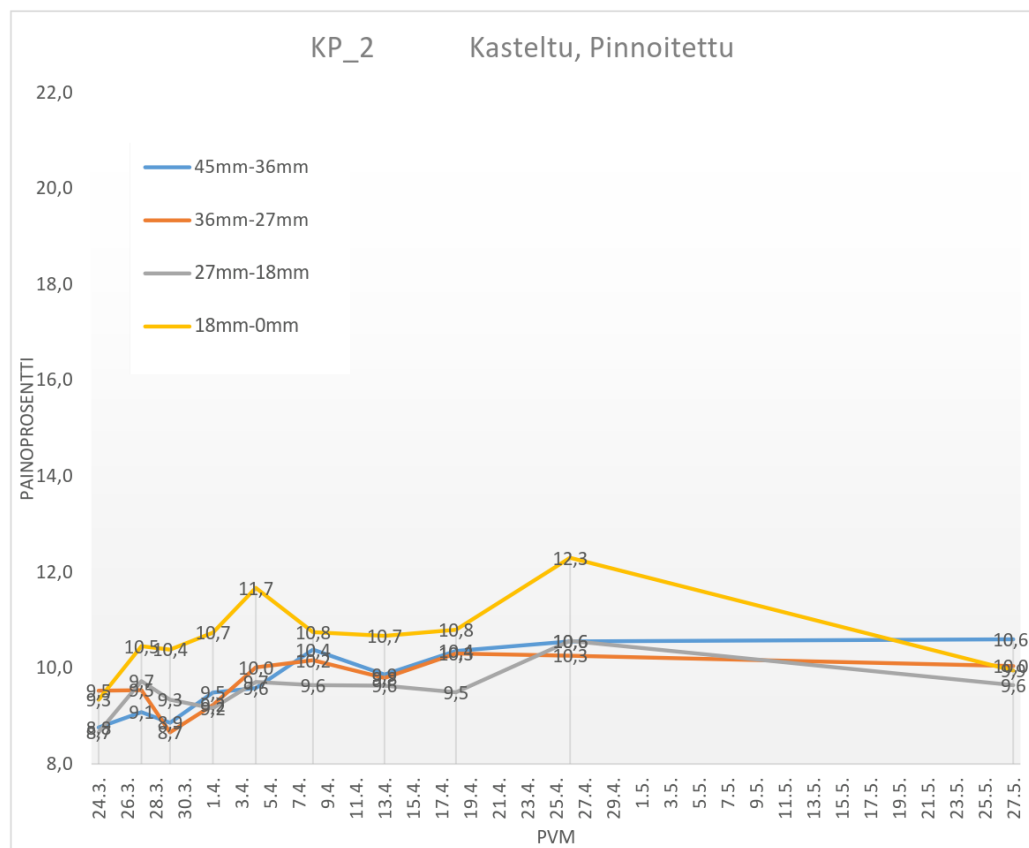
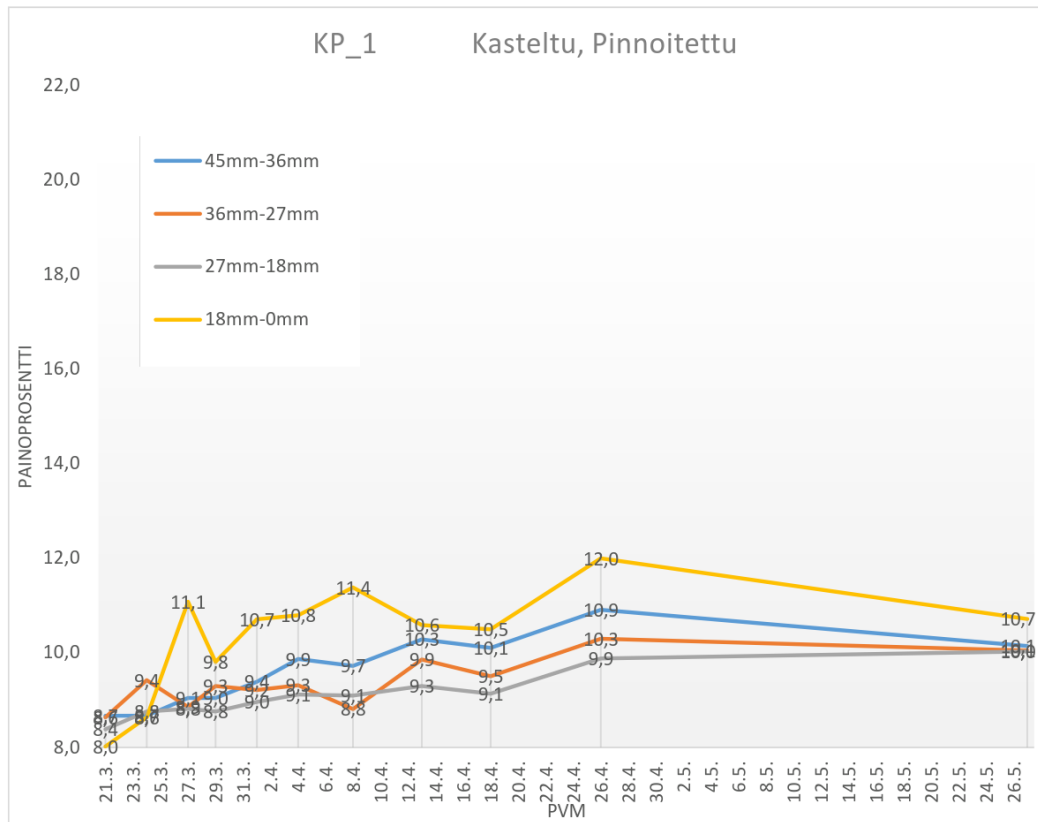
## LIITE 2. Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan vesipatsasrasitus, pinnoitettu.



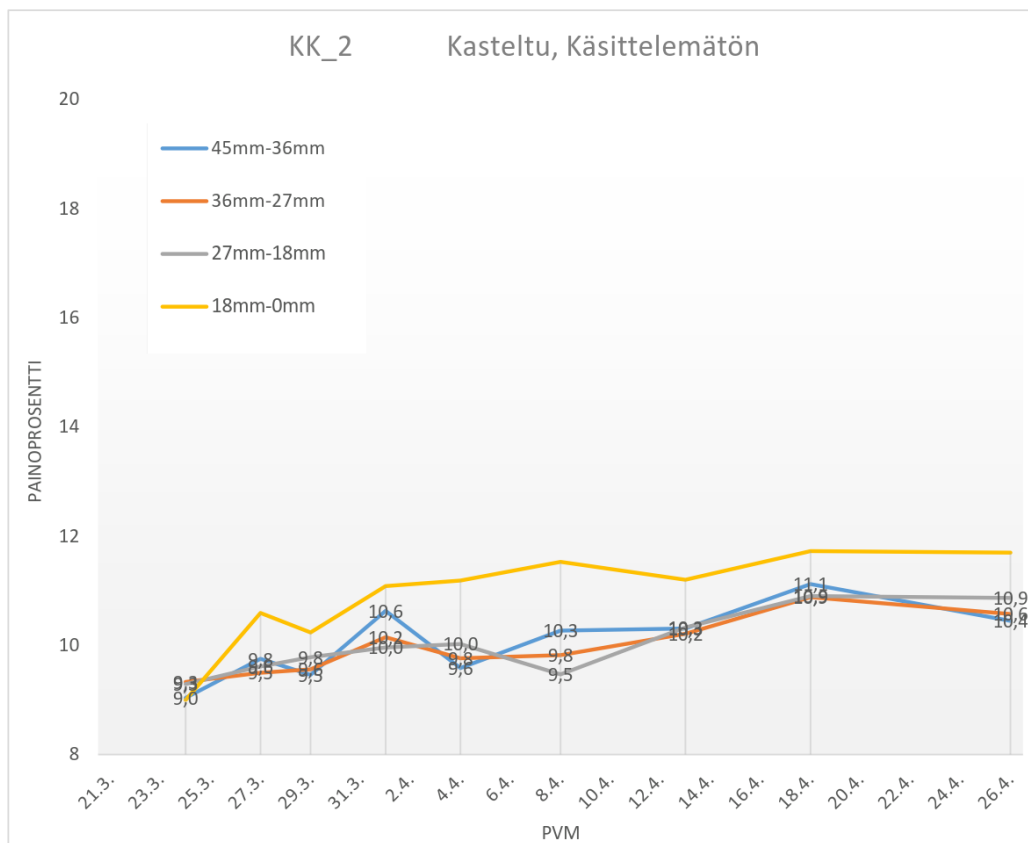
