



# CLT-elementin kosteusmittaus- tapojen vertailu

Miska Pöysäri

OPINNÄYTETYÖ  
Lokakuu 2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

PÖYSÄRI, MISKA:  
CLT-elementin kosteusmittaustapojen vertailu

Opinnäytetyö 108 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Lokakuu 2022

---

Puurakentamista ja puun käyttöä rakentamisessa lisätään, ja sillä pyritään alentamaan rakentamisen hiilijalanjälkeä. Teollinen puurakentaminen on kehittynyt, ja varsinkin CLT-elementtien käyttö on yleistynyt. Liiallinen kosteus vaurioittaa puuta herkästi ja kosteudenhallinta on erittäin tärkeää puurakentamisessa. CLT:n käytöstä yleisesti tarvitaan lisää tietoa ja kokemuksia. Lisäksi tietoa tarvitaan sen kosteusominaisuuksista, kosteuskäyttäytymisestä ja kosteudenmittaamisesta.

Opinnäytetyössä tutkittiin ja vertailtiin eri kosteudenmittausmenetelmiä CLT-elementissä. Numeeristen tulosten lisäksi menetelmiä vertailtiin ja käsiteltiin toimivuuden, toteutuksen ja käytännöllisyyden kannalta. Myös menetelmiin liittyviä epävarmuustekijöitä ja niiden vaikutusta tutkittiin. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Ramboll Finland Oy. Opinnäytetyön kosteusmittaukset suoritettiin rakennusvaiheessa olevan Helsingin Luonnontiedelukion työmaalla. Käytetyt kosteudenmittausmenetelmät olivat piikkimittaus, jatkuvatoiminen piikkimittaus ja kuivaus-punnitus-mittaus. Mittaukset tehtiin ulkoseinän CLT-levystä sisäpuolelta.

Pääsääntöisesti piikkimittaus ei eroa paljoa kuivaus-punnitus-mittauksesta. Jatkuvatoimisen piikkimittauksen tulokset Wiisteen valmistamalla mittareilla erosivat paljon muista menetelmistä, mutta koska niitä oli työmaalla vähän, ei niistä voida tehdä tarkkoja johtopäätöksiä. Lähtökohtaisesti tässä opinnäytetyössä tutkituista mittausmenetelmistä kuivaus-punnitus-mittaus on tarkin. Siitä huolimatta siihen liittyy paljon lopulliseen tulokseen vaikuttavia tekijöitä, jotka tulee huomioida.

Kosteusmittauksissa rinnakkaiset menetelmät tuovat varmuutta ja luotettavuutta mittaustuloksiin. Karkeaan mittaukseen piikkimittaus on varsin tarkka menetelmä. Kuivaus-punnitus-mittauksessa on suunniteltava tarkkaan näytepalanottomenetelmä ja muut toimenpiteet ja minimoida tulokseen vaikuttavat epävarmuustekijät. Jatkuvatoimisen piikkimittauksen yhteydessä kannattaa tehdä rinnakkaisia mittauksia, jotta voi varmistua tulosten luotettavuudesta. CLT:n liimasaumojen vaikutusta CLT:n kosteusominaisuuksiin ja -käyttäytymiseen olisi tarpeen tutkia lisää ja tarkemmin. Kosteusmittausmenetelmiä olisi tarpeen vertailla myös silloin, kun CLT on erittäin kuivaa ja erittäin kosteaa. Lisäksi tarpeellista olisi eri näytepalanottomenetelmien vertailu ja monen eri piikkimittarin vertailu.

---

Asiasanat: CLT, kosteus, massiivipuu

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

PÖYSÄRI MISKA:

Comparison of different CLT-element`s moisture measurement methods

Bachelor's thesis 108 pages, appendices 5 pages  
October 2022

---

Manufacturing of wooden buildings is increasing. The goal is to decrease the carbon footprint of construction. Industrial wooden construction has developed and notably CLT technology. Too high moisture levels easily damage wood. Because of this, when building out of wood or wood products, it is very important to manage moisture in buildings. One way to manage and check moisture is moisture measurements from structures. From CLT more information is needed of it generally and about its moisture traits and about measuring moisture of it.

The objective of this thesis was to study and compare different moisture measurement methods in CLT. Methods were compared numerically, in terms of functionality and practicality. Typical uncertainties of the different methods were also studied. Principal for this thesis was Ramboll Finland Oy. This study`s moisture measurements were done at Helsinki Natural Science High School`s worksite. Used methods were electrical resistance method by using a spike moisture meter, electrical resistance method by using a continuous spike moisture meter and oven dry method. Measurements were done inside from the inner surface of outer wall CLT-element.

Spike moisture meter`s results did not mainly differ much from oven dry method`s results. Continuous spike moisture meter`s results differed much from other methods` results. Because at the worksite there were only three of them, further conclusions about them cannot be made. The oven dry method is considered the most accurate method used in this study. Nevertheless, it has some uncertainties that can affect the results, and which need to be noticed and observed. When two or more measurement methods are used, they bring more certainty and reliability to the measurements and results. Spike moisture meter is accurate enough for rough measurements. Oven dry method measurement needs to be planned precisely. Parallel measurements with continuous spike meters is recommendable, because then it is easier to make sure that the results are reliable.

CLT`s glue joints effect on its moisture traits needs to be studied more. Different moisture measurement methods should be compared also when CLT is very dry and when it is very moist. Comparison of different oven dry method`s sampling methods and comparison of many different spike moisture meters would also be interesting.

---

Key words: CLT, moisture measurement, solid wood

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	9
2	Puun ominaisuudet, suojaaminen ja vaurioituminen .....	11
	2.1 Puun ominaisuudet .....	11
	2.2 Puun kosteusominaisuudet .....	11
	2.3 Puun kostuminen .....	13
	2.4 Puun kuivaus.....	15
	2.5 Puun suojaus .....	16
	2.6 Puun vaurioituminen .....	17
	2.7 Puun vaurioitumista aiheuttavien tekijöiden rajoittaminen.....	20
3	CLT.....	21
	3.1 Yleistä CLT-levystä .....	21
	3.2 CLT-levyn valmistus.....	22
	3.3 CLT-levyn ominaisuudet .....	24
	3.3.1 Yleistä CLT-levyn ominaisuuksista.....	24
	3.3.2 CLT-levyn lämpöominaisuudet .....	25
	3.3.3 CLT-levyn lujuusominaisuudet.....	25
	3.3.4 CLT-levyn ääneneristysominaisuudet.....	27
	3.3.5 CLT-levyn palo-ominaisuudet.....	27
	3.4 CLT-levyn kosteusominaisuudet .....	28
	3.4.1 Yleistä CLT-levyn kosteusominaisuuksista.....	28
	3.4.2 Kosteuselämisen vaikutus CLT-levyn ominaisuuksiin .....	29
	3.4.3 Kosteuselämisen huomioiminen CLT:n liitoksissa.....	30
	3.4.4 CLT:ssä käytettävien liimojen ja liimauksen vaikutus sen ominaisuuksiin .....	31
	3.5 CLT-levyn käyttö .....	33
4	Kosteudenmittaus .....	36
	4.1 Kosteusmittausten tarkoitus .....	36
	4.2 Kosteusmittausten suoritus .....	37
	4.3 Tässä opinnäytetyössä käytettävät kosteudenmittaustavat .....	38
	4.3.1 Perinteinen piikkimittaus.....	38
	4.3.2 Jatkuvatoiminen piikkimittaus .....	40
	4.3.3 Punnitus-kuivausmenetelmä .....	41
5	Kosteusmittausten kohde.....	43
	5.1 Ulkoseinä .....	44
6	Kosteusmittaukset Helsingin luonnontiedelukion työmaalla.....	46

6.1	Piikkimittaus .....	46
6.2	Jatkuvatoiminen piikkimittaus.....	47
6.3	Punnitus-kuivausmenetelmä .....	48
6.4	Mittausten suoritus .....	52
7	Menetelmien arviointi ja vertailu.....	57
7.1	Piikkimittaus .....	57
7.2	Jatkuvatoiminen piikkimittaus.....	59
7.3	Punnitus-kuivausmenetelmä .....	60
7.4	Kosteusmittauksiin vaikuttavia tekijöitä .....	64
7.4.1	Sahauksen vaikutus .....	64
7.4.2	Näytepalojen massa ja laatu .....	65
7.4.3	Näytepalojen kuljetus ja säilytys .....	68
7.4.4	Oksien ja pihkan vaikutus.....	69
7.4.5	CLT:n liimasaumojen vaikutus.....	73
8	Tulokset .....	80
8.1	Kuivaus-punnitus-mittauksen ero piikkimittaukseen näytepalasta	80
8.2	Piikkimittaus pinnasta ero piikkimittaukseen näytepalasta .....	82
8.2.1	Sahauksen vaikutus piikkimittaukseen .....	82
8.3	Piikkimittauspinnasta ero keskenään samasta kohdasta .....	83
8.4	Piikkimittaus pinnasta ero kuivaus-punnitus-mittaukseen .....	84
8.5	WM1-WAN-mittarin ero muihin mittausmenetelmiin.....	84
8.6	Yhteenveto mittausmenetelmien vertailusta.....	86
9	Pohdintaa mittauksista.....	88
9.1	Kokemuksia ja pohdintaa tuloksista .....	88
9.2	Pohdintaa mittauksien tekemisestä.....	89
9.3	Mittauksiin mahdollisesti vaikuttaneet tekijät ja niiden vaikutus ...	90
9.4	Mittauspaikat ja olosuhteet.....	91
10	Johtopäätökset ja pohdinta .....	94
10.1	Johtopäätökset .....	94
10.2	Luotettavuus ja onnistuminen .....	95
10.3	Jatkotutkimusehdotukset .....	96
	LÄHTEET .....	97
	LIITTEET .....	104
	Liite 1. Punnitus kuivaus mittauksien tulokset.....	104
	Liite 2. Piikkimittaus näytepalasta tulokset.....	107
	Liite 3. Piikkimittaukset pinnasta tulokset.....	108

**ERITYISSANASTO**

absorboiva	Itseensä imevä, imeyttävä.
anisotrooppisuus	Aineen ominaisuudet eri suunnissa erilaiset.
delaminoituminen	CLT:n kohdalla tarkoittaa lamellien irtoamista.
diffuusio	Molekyylit pyrkivät siirtymään suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen ja tasoittamaan pitoisuuserot.
diffuusiovastuseroin	Tarkoittaa, kuinka paljon tietyn materiaalin diffuusiovastus on verrattuna yhtä paksuun ilmakerrokseen samassa lämpötilassa.
hygroskooppisuus	Materiaalin kyky sitoa kosteutta ympäröivästä ilmasta itseensä ja vapauttaa sitä takaisin ympäröivään ilmaan myöhemmin.
höyrynsulku	Tehtävä estää rakenteeseen tai rakenteessa vesihöyryn haitallinen diffuusio.
ilmatiiveys	Rakennuksen vaipan kyky estää ilman pääsy rakenteeseen ja kulkeutuminen sen läpi.
IoT	Tulee sanoista Internet of Things ja tarkoittaa esineiden internettiä. Se tarkoittaa järjestelmiä, jotka perustuvat teknisten laitteiden tekemään automaattiseen tiedonsiirtoon ja laitteiden etäseurantaan ja -ohjaukseen internetin kautta.
kalibrointi	Tarkoin tunnettuun mittaan vertailemalla tehty asteikkojen ja mittojen tarkka määrittäminen.
kapillaarisuus	Vesi imeytyy aineeseen kapeita huokosia pitkin pintajännitysvoimien vaikutuksesta. Veden imeytymisen puuhun aiheuttaa kapillaarisuus ja nopeinta se on puun syiden suunnassa.