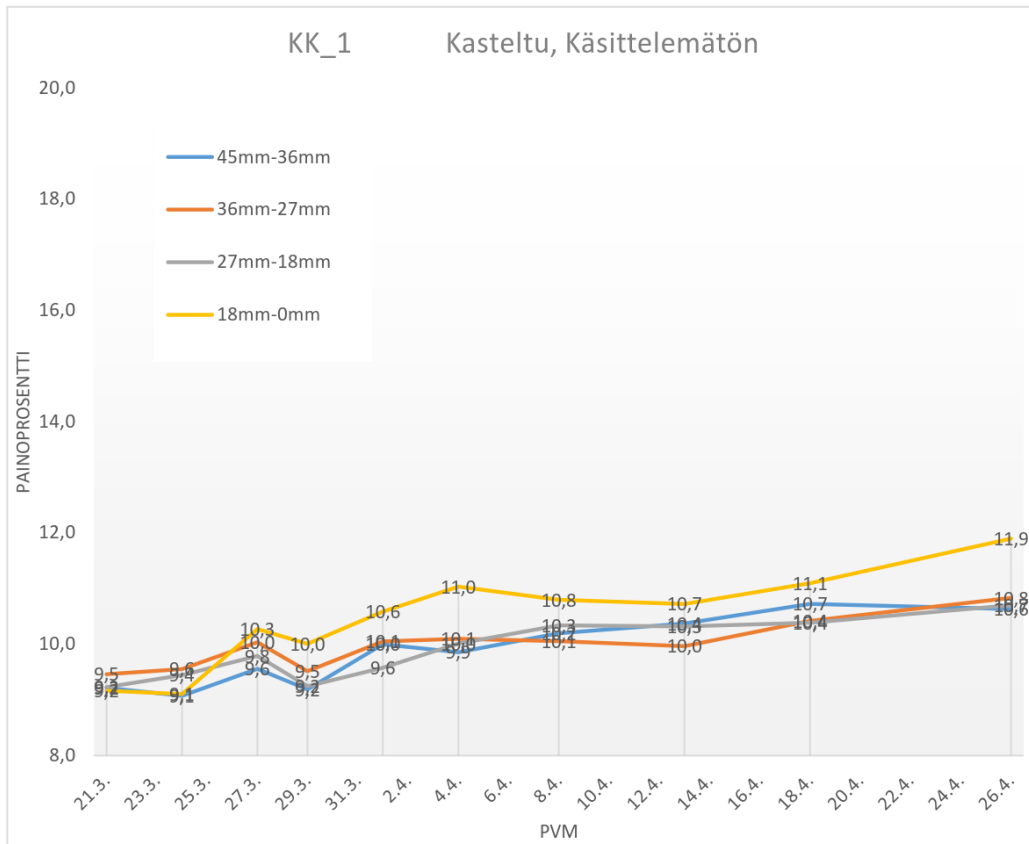
### LIITE 3. Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan vesipatsasrasitus, käsittelemätön.



#### LIITE 4. Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan kastelurasitus, pinnoitettu.



### LIITE 5. Kuivatus-punnitustulokset, lapepinnan kastelurasitus, käsittelemätön.





**LIITE 6.** Kuivatus-punnitustulokset, syrjäpinnan vesipatsasrasitus, pinnoitettu