kastepiste	Lämpötila, johon ilman täytyisi jäähtyä, jotta ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy.
konduktanssi	Sähkönjohtavuus.
konvektio	Lämpötilaeroista aiheutuva lämmön siirtyminen kaasussa tai nesteessä lämmön aiheuttamien virtausten mukana.
kyllästymispiste	Puun kosteustila, kun vapaa vesi poistunut soluonteloista ja soluseinämät sisältävät vettä enimmäismäärän.
massiivirakenne	Yksi yhtenäinen rakennekerros huolehtii rakenteen keskeisistä tehtävistä.
ominaislämpökapasiteetti	1 kg:n ainemäärän lämpötilan nostamiseen 1:llä asteella tarvittava lämpömäärä.
pH	Luku, joka kuvaa liuoksen happamuutta eli vetyionipitoisuutta.
resonanssi	Ominainen ilmiö kaikelle aaltoliikkeelle fyysikassa. Kappaleella on mahdollisesti kyky imeä tietyllä taajuudella etenevän aaltoliikkeen energiaa.
suhteellinen kosteus	Ilmassa olevan vesihöyrymäärän suhde suurimpaan mahdolliseen vesihöyrymäärään, jonka tietty ilmamäärä voi sisältää tietyssä lämpötilassa ja paineessa.
sähkövastus (resistanssi)	Johtimen tai muun sähköisen piiriosan kyky vastustaa sähkövirtaa.
tasapainokosteus	Puu on tasapainokosteudessa, kun ympäröivän ilman kosteutta ei tule puuhun, eikä poistu siitä ja ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila pysyvät vakioina.
terminen massa	Rakennusmateriaalin kyky varastoida lämpöenergiaa ja miten kyseinen ominaisuus tasaa lämpötilanvaihtelua rakennuksessa.

valmistuskosteus

Tasapainokosteuden ylittävä kosteus, joka on tullut rakennusaineisiin rakennusvaiheen aikana tai ennen sitä. Valmistuskosteuden tulee voida poistua rakenteesta.



## 1 JOHDANTO

Puurakentamista ja puun käyttöä rakentamisessa lisätään varsinkin kaikessa julkisessa rakentamisessa. Puun käytöllä pyritään alentamaan rakentamisen hiilijalanjälkeä. Teollinen puurakentaminen on kehittynyt ja sitä kehittämällä parannetaan puurakentamisen materiaalitehokkuutta, tuotantotehokkuutta, kustannustehokkuutta ja laatua. (Ympäristöministeriö n.d.) Varsinkin CLT-massiivipuulevytekniikka on kasvattanut suosiotaan ja CLT-elementtien käyttö on yleistynyt rakentamisessa (Rakentaja n.d.). Kosteudenhallinta ja kosteuden aiheuttamien vaurioiden ehkäisy on erittäin tärkeää kaikessa rakentamisessa. Ollessaan liian kosteaa, puu vaurioituu herkästi biologisesti, aiheuttaen vakavia terveydellisiä ja rakenteellisia ongelmia ja siksi kosteudenhallinta puurakentamisessa on tärkeää. Yksi kosteudenhallinnan keinoista on kosteusmittaukset rakenteista. Koska CLT:n käyttö rakentamisessa yleistyy, tarvitaan sen käyttämisestä sekä yleisesti lisää kokemuksia, että sen kosteusominaisuuksista, kosteuskäyttäytymisestä ja kosteudenmittaamisesta.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja vertaillaan eri kosteudenmittausmenetelmiä CLT-elementistä. Opinnäytetyön tavoite on tutkia kosteudenmittausmenetelmiä suhteessa toisiinsa CLT-elementissä, sekä tutkia kosteudenmittausmenetelmien epävarmuustekijöiden suuruuksia ja vaikutusta. Kosteudenmittausmenetelmiä tutkitaan ja vertaillaan tulosten, toteutuksen ja toimivuuden kannalta. Tutkittavat kosteudenmittausmenetelmät ovat piikkimittaus, jatkuvatoiminen piikkimittaus ja punnitus-kuivaus-mittaus. Eri kosteudenmittausmenetelmissä vertaillaan niillä saatuja tuloksia, niihin liittyviä epävarmuustekijöitä ja käytännöllisyyttä. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Ramboll Finland Oy.

Opinnäytetyön kosteusmittaukset suoritetaan rakennusvaiheessa olevalla Helsingin Luonnontiedelukion työmaalla. Tutkimuksen piikkimittaukset tehdään Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriolta lainattavalla puun piikkikosteusmittarilla. Helsingin Luonnontiedelukion työmaalla CLT-elementtien kosteudenmittaamisessa käytetään WM1-WAN-mittareita, joiden tuloksia hyödynnetään ja vertaillaan tässä tutkimuksessa. Tässä opinnäytetyössä WM1-

WAN-mittarien kosteudenmittaamista kutsutaan jatkuvatoimiseksi piikkimitaukseksi. Punnitus-kuivaus-mittausta varten työmaalta otetaan CLT-elementeistä näytepaloja, joiden kosteuspitoisuus selvitetään kuivaamalla ja punnitsemalla. Näytepalat kuivataan Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion kuivausuunissa.

Kaikkia kolmea kosteudenmittausmenetelmää verrataan toisiinsa ja selvitetään miten paljon ne eroavat toisistaan. Tässä opinnäytetyössä käytettävistä kosteudenmittausmenetelmistä lähtökohtaisesti luotettavin ja tarkin on punnitus-kuivaus-mittaus.

Koska CLT on puutuote, tarkastellaan tässä opinnäytetyössä kosteudenmittaamista myös yleisemmällä tasolla puun kannalta. Lisäksi sekä CLT:tä, että puuta yleisesti taustoitetaan ja niiden kosteusominaisuuksia, suojaamista ja vaurioitumista käsitellään. Myös kosteudenmittaamista tarkastellaan yleisemmällä tasolla. Kosteusmittausten tarkoitukseen ja suoritukseen perehdytään ja käsitellään kosteusmittauksissa huomioitavia asioita.

Eri menetelmillä saatujen numeeristen tulosten lisäksi tässä opinnäytetyössä keskeisessä osassa on myös käytettyihin kosteusmittausmenetelmiin tyypillisesti liittyvien tekijöiden ja niiden huomioon ottamisen tarkastelu. Mittauksista saatavien tulosten ja kokemusten avulla arvioidaan vaikuttavia tekijöitä ja niiden suuruutta. Tulosten ja kokemusten avulla arvioidaan myös eri kosteudenmittausmenetelmien soveltuvuutta eri tilanteisiin.

## **2 Puun ominaisuudet, suojaaminen ja vaurioituminen**

### **2.1 Puun ominaisuudet**

Huokoisen rakenteensa takia puu johtaa lämpöä huonosti. Lämmönjohtavuuteen vaikuttavat myös tiheys ja kosteus. Kosteuden noustessa 1 %:n lämmönjohtavuus kasvaa 2,7 %:ia. Puun lämpökapasiteetti riippuu myös tiheydestä ja kosteudesta, sekä lämpötilasta ja syysuunnasta. Kosteuden lisääntyminen lämmönjohtavuuden lisäksi nostaa myös puun ominaislämpöä. Puun lämpölaajeneminen on vähäistä verrattuna kosteuden aiheuttamaan puun elämiseen. (Siikanen 1998, 40-41.)

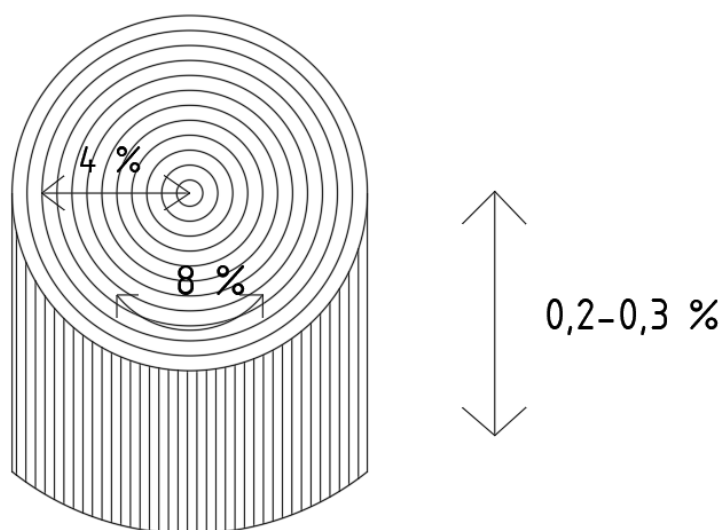
Puun ollessa kuivaa, on sen sähkönjohtavuus pieni, mutta puunsiyden ollessa kyllästymispisteessä, on se lähes sama kuin vedellä. Puu eristää huonosti ääntä, koska sen tilavuuspaino on kevyt. Ääntä eristävät puurakenteet toteutetaan yleensä yhdistettyinä rakenteina. Puu johtaa ääntä paremmin pituus-, kuin poikittaissuunnassa. Äänenvaimennusominaisuudet sen sijaan ovat puulla kohtalaiset, vaikka se heijastaakin 85 % siihen osuneesta äänitehosta. Hyvän resonointikyvyn ansiosta puu taas sopii esimerkiksi soittimien kaikupohjaksi ja ääntä vaimentaviin resonaattorirakenteisiin. (Siikanen 1998, 41-42.)

### **2.2 Puun kosteusominaisuudet**

Kosteuden kannalta puun huonoja ominaisuuksia ovat suuri kosteuseläminen, lahoamisalttius ja anisotrooppisuus eli ominaisuuksien erilaisuus pituus- ja poikittaissuunnassa. Puu kosteuselää siis pituus- ja poikittaissuunnassa eri tavalla. (Siikanen 1998, 12.)

Esimerkiksi mänty ja kuusi kutistuvat kuivuessaan tuoreesta vedettömän kuivaksi eri määrän eri suuntiin: 0,2-0,3 % pituussuunnassa, n. 8 % tangentin suunnassa ja n. 4 % säteen suunnassa. Lisäksi tilavuuskutistuminen on n. 12 %. Puu siis kutistuu eniten tangentin suunnassa (vuosirenkaiden suunnassa) ja säteen suun-

nassa (puun ytimen ja ulkopinnan suunnassa) kutistuminen on noin puolet tangentin suunnasta. Lisäksi kosteuseläminen sydänpuussa on pienempää, kuin pintapuussa. (Siikanen 1998, 39-40; Puuproffa n.d.)



KUVA 1. Puun kosteuseläminen.

Puussa on normaalioloissa vettä, osa siitä on vapaana ja osa soluseinämiin sitoutuneena. Kun vesi haihtuu puun kuivussa, ensin siitä haihtuu irtain vesi, minkä jälkeen soluseinämien vesi. Puunsyiden kyllästymispisteessä soluonteloiden irtain vesi on haihtunut ja soluseinämissä on enimmäismäärä vettä. Männyn ja kuusen kyllästymispiste on noin 30 paino%. Lämpötilan noustessa kyllästymispiste alenee. Soluseinämistä veden haihtuessa puu kutistuu ja sen lujuusominaisuudet paranevat. Puun pitkittäissuuntaisella kosteuselämisellä ei ole vaikutusta rakenteelliseen suunnitteluun, kun taas poikittaisella kosteuselämisellä sen sijaan on. Vahoilla ja hartseilla puun kosteuselämistä voidaan rajoittaa. Pintakäsittelmällä maaleilla ja lakoilla tähän käytännössä päästään ja tällöin puun kosteuselämistä ei estetä, vaan hidastetaan. (Siikanen 1998, 39-40, 45.)

Ennen puun käyttöä on se kuivattava, koska liiallinen kosteus on haitallista rakenteiden toiminnalle. Puun kuivaus ja sen kuivana pysyminen on merkittävää sen lujuudelle ja säilymiselle. Ympäröivän ilman ominaisuuksilla on vaikutusta puun kosteuteen, sillä se pyrkii asettumaan ympärillä olevan ilman kosteutta vastaavaan tasapainokosteuteen. Esimerkiksi suhteellisen kosteuden pysyessä ympärillä olevassa ilmassa vakiona puu kuivuu, jos ilman suhteellinen kosteus on

alhaisempi kuin puun kosteuspitoisuus ja samanaikaisesti lämpötila nousee. (Siikanen 1998, 40.) Puun kosteuseläminen voi aiheuttaa myös puurakennuksen puurungon painumista. Kosteuselämisen huomioon ottaminen rakentamisessa on erittäin tärkeää. (Kaunisto 2020, 18.)

Puurakenteet jaetaan kolmeen käyttöluokkaan. Tämä järjestelmä on tarkoitettu pääasiassa lujuusarvojen jaottelua varten ja syntyvän muodonmuutoksen laske-  
mista varten määritellyissä ympäristöolosuhteissa. Käyttöluokassa 1 puun keski-  
määräinen kosteus on alle 12 % suhteellisen kosteuden ollessa 65 % ja lämpötilan 20 °C. Puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusolosuhteissa, on käyttöluokassa 1. Käyttöluokassa 2 puun kosteus ei pääsääntöisesti ole yli 20 %. Puun kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja suhteellinen kosteus on yli 85 % vain vähän aikaa vuodesta. Puurakenne, joka on ulkoilmassa kuivana, katetussa ja tuuletetussa tilassa ja suojattu kastumiselta alta ja sivuilta, kuuluu käyttöluokkaan 2. Käyttöluokassa 3 kosteusarvot ovat suurempia, kuin käyttöluokassa 2 ilmasto-olosuhteiden takia. Puurakenne on säälle alttiina ulkona, kosteassa tilassa tai välittömästi veden vaikutuksen alaisena. Puun kosteusmäärä vaihtelee vuoden aikana, kun olosuhteet muuttuvat vuodenaikojen takia. Lämmitetyissä sisätiloissa sen kosteus voi vaihdella talven alle 5 %:sta syksyn 12 %:iin. Katetuissa lämmittämättömissä tiloissa kosteus voi taas vaihdella 12-18 % välillä. (Puuinfo, Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje Eurokoodi 5 2020, 15; RIL 240 2006, 42.)

### **2.3 Puun kostuminen**

Puu voi kostua usealla tavalla. Puu kostuu hygrooskooppisesti, kun se imee ympäröivästä ilmasta kosteutta. Lämpötilan ollessa yli 0 °C ja suhteellisen kosteuden 85 % tai enemmän puu kostuu yli kriittisen 20 %:n rajan. Erityisen vaarallista hygrooskooppinen kostuminen on suljetuissa huonosti tuuletetuissa tiloissa, joita voivat olla esimerkiksi sauna, kellari ja ryömintätilat alapohjan alla. (RIL 240 2006, 66-67.) Kapillaarisesti puu voi kostua muutamalla tavalla. Puu imee kapillaarisesti vettä, johon se on kosketuksissa, se voi kastua kapillaarisesti vesihöyryn tiivistyessä ilmasta, puu on kosketuksissa kosteaan materiaaliin ja sade-, roiske- ja rakennuksessa käsiteltävä vesi pääsevät rakenteisiin tai kertyvät niihin. Puu voi

myös olla rakenteeseen sijoitettaessa liian kosteaa, eli sen valmistuskosteus on liian suuri. (RIL 240 2006, 66-67.) Puun kapillaarinen imu on voimakkainta sen syiden suunnassa. Puu voi kostua nopeasti kapillaarisuutensa takia, mutta toisaalta se myös kuivuu nopeammin kuin materiaali, jonka kapillaari imu on vähäinen. (Siikanen 1998, 107.)

Vesihöyryn tiivistymisen aiheuttama kostuminen tapahtuu rakenteen läheisyydessä olevan ilman lämpötilan laskiessa alle kastepisteen. Rakennuksesta ulosvirtaavan ilman jäähtymisen aiheuttama tiivistyminen on riski rakenteille. Sitä voidaan välttää estämällä ilmavuodot ja ulosvirtaavan ilman jäähtyminen. Kun käytetään höyrynsulkua, se sijoitetaan suuremman ilman vesipitoisuusmäärän omaavalle puolelle eli yleensä lämpimälle puolelle. Olennaista höyrynsulun asentamisessa on myös, että sen saumojen on oltava aina tiiviitä. Kylmäsilat, jotka tarkoittavat paikallista heikennystä rakenteen lämmöneristyksessä, esimerkiksi aukko lämmöneristeessä, seinämän läpi kulkeva metalliosa tai seinän ohennus, voivat myös aiheuttaa kosteuden tiivistymistä ja siksi niiden muodostumista tulee välttää. Koska puu voi imeä kosteutta materiaalista, johon se koskee, ei sen yhteydessä ole suotavaa olla tilapäisestikään vettä imeviä ja pidättäviä materiaaleja. Kosteuden imeytyminen toisesta materiaalista puuhun estetään kestäväällä eristyksellä. Vaakasuorista rakenteista sade-, roiske- ja rakennuksessa käsiteltävä vesi tulee johtua pois ja se tulee johtaa pois päin rakenteista. Lisäksi rakenteissa käytetyn puun on oltava riittävän kuivaa ja sen on pystyttävä kuivumaan. (RIL 240 2006, 62, 66-68.)

Puun kostumisessa ja sen estämisessä on huomioitava rakenteiden suunnittelun lisäksi merkittävästi myös rakentamisaika, sillä rakenteet, rakenneosat ja materiaalit voivat kastua varastoinnin ja asennuksen aikana. Varastoitu puu varastoidaan ilmavasti, suojataan sateelta ja säilytetään irti maasta, jotta se ei kostu maakosteudesta. Estää tulee myös muista materiaaleista haihtuvan kosteuden imeytyminen puuhun. (RIL 240 2006, 42, 68.)

## 2.4 Puun kuivaus

Ennen kuin rakennetta voi sulkea tai pinnoittaa tulee puun olla täytynyt kuivua riittävästi ja jos puu on kastunut, tulee sen pystyä kuivumaan. Kuivumisen tulee tapahtua myös riittävän hitaasti, jotta puun halkeilua voidaan rajoittaa. Massiivisilla poikkileikkauksilla kuivumisen riittävä hitaus korostuu. Tasapainokosteuden ero puun kosteuteen saa olla vallitsevissa kuivausolosuhteissa enintään 6 %. Kuivaus tulee suorittaa useammassa vaiheessa, jos puuta kuivatetaan tätä enemmän. (RIL 240 2006, 32, 42.)

Puun kuivuminen on mahdollista, kun ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat kuivumisen mahdollistavia. Puuta kuivattaessa tuuletusilman on oltava kuivaa ja hieman viileämpää kuin rakenne itse, sekä lisäksi tuuletusilman virtausnopeus tulee olla tarpeeksi suuri, jotta rakenne kuivuu riittävän lyhyessä ajassa. (RIL 240 2006, 68.)

Puun kuivumista voidaan tehostaa alentamalla ympärillä olevan ilman suhteellista kosteutta. Lisäksi aikaansaamalla ilmavirtauksia kuivattavan puurakenteen ympärille ja lämmittämällä rakennetta huomioiden tuuletus, voidaan tehostaa kuivattamista. (Ratu S-1236 Olosuhteiden hallinta rakentamisessa 2021, 20.)

Rakenteiden kuivuminen varmistetaan huonetilojen ilmanvaihdolla, rakenteiden tuulettavuudella ja rakennekerrosten oikealla vesihöyrynvastuksella. Ilmanvaihdolla alennetaan tilojen kosteuspitoisuutta. Kun rakenteet pääsevät kuivumaan ei ilman tilapäinen suhteellisen kosteuden nousu aiheuta ongelmia. Kastuvien rakenteiden kohdalla niiden tuulettavuus on erittäin tärkeää. Jotta kosteus pääsee haihtumaan puurakenteesta, sitä ei saa kaikilta puoliltaan eristää. Puurakenteet ja niiden yhteydessä olevat rakennekerrokset suunnitellaan rakennusfysiikan periaatteiden mukaan ja huomioidaan esimerkiksi ilmavirtaus-, lämpötila-, diffuusio-, kapillaarisuus- ja hygroskooppisuusnäkökohdat. Esimerkiksi ulkoseinä on suunniteltava siten, että ilman- ja vesihöyrynläpäisevyys kasvavat sisältä ulospäin mentäessä ja jos ulkoverhous on tiivis, on sen takana oltava riittävä tuuletusrako tai kuivuminen rakenteessa varmistettava muuten. (RIL 240 2006, 68-69.)

## 2.5 Puun suojaus

Puun rakenteellisella suojauksella estetään kostuminen, varmistetaan kuivuminen ja rajoitetaan muita lahoamista edistäviä tekijöitä. Vakavimpiin vaurioihin ja käyttöongelmiin on johtanut kuivumisen varmistamisen laiminlyönti ja se on myös edellä mainituista yleisintä. Puun kosteuden pysyessä alle 20 %, suhteellisen kosteuden pysyessä ympäröivässä tilassa jatkuvasti alle 80 %, puu on veden kyllästämä ja hapen saanti estetty tai puun lämpötilan ollessa alle -5 °C tai yli 60 °C ei tarvita selvitystä puun rakenteellisesta suojauksesta. Jos puuta ei voida rakenteellisesti suojata, käytetään kemiallisesti suojattua puutavaraa tai modifioitua puuta. Joka tapauksessa käytettäessä kemiallisesti suojattua puuta tai ei, tulee rakenteelliseen suojaukseen pyrkiä. (RIL 240 2006, 65-66.)

Lähtökohta rakenteelliselle suojaukselle on veden tunkeutumisen estäminen puuhun ja puun pysyminen kuivana. Olennaista puun suojaamisessa on myös se, että rakennusvaiheessa puu olisi jo lopullisessa käytönaikaisessa rakennuskosteudessaan. Puu säilyy ja kestää kun sen kosteuspitoisuus pysyy alle 20 % ja tilapäisesti kastuessaan pääsee kuivumaan. Suurimpia ongelmia aiheutuu ulkoilmaan rajoittuvissa rakenteissa ja rakenteissa, joissa puu on liian pitkään liian kostea esimerkiksi rakennevirheen tai putkistovaurion takia. Rakenteellinen suojaus riittää puurakenteissa, kun suunnittelutyö on tehty oikein. Kemialliseen suojaukseen turvaudutaan lähinnä maahan rajoittuvissa ulkopuolisissa rakenteissa ja pysyvästi sateelle alttiissa rakenteissa. (Siikanen 1998, 69.)

Kemiallisia suojausmenetelmiä ovat esimerkiksi ruiskutus tai sively puunsuoja-aineella, upotus puunsuoja-aineeseen ja paine- ja tyhjiökyllästys. (Puuinfo, Ominaisuuksien muuttaminen 2020.) Rakenteellisella suojauksella estetään kosteuden pääsy rakenteisiin rakenteellisesti. Ulkotiloissa puurakenteet suojataan sateelta ja rakenteet toteutetaan niin, että vesi ei jää seisomaan niiden päälle. Rakenteellisen suojauksen ratkaisuja ovat esimerkiksi riittävän leveät räystäät, tuuletettava julkisivuverhouksen tausta, vedenpoisto jossa vesi ei valu seiniä pitkin, alimmat puurakenteet ovat 300 millimetrin päässä maan pinnasta roiskevesien takia, sateelle alttiiden rakenteiden sellainen muotoilu missä vesi ei pääse niiden takana oleviin tai liittyviin rakenteisiin, tippanokat ja räystäskourut veden ohjaa-



miseen, vettä keräämättömät nurkat, urat ja liitokset, kosteiden rakenneosien nopean kuivumisen mahdollistaminen ja verhouslautojen päiden käsittely. (Siikanen 1998, 69.)

Rakennusaikainen puun suojaus on myös erittäin tärkeää. Säilytettäessä puumateriaalit eivät saa kuivua, eivätkä kastua liikaa. Puuelementtien nurkat, ulokkeet, ulkonevat osat ja valmiit pinnat tulee suojata ja käyttöluokkien 1 ja 2 puurakenteet suojataan sateelta, maakosteudelta ja lumelta. Lisäksi kosteusolosuhteiden vuotuinen vaihtelu lämmitetyissä sisätiloissa on otettava huomioon kosteudenhallintasuunnitelmassa. Esimerkiksi talvella puun kosteuspitoisuus voi olla alle 5 %, kun se syksyllä voi olla 12 %. Puun kosteuspitoisuus voi taas vaihdella 12-18 % välillä eri vuoden aikoina katetussa lämmittämättömässä tilassa. (SFS 5978 Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksen kantavia rakenneosia koskevat säännöt 2014, 15, 19.)

Myös pintakäsittely ja rakenteiden huolto on rakenteellista suojausta. (Siikanen 1998, 69.) Tehokkain suoja hometta vastaan on usein pintakäsittely. Poikkileikkauspintojen, jatkosten ja liitoskohtien pintakäsittely ja suojaus on tärkeää, koska puu imee vettä helpoiten poikkileikkauspinoista. Pintakäsittelyllä ei voida korjata kosteudelle alttiita yksityiskohtia. Tiivis pinnoite hidastaa kostumista, mutta samalla jos puuhun jää kosteutta maalattaessa tai pääsee vettä, pinnoite hidastaa kuivumista. Puun kastumisen ollessa satunnaista ja rakenteen tuulettavuus on hyvä, voi suojaukseksi olla riittävää järjestää veden nopea poistuminen. (RIL 240 2006, 66, 68, 75.)

## **2.6 Puun vaurioituminen**

Tärkeimpiä puuta vaurioittavia tekijöitä ovat auringon lämpö, UV-säteily, bakteerit, home-, sinistäjä-, lahottajasienet ja tuhohyönteiset. Puun vaurioitumista mm. aiheuttavat homehtuminen, sinistymisen ja lahoaminen ovat sienten aiheuttamia biologisia vaurioita. Sienet levittäytyvät lähes kaikkialla olevien itiöiden avulla, joita on eniten syksyllä. Sienet levittäytyvät ensin pintaan ja sen jälkeen paljaalle silmälle näkymättöminä rihmastoina puun sisään. Usein home näkyy vasta, kun

siihen syntyy uusia värillisiä itiöitä. Sinistymä näkyy pinnan lisäksi myös puun sisässä, kun sen rihmastoon kehittyy väriaineita. Sienten itiöemät nousevat pinnalle vasta varsin pitkälle kehittyneessä lahoamistilassa. Ilmaan leviävät partikkelit, muut mikrobit ja niistä eriytyvät hajut ilmaisevat yleensä sienten haitallisuudesta. Homeen haju voi tarttua myös tekstiileihin ja muissakin materiaaleissa, kuin puussa voi olla värihäiriöitä. (RIL 240 2006, 64; Siikanen 1998, 60-61.)

Home- ja lahovaurioihin johtavat pitkäaikaiset materiaalin kosteudensietokyvyn ylittävät kosteusrasitukset. Yleensä lyhytaikaiset ja tilapäiset kosteusrasitukset, jotka kuivuvat muutamassa vuorokaudessa, eivät aiheuta haittaa. Vaikka tilan yleisilman suhteellisella kosteudella on merkitystä, on mikrobikasvun kannalta rakennus- ja pintamateriaalin paikallisen kosteuden merkitys suurempi. Mikrobikasvusto voi kehittyä muutamassa päivässä suotuisissa oloissa ja vaihtelevissa oloissa sen kasvu hidastuu. Kosteusvaurion aikana mikrobilajisto voi muuttua. Alkuvaiheessa kasvavat sen hetkisiin olosuhteisiin sopeutuneet lajit, jonka jälkeen alkuvaiheen mikrobien tuottama lämpö ja kosteus muuttavat ravinnetilannetta ja myös mikrobisto muuttuu. Mikrobistot ovat lisäksi erilaisia kuivuvassa ja kostuvassa materiaalissa. (Sisäilmayhdistys, Mikrobikasvun edellytykset 2008.)

Laho on lahottajasienten aiheuttamaa pehmentynyttä, heikentynyttä ja tummuntutta puuta. Kovassa lahossa lahoaminen ei ole vielä edennyt pitkälle ja pehmeässä lahossa lahoaminen on edennyt niin pitkälle, että puu on pehmentynyt ja menettänyt lujuuttaan. Olosuhteiden muuttuessa lahottajasienille sopiviksi, ne voivat alkaa kasvamaan vuosiakin kestäneen lepotauon jälkeen. Lahoaminen vaatii yleensä puussa yli 25 % kosteuspitoisuuden. Puun pitkään kestänyt kosteuspitoisuus 20-60 % ja lämpötila 5-30 °C, aikaansaavat lahottajasienille edullisimmat olosuhteet. (Siikanen 1998, 60-62.)

Edellä mainittuja kosteuspitoisuuksia kuivemmassakin puussa rihmastot säilyvät, mutta eivät kasva ja aiheuta tuhoa. Sienten kasvu voi tapahtua 0-50 °C lämpötilassa ja nopeinta lahoaminen on 15-40 °C lämpötilassa lajista riippuen. Kun lämpötila nostetaan kosteassa puussa 50-60 °C ja kuivassa 100 °C, useimpien sienten rihmasto kuolee. (RIL 240 2006, 64.)

Home voi kasvaa 0-55 °C lämpötilassa ja edullisin lämpötila sille on 30-35 °C. Puun kosteuspitoisuus voi olla 20-150 %, mutta tärkein tekijä homeen kasvulle on ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Suhteellisen kosteuden ollessa pitkään 75-95 %, kasvu on mahdollista riippuen lämpötilan ja olosuhteiden kestoajasta. Vakavimmat vauriot tapahtuvat suhteellisen kosteuden ollessa yli 90-95 %. Homesienet voivat aiheuttaa allergiatyypisiä oireita, kuumereaktioita ja hengitystiesairauksia. (Siikanen 1998, 61.)

Sinistäjä sienet vahingoittavat puun pintasoluja vähäisessä määrin. Suurin niiden aiheuttama haitta on puun värjäytyminen mustaksi, siniseksi tai ruskeaksi. Jotkut sinistäjä sienet saattavat aiheuttaa katkolahoa. Tällöin olosuhteiden on oltava otolliset katkolahottajasienille. Katkolaho on ilmiö, joka pehmittää ja harmaannuttaa puutavaraa ja se näkyy ensin pinnalla ja myöhemmin syvemmillä. Harmaantunut ulkoilmaan rajoittuva suojaamaton puupinta on sinistäjä sienien aiheuttama, mutta siitä ei ole rakenteellista tai terveydellistä haittaa. Sinistäjä sienet tarvitsevat vapaata vettä, puun kosteuspitoisuuden 30-120 % ja lämpötilan -3-+40 °C edullisimman lämpötilan niille ollessa 22-28 °C. (Siikanen 1998, 61; Wikipedia, Lahottajasieni 2020.)

Otollisten kosteus- ja lämpöolosuhteiden lisäksi sienet tarvitsevat happea ja lisäravinteita. Lisäravinteita esimerkiksi sokeri- ja typpiyhdisteitä ja hivenaineita on puussa riittävästi. Useimpien lisäravinteiden lisääminen voi kiihdyttää sienten kasvua, mikä on mahdollista esimerkiksi kuivausolosuhteissa, joissa kuivauksen aikana kosteuden mukana kulkeutuu puun pintaan ravinteita. (RIL 240 2006, 64-65.)

Ravinteiden vähyys ei rajoita mikrobien kasvua, koska suomalaisissa rakennuksissa on paljon selluloosapitoisia materiaaleja ja mikrobien ravinteeksi voi riittää myös huonepöly. Homesienet ja antinobakteerit kasvavat laajalla pH-alueella 1,4-10 ja optimialue niille on 4-7. Suotuisissa olosuhteissa ne pystyvät kasvamaan betonipinnoillakin, koska pinnoilla voi olla mm. pölyä ja puuta, vaikka uuden betonin pH-arvo on 13-14. Karbonatisoituneella vyöhykkeellä betonin pH-arvo laskee noin arvoon 8,5. Homesienet pystyvät kasvamaan myös vähähappisissa olosuhteissa ja bakteerit pystyvät kasvamaan täysin ilman happea. Mikrobien kasvu on mahdollista sekä valossa, että pimeässä. Ilmavirtaukset voivat kuljettaa

itiöitä sisäilmaan. Kuivat ja kuivuneet itiöt voivat helpommin irrota ja siirtyä ilma-  
virtojen mukana sisäilmaan kuin märät itiöt. (Sisäilmayhdistys, Mikrobikasvun  
edellytykset 2008; Kastarinen 2019, 5.)

## **2.7 Puun vaurioitumista aiheuttavien tekijöiden rajoittaminen**

Hometta ja lahoa voidaan torjua poistamalla joku niiden elinehdoista eli otolli-  
sesta kosteudesta, otollisesta lämpötilasta, hapesta ja ravinteista. Helpoiten on  
mahdollista toteuttaa kosteuden pitäminen alhaisena. Ulkona loppukesällä ja syk-  
syllä puu tosin on riittävän kostea vaurioitumiselle. Kosteusvaara voidaan kat-  
soa poistetuksi, kun puu pystyy aina kuivumaan, sillä jotkut lahottajasienet pys-  
tyvät rihmastolla siirtämänsä kosteuden ja lahoamisprosessissa tuotetun ve-  
den avulla nostamaan varsin kuivankin puun kosteuden laholle suotuisalle alu-  
eelle. (RIL 240 2006, 65.)

Puun kosteuden noustessa yli 20 % vain silloin, kun rakenteen lämpötila on 0 °C  
tai alle ja se kuivuu nopeasti, kun sen lämpötila nousee, katsotaan puun olevan  
rakenteellisesti suojattu. Myös silloin kun puun lämpötila usein nousee tarpeeksi  
korkealle, jotta sienirihmasto kuolee, katsotaan sen olevan rakenteellisesti suo-  
jattu. Mullan ja muiden epäpuhtauksien kosketusta puuhun on vältettävä, sillä ne  
sisältävät ravinteita ja kosteutta. Myös rakoja ja halkeilua tulee estää, sillä niihin  
kerääntyy vettä ja epäpuhtauksia, sekä pintahalkeilu aiheuttaa nopeat kosteu-  
den- ja lämmönvaihtelut. Kosteudenvaihteluita ja halkeamista voidaan vähentää  
tiivillä pinnoitteella, mutta pinnoite ei saa kuitenkaan haitata kuivumismahdolli-  
suuksia, eikä toimia kasvualustana. Kun pinnoite on tehty oikein, se suojaa ho-  
meutumista vastaan. (RIL 240 2006, 70.)

## 3 CLT

### 3.1 Yleistä CLT-levystä

CLT, joka tulee sanoista Cross Laminated Timber, on ristiinliimattu massiivipuu tai monikerroslevy. Se koostuu ristikkäin päälle liimatuista lautalevykerroksista. Kaksi ulointa kerrosta voivat olla myös samansuuntaisesti. Lautakerroksia on yleensä kolme tai viisi ja levyjä on mahdollista tehdä useampi kerroksisenakin. Raaka-aineena on pääsääntöisesti C24 lujuusluokan sahatavara (Crosslam, Syrjäliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin 2020; Hoisko, Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen 2021) ja puulajina on yleensä kuusi ja joskus mänty tai lehtikuusi. Näkyvissä pinnoissa on mahdollista käyttää myös muiden puulajien sahatavaraa. Lautalevykerrosten välinen lapeliimaus toimii CLT-levyn lujuusteknisenä liimauksena. CLT-levyn mitat ovat tavallisesti: paksuus 60–400 millimetriä, leveys 2450–3500 millimetriä ja pituus 12 000–24 000 millimetriä kukin riippuen valmistajasta. Lamellipaksuus on tavallisesti 20, 30 tai 40 millimetriä. (Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020; Wikipedia 2021; ePuu n.d.; Crosslam, Syrjäliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin 2020; RIL 255-1 2014, 281.)

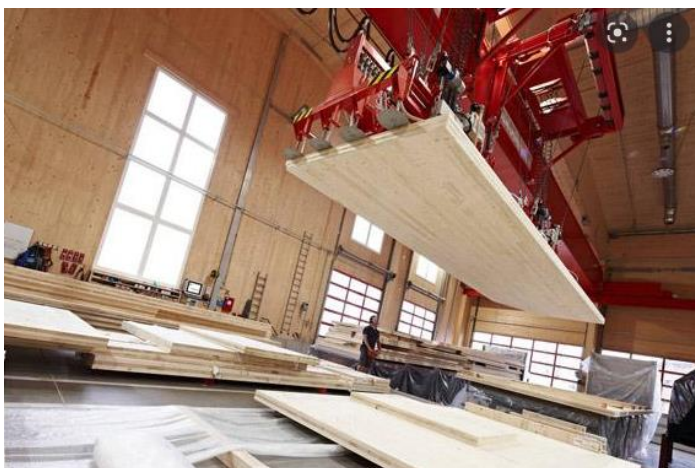
CLT on kehitetty Sveitsissä 1990-luvun alkupuolella. (Kekäläinen 2015, 9.) CLT-levyn käyttö on suosittua Keski-Euroopassa. Siellä käyttäjät ovat tottuneet massiivisiin rakenteisiin. CLT:stä rakentamisen suosio on kasvussa Suomessa. (Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020.)



KUVA 2. CLT-levy. (Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020.)

### 3.2 CLT-levyn valmistus

CLT-levyt voidaan valmistaa usealla tavalla ja valmistustavat riippuvat valmistajasta. Lautojen vakuumiliimaus tyhjiön avulla on yleinen tapa Keski-Euroopassa. Prässien avulla tehtävä liimaus voidaan tehdä kahdella tapaa. Syrjäliimatun levyn lautakerrokset on ensin liimattu ehyiksi syrjistään ja tämän jälkeen kerrokset liimataan päällekkäin ristiin latoen. Syrjäliimaamattomassa levyssä liima levitetään ainoastaan lautojen lappeelle ja ne ladotaan ristiin. Näillä kahdella eri liimaustavalla on vaikutusta CLT-levyn ominaisuuksiin. Syrjäliimattu levy on ilmatiivis, mutta levyn kuivuminen saattaa aiheuttaa halkeilua laudoissa. Syrjäliimaamaton levy päinvastoin ei ole ilmatiivis, mutta siinä puun kosteuseläminen tapahtuu levyn saumoissa. Suomessa CLT-levyjä valmistavat CLT Finland Oy, Oy Cross-Lam Kuhmo Ltd ja CLT Plant Oy. (Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020; Wikipedia 2021.)



KUVA 3. CLT-levyn valmistusta. (Puuinfo, CLT by Stora Enso (Cross-laminated timber) 2020.)

CLT-levyt jyrsitään CNC-koneella (computerized numerical control) haluttuun koon ja muotoon liimauksen jälkeen. Levyihin tehdään tehtaalla sisätiloissa myös valmiiksi ikkuna- ja oviaukot ja muut aukotukset, lävistyksset ja työstöt, joita tarvitaan mm. talotekniikan, kiinnitysten, nostojen ja elementtiliitosten takia. (Ahola, Kuhlman, Luotio 1998, 237; Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020; Siikanen 2016, 105.)

CLT-levyt pintakäsitellään ja viimeistellään käyttökohteesta ja tilauksesta riippuen. Pintojen laatuluokitus on valmistajakohtainen ja yleensä laatuluokat ovat hiottu näkyvälaatu, teollinen näkyvälaatu ja ei-näkyvälaatu. Esimerkiksi Crosslam-levyjen laatuluokat ovat ei näkyvä pinta, karkeahiottu pinta ja hienohiottu pinta (Crosslam, Crosslam-levyn laatumäärittely n.d.); Hoiskon levyjen molemmilla puolilla näkyvä pinta, toinen puoli näkyvä pinta, näkyvä teollisuuspinna ja ei näkyvä teollisuuspinna (Hoisko, Hoisko CLT-levyn perustiedot 2018) ja Stora Ensolla näkyvä laatu, teollinen näkyvä laatu ja ei-näkyvä laatu (Stora Enso, CLT by Stora Enso Technical brochure n.d, 9).

Sisätiloissa olevat levyt on mahdollista pinnoittaa tai jättää näkyville, jos palomääräykset sen sallivat. (Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020; ePuu n.d.) Pintakäsittelyaine ei saa olla pintaa sulkeva aine, eli pintakäsittelyaineen tulee mahdollistaa kosteuden poistuminen CLT-levystä. (Hoisko, Tuoteseloste Hoisko CLT n.d.) Tehtaalla on mahdollista asentaa ulkoverhoukset, eristeet, ovet ja ikkunat jo valmiiksi elementteihin. (Siikanen 2016, 105.)

Eurooppalaisen teknisen arvioinnin EAD 130005-00-0304, 2015-03 perusteella CLT-levyt voidaan CE-merkitä. Tämä menettely on vapaaehtoinen valmistajalle. Vaatimustenmukaisuus CE-merkityillä tuotteilla on mahdollista todeta suoritusosoituksesta (DoP), joka kuuluu CE-merkintään. Ominaisuuksien on täytettävä rakentamismääräysten edellyttämät toiminnalliset vaatimukset, jotka tuotteelle on asetettu suunnitelmissa. CLT-levyjen kelpoisuus on mahdollista osoittaa myös kansallisesti valmistuksen laadunvalvonnalla. Tämä on mahdollista, koska niille ei ole tyyppihyväksynnän edellyttämää asetusta tai varmennustodistuksen arviointiperusteita. Rakennusvalvontaviranomainen voi myös edellyttää rakennuspaikkakohtaista varmentamista rakennustuotteelle. (epuu n.d.)

### **3.3 CLT-levyn ominaisuudet**

#### **3.3.1 Yleistä CLT-levyn ominaisuuksista**

CLT-levyt voivat toimia kantavina ja jäykistävinä rakenteina ja erillistä jäykistävää rakennetta ei välttämättä tarvita. Ne ovat rakenteellisesti lujia, niillä on helppo liitostekniikka ja niillä on helppo jäykistää rakennuksen runko. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela & Viljakainen 2013, 44.) CLT-levyt ovat jäykkiä, kestäviä ja kevyitä. Niiden paino on noin viidesosa betonin painosta. CLT-levyjen lujuuteen ja mitoitukseen vaikuttavat mm. lapeliimaus, käytettävän raaka-aineen laatu ja tuotehyväksynnän määrittämät vaatimukset, jotka annetaan ulkopuolisen tahon toimesta. Lujuusominaisuudet määritetään eri valmistajien CLT-levyille erikseen tuotehyväksynnän kautta. Rakenteet mitoitetaan näiden lujuusominaisuuksien mukaan. (Crosslam, CLT-levyn ominaisuudet n.d; Crosslam, Syrjäliimaamaton CLT - paras Suomen olosuhteisiin 2020.)

Rakentamisessa CLT:n etuna on, että levyt ovat nopeita asentaa. (Crosslam, CLT-levyn tekniset tiedot n.d.) Ne ovat myös raaka-aine tehokkaita, koska ne tehdään tehtaalla valmiiksi mittatarkasti ja näin jätettä syntyy vähemmän. Korkean esivalmistusasteen takia myös rakennustyönaikainen melu vähenee, koska iso osa työvaiheista on tehty jo tehtaalla ja rakentamisaika lyhenee. Lisäksi CLT:n



hyviä puolia ovat, että sen raaka-aine puu on uusiutuvaa ja se varastoi hiiltä. Kierrättämällä ja uudestaan käyttämällä hiilen varastointiaika pitenee entisestään. (Stora Enso, Massiivipuukurakentaminen n.d.)

### 3.3.2 CLT-levyn lämpöominaisuudet

Koska puu itsessään on eristävä materiaali (puutavaran lämmönjohtavuus  $\lambda$  yleisesti 0,09-0,13 W/mK, CLT:n lämmönjohtavuus  $\lambda$  0,11 W/mK (RIL 255-1 2014, 432)), CLT-levyt parantavat rakenteiden kokonaislämmöneristystä ja lämmöneristeiden toimintaa. Lämmöneristeen toimintaa CLT-levy parantaa siten, että se pienentää eristeen eri puolilla olevaa lämpötilaeroa. Merkittävä ero CLT-rakentamisessa rankarakentamiseen on se, että puu ja eristeet ovat omina toiminnallisina kerroksinaan, kun taas rankarakenteissa puu ja eristeet ovat samassa kerroksessa. (Crosslam, CLT-levyn tekniset tiedot n.d.) CLT:n hyviin lämpöominaisuuksiin kuuluu myös se, että se talvella varastoi lämpöä ja ehkäisee rakennuksen ylikuumentumista kesällä suuren termisen massansa takia. Termisen massansa ansiosta se myös tasaa sisäilman lämpötiloja. CLT:n ominaislämpökapasiteetti  $c_p$  on 1600 J/kgK. (RIL 255-1 2014, 141, 432.) (Stora Enso, Stora Enso CLT. Puu – maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali 2016, 10.)

### 3.3.3 CLT-levyn lujuusominaisuudet

Taulukossa 1 on Crosslamin ja Hoiskon CLT-levyjen lujuusarvoja, jotka on ilmoitettu niiden tuotesertifikaateissa. Monella eri rasiustyyppillä CLT-levyn mitoitusarvona voidaan käyttää C24-sahatavaran lujuusarvoja ja tämä on merkattu taulukossa 1 sulkuihin.

TAULUKKO 1. CLT-levyn lujuusominaisuudet. (Crosslam, Tuotesertifikaatti 2019, 4-5; Hoisko, Tuotesertifikaatti 2018, 10; Puuinfo, Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje Eurokoodi 5 2020, 17.)

	Crosslam	Hoisko
Levyn tasoon nähden kohtisuoraan	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
taivutus lappeellaan $f_{m,k}$	24, (28,8 jos rinnakkaisia pituussuuntaisia lamelleja $\geq 8$ ; C24)	24, (28 jos vierekkäisiä pituussuuntaisia lautoja 8 tai enemmän)
veto $f_{t,90,k}$	0,4 (C24)	0,4
puristus $f_{c,90,k}$	2,5 (C24)	2,5
leikkaus $f_{R,k}$	poikittaislamellin tasoleikkauslujuus 1,3, poikittaislamellin paksuuden ollessa max. 40 mm. *	1,2
Levyn tason suuntaisesti		
taivutus syrjällä $f_{m,k}$	24 (C24) (huomioidaan vain pituussuuntaiset lamellikerrokset) **	24
veto $f_{t,0,k}$	14,5 (C24) (huomioidaan vain kuorman suuntaiset lamellikerrokset)	14,5
puristus $f_{c,0,k}$	21 (C24) (huomioidaan vain kuorman suuntaiset lamellikerrokset)	21
leikkaus syrjällä $f_{v,k}$	vaihtelee levyn rakenteen mukaan	vaihtelee levyn rakenteen mukaan
kimmomoduuli $E_{0,mean}$	11500 (pituussuuntaisten lamellikerrosten keskimääräinen)	12500
kimmokerroin kohtisuoraan pituussuuntaisten lautojen syitä vastaan $E_{90,mean}$		370
syyn suuntainen liukumuoduuli $G_{mean}$	690 (C24)	690 (EN 338), 500 (EN 408)
tasoleikkauksen liukumuoduuli $G_{R, mean}$	65	50

\*Paksumpi kuin 40 mm lamellien tasoleikkauslujuus on  $2,1 - 0,02t$  ( $t$  = poikittaislamellin paksuus millimetreinä). Jos poikittaislamelli on paksumpi, kuin levyn reunimmainen pituussuuntainen lamelli, pienennetään tasoleikkauslujuutta poikittaislamellissa kertoimella  $h_1/t$  ( $h_1$  = reunimmaisen pituussuuntaisen lamellikerroksen paksuus). (Crosslam, Tuotesertifikaatti 2019, 5.)

\*\*Voidaan korottaa Eurokoodi 5 kuvan 6.12 mukaisella pituussuuntaisten lamellikerrosten lukumäärästä riippuvalla kuormanjakokertoimella  $k_{sys}$ . (Crosslam, Tuotesertifikaatti 2019, 5.)

### 3.3.4 CLT-levyn ääneneristysominaisuudet

Puun ääneneristysominaisuudet eivät ole hyvät. (RIL 255-1 2014, 141.) Erityisesti matala taajuuksinen ääni on haastavaa eristää CLT-rakenteissa. (CLT Handbook 2019, 151.) Vaadittavan ääneneristyksen saavuttamiseksi tarvitaan usein kerroksellinen rakenne. Esimerkiksi välipohjassa se voidaan toteuttaa rakenteella, jossa on ylhäältä alas lueteltuna lattiapinnoite, pintavalu, askelääeneriste, kantava rakenne ja kaksinkertainen kipsilevykatto akustisilla kannakkeilla kiinnitettynä. (Heilä 2022.) Myös kaksinkertaiseen massiivipuulevyseinään usein tarvitaan kipsilevytys tarvittavan ilmanääneneristävyuden takia. (Lahtela, Kylliäinen, Lietzen, Kovalainen, Talus 2021, 24.)

### 3.3.5 CLT-levyn palo-ominaisuudet

Palotilanteessa CLT-levyssä voi tapahtua delaminoitumista, koska CLT:n liimauksessa käytetään polyuretaanipohjaisia liimoja. Delaminoitumista eli lamellien irtoamista tapahtuu, kun hiiltymä on edennyt liimasaumaan asti. Delaminoitumisen johdosta hiiltymisen tapahtuu useammalla hiiltymisnopeudella. Kun suojaava hiilikerros putoaa, sen alta paljastunut lämmennyt puupinta on altis nopeammalle hiiltymälle. Vaakarakenteissa delaminoituminen on voimakkaampaa, kuin pystyrakenteissa, koska sen voimakkuuteen vaikuttaa taivutusjännitys. CLT-levyn kerroksien määrällä on suuri merkitys paloturvallisuuden kannalta, sillä esimerkiksi 3-kerroksisen levyn pintalamellin palettua pois menetetään koko levyn kantavuus. 5-kerroksisessa levyssä sen sijaan jäisi usein 3 kerrosta jäljelle. (Paloturvallinen puutalo 2021, 83, 94.) Crosslamin ja Hoiskon CLT-levyjen palokäyttäytyminen on D-s2, d0. (Crosslam, Tuotesertifikaatti 2019, 3; Hoisko, Tuotesertifikaatti 2018, 6.) Hiiltymisvara huomioidaan CLT-rakenteen mitoituksessa, jotta palossa rakenne ei romahda ja CLT:n sisäkerrokset pysyvät hiiltyvän ulkopinnan takana suojassa. Nelikerroksiset ja korkeammat, sekä monet julkiset puurakennukset tulee varustaa sprinklerijärjestelmällä nykyisten palomääräysten mukaan ja tämä parantaa paloturvallisuutta merkittävästi. Lisäksi esimerkiksi Crosslamin CLT-levyn pinnasta voidaan tehdä syttymätön nykyisillä palonsuojamaaleilla. (Crosslam, CLT-levyn tekniset tiedot n.d.) Hiiltymisnopeuden mitoitusarvo  $\beta_0$

Crosslamin CLT-levyssä on 0,65 mm/min. Lamellikerros, joka on altis palolle, toimii suojaverhouksena sisempänä olevalle kerrokselle. Kun suojaverhoukserros peittää, nostetaan hiiltymisnopeutta seuraavassa kerroksessa kertoimella  $k_3 = 2,0$  aina 25 mm hiiltymissyvyyteen asti. (Crosslam, Tuotesertifikaatti 2019, 8.)

### 3.4 CLT-levyn kosteusominaisuudet

#### 3.4.1 Yleistä CLT-levyn kosteusominaisuuksista

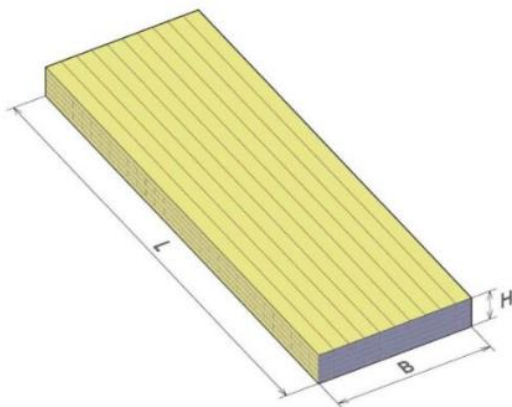
CLT:n ominaisuudet kosteuden ja muiden osa-alueiden osalta ovat hyvin samankaltaiset kuin puulla, koska CLT:ssä liima ainesta on alle 1 %. (Kaunisto 2020,20.) CLT:n vesihöyrynläpäisevyys riippuu kosteusolosuhteista. Suhteellisen kosteuden ollessa alle 70 % sen vesihöyrynläpäisevyys  $\delta_v$  on noin  $0,1-0,5 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ja yli 70 % suhteellisessa kosteudessa se on noin  $0,5-1,3 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Diffuusiovastuskerroin  $\mu$  on alle 70 % suhteellisessa kosteudessa 50-200 ja yli 70 % suhteellisessa kosteudessa  $\mu$  on 20-50. (RIL 255-1 2014, 281, 432-433.) Ilmakerroksen paksuus, jolla on vastaava vesihöyryn diffuusio kuin Crosslamin CLT-levyllä, on 39 m. (Crosslam, Tuotesertifikaatti 2019, 3.) Crosslamin CLT-levyn kosteuspitoisuus on 6-15 % ja Hoiskon CLT-levyn kosteuspitoisuus on toimitettaessa 12 % +/- 2 %. (Crosslam, Tuotesertifikaatti 2019, 3; Hoisko, Hoisko CLT-levyn perustiedot 2018.)

CLT-levy toimii höyrynsulkuna. Puukerrokset ja liimakalvot muodostavat yhdessä tiiviin höyrynsulkurakenteen. Kosteuden siirtyminen hitaasti kerrosten läpi molempiin suuntiin on kuitenkin mahdollista, koska puukerrokset ja liimakalvot eivät ole täysin tiiviitä. CLT-rakenne on hygroskooppinen. Se sallii ilman sisältämien kaasujen osapaineiden tasoittumisen diffuusiona rakenteen läpi. Se ei tarkoita sitä, että rakenteen läpi virtaa ilmaa. (Crosslam, CLT-levyn tekniset tiedot n.d.) CLT-levyistä tehdyssä seinässä ilmativiys toteutetaan tiivistämällä elementtien saumakohdat esimerkiksi paisuvalla saumanauhalla ja joustavalla tiivistysmassalla tai polyuretaanivaahdolla. (RIL 255-1 2014, 141.)

CLT:n valmistuksessa on olennaista käyttää levyn pinnassa sopivaan kosteuteen kuivattua puuta, sillä puu kutistuu ensimmäisten lämmityskausien jälkeen voimakkaasti, jos se on liimattu liian kosteana. Kun CLT:n pinta kuivuu, niin sen ristiinliimattu rakenne saa lamelleihin aikaan jännitystä. Pintalamellit alkavat kutistua kosteuden haihtuessa niistä ja sisempi pintalamelliin nähden erisuuntainen lamellikerros vastustaa kutistumista. CLT:lle haasteita Suomen olosuhteissa tuottavat pitkä lämmityskausi, tehokkaat lämmitysmuodot ja tehokkaasti kosteutta poistava nykyaikainen ilmanvaihto. Kuivalla sisäilmalla esimerkiksi kovien pakasten aikaan puu kutistuu ja kosteammalla sisäilmalla esimerkiksi kesällä ja syksyllä se turpoaa. Kun rakennuksessa on tavallinen ilmanvaihto, niin puun kosteustasapaino on noin 8-9 % talvella ja 10-11 % kesällä. (Crosslam, Mitä on CLT 2022; Crosslam, Syrjäliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin 2020.)

### 3.4.2 Kosteuselämisen vaikutus CLT-levyn ominaisuuksiin

Haastetta ja eroavaisuutta puun kosteuskäyttäytymiseen CLT:llä tuo sen ristiinliimattu rakenne ja liimasaumat. (Kaunisto 2020, 20.) CLT:n tasossa mittamuutokset kosteusvaihteluista ovat pienempiä, kuin sahatavarassa sen ristikkäisten kerrosten takia. Paksuussuunnassa CLT:n kosteuseläminen on kuitenkin kuten sahatavarassa. Kuvassa 4 näkyvissä suunnissa 1 % kosteuden muutos aiheuttaa seuraavat mittamuutokset: B suunnassa 0,02 %, L suunnassa 0,02 % ja H suunnassa 0,24 %. (Puuinfo, Puun kosteuskäyttäytyminen 2020.)



KUVA 4. Kosteuden muutoksen aiheuttamat mittamuutokset CLT-levyssä. (Puuinfo, Puun kosteuskäyttäytyminen 2020.)

Kosteuseläminen voi aiheuttaa levyn taipumista, liitoskohtien aukeamista tai turpoamista. CLT-levyn kuivuminen aiheuttaa siihen halkeilua ja halkeamiin voi kertyä ja vettä ja epäpuhtauksia. Halkeilua kuivumisen takia on todettu syntyvän pääasiassa lamellien liitoksissa, koska uloimman kerroksen lamellit kutistuvat tangentin suunnassa ja seuraavan kerroksen lamellien kutistuminen samassa suunnassa on pienempää kerroksien ollessa 90 astetta erisuuntiin. Edellä mainitusta aiheutunut jännitys johtaa ulkopinnan halkeiluun, koska se kutistuu voimakkaammin. (Kaunisto 2020, 20-21.)

CLT-levyn uloimman pintalamellikerroksen paksuudella on merkitystä, kun kosteuseläminen aiheuttaa muutoksia. Uloimman lamellikerroksen ollessa paksu suhteessa koko levyn paksuuteen, aiheuttaa se levyn taipumista uloimman kerroksen syiden suuntaisesti kosteuden vaikutuksesta. Taipuminen on sitä suurempaa, mitä paksumpia uloimmat kerrokset ovat suhteessa levyn paksuuteen. Toisaalta paksummat uloimmat lamellikerrokset tasaavat paremmin ilman suhteellisen kosteuden vaihtelun aiheuttamaa puristusjännitystä, minkä takia uloimmat kerrokset eivät saa olla ohuitakaan. (Kaunisto 2020, 21.)

Swiss Federal Office for the environment FOEN:n rahoittamassa tutkimuksessa todettiin, että CLT:n taivutus- ja leikkauslujuudet pienenevät sen kosteuspitoisuuden kasvaessa. Tutkimuksessa todettiin myös, että poikittaisten keskikerrosten lamellien halkeamien turvottua kiinni kosteuden kasvaessa, tämän aiheuttama kitka saattaa aiheuttaa jäykkyyden paranemisen pienemmille kuormituksille ja tämä kokonaisuudessaan voi johtaa harhaan, kun CLT-levyn kestävyyttä mitataan. Koska CLT-levyn jokaiseen kerrokseen voi syntyä halkeamia kuivumisen takia, huomattiin tutkimuksessa myös, että se voi aiheuttaa lamellien syitä kohtisuorassa olevan suunnan taivutusjäykkyyden pienenemisen. (Kaunisto 2020, 22.)

### **3.4.3 Kosteuselämisen huomioiminen CLT:n liitoksissa**

CLT:n liitoksiin kannattaa valita säälle vähemmän alttiita materiaaleja. Liitokseen päässeeseen veteen on päästävä pois liitoksesta ja liitoksen suunnittelussa ja valinnassa on huomioitava rakennusaikainen suojaustaso. Liitoksissa on huomioitava

CLT:n kosteuseläminen. Liitosten on sallittava CLT:n kosteuseläminen ja sille on jätettävä tilaa. Liitokset on suunniteltava siten, että esimerkiksi jälkikiristys on mahdollista tai liitos toimii kosteuselämisen aiheuttamista painumista ja muodonmuutoksista huolimatta suunnitellusti. Jotta liitokset pysyisivät tiiviinä ja ehjinä, tiivistetään ne elastisilla materiaaleilla. Läpiviennit rungossa voidaan joko tiivistää polyuretaanivaahdolla tai kittaamalla. Ikkunoiden, ovien tai muiden samankaltaisten rakennusosien liittymät voidaan tehdä polyuretaanivaahdolla, kimmoisalla kittauksella tai teipillä, jolla on riittävä tartuntakyky ja joka on pitkäaikaiskestoinen. Maata vasten olevan kivrakenteen ja CLT-seinän väli kosteudeneristetään aina. Käytettäessä bitumikermiä on huomioitava, että ilmaa voi vuotaa kermin ylä- ja alapuolelta. Ilmatiiveys tällöin tulee varmistaa tiivistenauhalla, polyuretaanivaahdotuksella tai elastisella kittauksella. (Kaunisto 2020, 29-30; Kaukojärvi 2021, 42.)

#### **3.4.4 CLT:ssä käytettävien liimojen ja liimauksen vaikutus sen ominaisuuksiin**

CLT:tä liimattaessa puun ja liiman välisen liitoksen lujuus on parhaimmillaan, kun puun kosteus liimatessa on mahdollisimman lähellä viimeistellyn rakenteen kosteutta. Lamellien kosteus liimattaessa tulee olla 8-15 %. (CLT handbook 2019, 16.)

Suomalaiset CLT-valmistajat Crosslam, CLT Plant ja Hoisko käyttävät liimaukseen 1-komponenttista formaldehyditöntä polyuretaaniliimaa. (Crosslam, CLT-lelyn tekniset tiedot n.d; CLT Plant, Miksi CLT n.d; Hoisko, Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen 2021.) Formaldehydi on voimakas hajuihin terveydelle haitallinen ja vaarallinen kaasu. (Wikipedia, Formaldehydi 2020.) Myös Stora Enso käyttää formaldehyditöntä polyuretaaniliimaa. Stora Enso käyttää polyuretaaniliimaa lamellien sormijatkoksissa ja lamellien välisessä lapeliimauksessa. Syrjäliimauksessa Stora Enso käyttää formaldehyditöntä EPI-liimaa (emulsiopolymeeri-isosyanaattiliimaa). (Stora Enso, CLT by Stora Enso Technical brochure n.d, 4.)

1-komponenttinen polyuretaaniliima on yleinen puutuotteissa käytettävä liima. Sen toiminta perustuu sen sisältämien isosyanaattipäätteisien polyeetteri tai -esteri ketjujen reagoimiseen puun- ja ilmankosteuden vaikutuksesta, ja ne sitoutuvat toisiinsa ja puuhun. Liiman muodostama sauma on joustava ja se kestää hyvin vaihtelevia olosuhteita. 1-komponenttisen polyuretaaniliiman hyviä puolia ovat huoneenlämmössä tapahtuva puristus, vaalea puunvärinen sauma, vähäinen annostelutarve ja sen fenoli ja formaldehydi vapaa koostumus. Fenoli on ärsyttävä ja syövyttävä terveydelle haitallinen ja vaarallinen aine (Wikipedia, Fenoli 2022). 1-komponenttisen polyuretaaniliiman vesihöyrynläpäisevyys  $\sigma_v$  on  $0,01-0,4 * 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}$  tai  $\sigma_p$  on  $0,07-2,9 * 10^{-12} \text{ kg/msPa}$  ja diffuusiovastuskerroin  $\mu$  on 64-2600. (RIL 255-1 2014, 282, 432.)

Emulsiopolymeeri-isosyanaattiliima eli EPI-liima koostuu vesipohjaisesta dispersioliimaosasta ja isosyanaattikovetteesta. Ne sekoitetaan ennen liimausta ja isosyanaatti reagoi dispersion polymeerien kanssa. EPI-liiman hyviä puolia ovat edullinen hinta, puunvärinen liimasauma ja hyvä tartunta metalliin ja muoviin. Sitä käytetään myös liimaamaan ovia, ikkunoita ja pinnoittamaan vaneria ja lastulevyä. (RIL 255-1 2014, 282.)

Eri valmistajien välillä on eroja käyttävätkö ne CLT-levyissään syrjäliimausta. CLT Plant ja Hoisko käyttävät yleensä syrjäliimausta, kun taas Crosslam ei käytä yleensä syrjäliimausta. (Kaunisto 2020, 13-14; Crosslam, CLT-levyn tekniset tiedot n.d.) Stora Enso käyttää syrjäliimausta, mutta yli 5-kerroksisissa levyissä se voi jättää poikittaiset keskikerrokset ilman syrjäliimaa. (Kaunisto 2020, 15.)

Eri valmistajien välillä on myös näkemuseroja kannattaako CLT-levy syrjäliimata vai ei. Hoisko suosittelee syrjäliimausta, sillä he eivät pysty takaamaan syrjäliimaamattomien levyjen ilmatiiveyttä ja kosteuskäyttäytymistä. (Kaunisto 2020, 13; Hoisko, Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen 2021.) Crosslam tekee syrjäliimaamattomia CLT-levyjä ja VTT:n tekemässä testissä todettiin Crosslamin 60 ja 80 millimetrin CLT-levyjen olleen ilmatiiviitä. (Crosslam, Syrjäliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin 2020; Crosslam, Crosslam CLT ilmanpitävyys 2016.) Crosslamin mukaan, kun liitosten tiiveys tehdään huolellisesti ja suunnittelijan ohjeiden mukaan, CLT:n yhteydessä ei tarvita erillistä höyrynsulkua. (Crosslam, Mitä on CLT 2022.)



Liima ei muodosta CLT-levyissä tiivistä kalvoa, mikä takaa CLT-levyn hengittävyden. Kalvoa ei muodostu, koska puupinnat ovat epätasaisia ja lisäksi Hoisko kertoo liimaustekniikkansa olevan sellainen, että liima ei muodosta kalvoa. (Kaunisto 2020, 16; Hoisko, Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen 2021.) Liimauksessa olennaista on myös ilman ja puun kosteuden ja lämpötilan tarkkailu, jotta liimaus onnistuu mahdollisimman hyvin. (Hoisko, Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen 2021.)

Syrjäliimatun ja syrjäliimaamattoman CLT-levyn merkittävänä erona on myös halkeilu. Syrjäliimattu levy voi halkeilla kuivumisen takia, kun taas syrjäliimaamattomassa levyssä kosteuseläminen tapahtuu levyn saumoissa. (Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020.) Halkeamat eivät vaikuta CLT-levyn liimasaumoihin ja levyn tiiveyteen. Vaikka syrjäliimattu levy voi halkeilla herkemmin, voi kummankin liimaustavan levyssä tapahtua halkeilua. CLT-levyn halkeiluun ja CLT-rakenteen onnistumiseen vaikuttaa lisäksi moni muu asia, kuten esimerkiksi raaka-aineen kosteudenhallinta, pintakäsittelyt, talotekniset ratkaisut, kosteudenhallinta rakennusvaiheessa ja lamellirakenteen valinta. (Hoisko, Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen 2021; Crosslam, Syrjäliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin 2020.)

### **3.5 CLT-levyn käyttö**

CLT-levyjä käytetään kantavina ja jäykistävinä rakenteina. Sitä voidaan käyttää ulkoseinien, väliseinien, kattojen ja välipohjien runkorakennusmateriaalina. CLT-levyjä voidaan helposti yhdistää muihin rakennusmateriaaleihin esimerkiksi lasiin ja teräkseen. (Crosslam, Crosslamin valmistaman CLT-levyn käyttökohteet n.d.) CLT-levyt sopivat rakennusmateriaaliksi moniin kohteisiin esimerkiksi pientaloihin, kerrostaloihin, teollisuushalleihin, liiketiloihin ja julkisiin rakennuskohteisiin. Koska CLT-levyt ovat keveitä ja jäykkiä, niistä voidaan tehdä erimuotoisia ja mitattarkkoja elementtejä. Ikkunat ja ovet on mahdollista sijoittaa vapaasti julkisissa CLT-levyjä käytettäessä ja lisäksi kulmaikkunat ovat mahdollisia. (Puuinfo, Monikerroslevy (CLT) 2020; Siikanen 2016, 105.)



KUVA 5. CLT-levyn käyttöä. (Crosslam; CLT tuo kustannustehokkuutta, ekologisuutta ja modernia ulkonäköä rakentamisen eri sektoreille 2021.)

CLT-levyistä voidaan tehdä kaikki maanpäälliset kantavat rakenteet. CLT:tä voidaan käyttää myös esimerkiksi betonikerrostalon lisäkerroksien tekemiseen esimerkiksi seinissä ja yläpohjassa. CLT on kilpailukykyinen materiaali vaativissa kohteissa ja puukerrostaloissa. Värähtelykriteerien tiukkuuden takia välipohjien maksimijänneväli CLT:llä on Suomessa 6 metriä. Välipohjat toteutetaan CLT-levyn kanssa usein joko palkkien kanssa ripalaattarakenteena tai liittorakenteena betonin kanssa. Kattorakenteissa taas pidemmät jännevälit ovat mahdollisia. Nopeaa rakentamista CLT:llä edesauttaa edelleen suuri levykoko. Suuri levykoko myös vähentää levyjen välisten puskuliitosten määrää. Tämä parantaa rakenteen ilmatiiveyttä, koska liitospintoja on pienempi määrä. CLT-levyä käytettäessä seinien ja välipohjien aukotus on joustavampaa ja ulokerakenteita on helpompi toteuttaa. (Tolppanen ym. 2013, 43-45, 109-110.) CLT-levyistä on mahdollista tehdä katoksia, lippoja, parvekkeita, sekä kokonaisia osia CLT-rakenteisesta talosta on mahdollista viedä ulos perustuslinjasta. Ilman erillisiä palkkeja ja pilareita on myös mahdollista tehdä suuria aukotuksia. (Crosslam, Crosslamin valmistaman CLT-levyn käyttökohteet n.d.)

Koska CLT-levy osaltaan toimii lämmöneristeenä, lämmöneristekerros voi olla ohuempi verrattuna muiden runkotyyppien kanssa tarvittavaan lämmöneristekerrokseen. Lämmöneristekerros sijoitetaan CLT:n ulkopuolelle ja kosteus ei pääse tiivistymään CLT:n ja lämmöneristekerroksen väliin. (Tolppanen ym. 2013, 44-

45.) Lisäksi CLT:llä ja muilla massiivipuuseinillä rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvon laskennassa voidaan käyttää suurempaa vertailuarvoa. Esimerkiksi lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennuksen seinässä käytetään arvoa  $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  kun massiivipuuseinän keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm. Muilla seinätyypeillä käytetään arvoa  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017.)

Koska CLT:tä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2 (puun käyttöluokista lisää kappaleessa 2.2) tarvitaan CLT-rakenteiseen ulkoseinään ulkoverhous. (ePuu n.d.) Puukerrostaloissa huoneistojen väliset seinät toteutetaan kaksoisrunkoisina ääneneristysten ja paloteknisyyden takia. Kaksoisrunkoseinä on ns. jousimassa-yhdistelmä. Sen toiminta perustuu erillään olevien levymäisten massojen ja niiden välissä olevan ilmatilan yhteistoimintaan. Tämänlainen huoneistojen välinen seinä voidaan tehdä CLT-rakenteisena. CLT-rakenteisessa kaksoisrunkoisessa seinässä levyjen väliin jätetään ainakin 50 millimetrin rako ja se täytetään ääntä absorboivalla aineella, esimerkiksi mineraalivillalla. (Tolppanen ym. 2013, 161, 163.)

CLT:tä voidaan käyttää myös tilaelementtien valmistamiseen. Tilaelementti koostuu valmiista seinistä, lattiasta ja katosta, joihin se rajautuu. Siinä voi olla valmiina väliseinät, LVIS-asennukset, ikkunat, ovet, kalusteet, varusteet ja sisäpinnat. Jos rakennetaan tilaelementeistä, tämä nopeuttaa entisestään työmaalla tehtävää työtä. (Puuinfo, Elementti Sampo Tilaelementit 2020; Crosslam, CLT-elementti upeasti esillä näissä kohteissa 2021.)



KUVA 6. CLT-tilaelementti (Crosslam, CLT-elementtien käyttö rakentamisessa 2017).

## 4 Kosteudenmittaus

### 4.1 Kosteusmittausten tarkoitus

Kosteutta mitataan rakennuksissa sisäilmasta ja rakenteista, sekä rakennusai- kana että rakennuksen käytön aikana. Rakentamisen aikana seurataan kuivumi- sen olosuhteita ja täten on mahdollista varmistaa riittävä kuivuminen rakenteissa tai määrittää kuivaustarve. Rakentamisen aikana mitataan myös rakenteiden kosteutta ja näin varmistetaan materiaalien kunto ja voidaan seurata rakenteiden kosteuskäyttäytymistä. Käytön aikana kosteusmittauksia voidaan tarvita kuntoar- vioissa, kuntotutkimuksissa, kosteusvauriotutkimuksissa ja korjausten tekemi- sessä. (Merikallio 2000, 2; Penttilä 2017, 11; Ratu S-1236 Olosuhteiden hallinta rakentamisessa 2021, 26.)

Erityisesti kosteudelle herkällä materiaalilla päällystettävistä rakenteista mitataan kosteus. Rakenteiden tulee olla riittävän kuivia pinnoitettaviksi. Rakenteissa ole- van kosteuden ja rakennekosteuden kuivumisasteen on oltava sellainen, että ne voidaan peittää kuivumista hidastavalla ainekerroksella, pinnoitteella tai raken- teella aiheuttamatta vaurioita. Tästä huolehtii rakennusvaiheen vastuhenkilö ja lisäksi hän huolehtii kosteusmittauksin, että rakenteiden kosteuspitoisuus on riit- tävän alhainen ennen kuin siirrytään seuraavaan työvaiheeseen. (Ympäristömi- nisteriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2017.) Monet te- kijät vaikuttavat rakenteiden kuivumiseen ja paras tapa varmistua kuivumisesta on kosteuden mittaus. Kosteusmittauksen onnistuminen ja oikeellisuus on tär- keää, koska virheellinen mittaus voi aiheuttaa kosteusvaurion tai viivästyksiä työ- maalla. Kosteusvaurio voi aiheutua, jos virheellisen liian alhaisen tuloksen takia aloitetaan päällystystyö ja viivästyksset, jos tulos on virheellisesti liian korkea ja työvaiheen aloittamista odotetaan turhaan. Kosteusmittauksilla seurataan raken- teen kuivumista aikataulun mukaisesti ja tarvittaessa rakenteen kuivumista voi- daan tehostaa, jos kuivuminen ei etene aikataulussa. Kosteusmittauksia tehdään lisäksi mahdollisesti kastuneisiin rakenteisiin. (Merikallio 2000, 2; Ratu S-1236 Olosuhteiden hallinta rakentamisessa 2021, 10.)

Hyvillä kuivumisolosuhteilla varmistetaan rakenteiden riittävä kuivuminen. Riittävä kuivuminen varmistetaan rakennemittauksilla ja hallitsemalla kuivumisolosuhteita. Kosteusmittauksissa olennaista on myös tilojen ja ympäröivän ilman kosteusolosuhteiden ja lämpötilan mittaaminen. Olosuhteiden mittaustulosten perusteella voidaan esimerkiksi tehostaa tai vähentää ilmanvaihtoa, sekä ottaa käyttöön ilmankuivaajia. (Merikallio 2000, 2; Ratu S-1236 Olosuhteiden hallinta rakentamisessa 2021, 10.)

## 4.2 Kosteusmittausten suoritus

Kosteusmittauksia suoritettaessa ja tuloksia analysoitaessa tulee huomioida monia mahdollisia virhe- ja epävarmuustekijöitä. Mittaus- ja näytemäärän ollessa pieni tulee huomioida sen aiheuttama epävarmuus. Muutama satunnainen mittaus ei välttämättä anna tarpeeksi laajaa ja todellista kuvaa tilanteesta. Mittausvälineiden ja -laitteiden on oltava kunnossa ja asianmukaisesti kalibroituja, sekä olennaista on myös että mittaaja tuntee ja osaa käyttää käyttämäänsä välineistöä ja tietää laitteiden ja eri menetelmien epävarmuustekijät. Jos mittaussuoritus on virheellinen, tarkimmillakaan mittalaitteella ei saada tällöin riittävän tarkkoja tuloksia. Toisaalta taas joissakin tilanteissa karkeallakin mittauksella voidaan saada riittävä tieto. Mittausmenetelmissä, joissa otetaan näytepaloja, tulee ottaa huomioon ja tiedostaa näyteenpalanottomenetelmän vaikutus mittaustulokseen. Esimerkiksi porauksen tai sahauksen aiheuttama lämpö voi vaikuttaa näyteenpalan kosteuteen. (Pitkäranta 2016, 30, 31, 37,38.) Mittalaitteissa tulee huomioida, että pitkällä aikavälillä kaikissa mittalaitteissa tapahtuu mittausrvirheitä aiheuttavia muutoksia, joten ne tulee kalibroida riittävän usein. (Sisäilmayhdistys, Kosteusmittaukset 2008.)

Mittauspisteiden valinta on olennaista tehtäessä kosteusmittauksia. Pisteet valitaan pintakosteuskartoituksen ja aistinvaraisten ja rakennetyyppien tarkastelujen perusteella. Mahdollisten riskialueiden lisäksi, joissa voi olla korkea kosteuspitoisuus, mitataan myös vertailualueelta, jossa oletetaan olevan matalampi tai normaalimpi kosteuspitoisuus. Rinnakkaisilla mittauksilla parannetaan mittausten tarkkuutta ja luotettavuutta, ja myös jos mittauksia suoritetaan eri ajankohtina.

Tuloksien luotettavuuteen vaikuttaa kosteusmittauksien ajankohta, kesto ja mahdollisesti toistuvuus. Lyhyt mittausjakso on valittava tarkasti ja silloin analysointi vaatii hyvää rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan tietämystä, jotta varmistetaan mittauksien edustavuudesta ja todellisuudesta. Sekä vuodenaika, että vuorokaudenaika voivat vaikuttaa tuloksiin. Esimerkiksi talvella lämpötila on alhainen ja suhteellinen kosteus on korkea ja muutokset ja niiden nopeus tavallisesti pieniä, keväällä ja kesällä muutokset ja niiden nopeus voivat olla suuria. (Pitkäranta 2016, 31, 32, 34, 35, 37.)

Kosteusmittauksissa pidetään mittauspöytäkirjaa, johon kirjataan mittausmenetelmä, käytettyjen mittapäiden numerot, mittauspisteiden sijainnit, mittaussyvyyydet, mittausajankohta (mittauspisteen teon ajankohta, tasaantumisaika). Mittauspisteiden valitseminen perustellaan myös raportissa. Tuloksia analysoidessa arvioidaan mittausvirheitä mahdollisesti aiheuttaneita tekijöitä ja niiden suuruutta. Mittauksista laaditaan myös sijaintipiirustus, jonka pohjana voi toimia pohjapiirustus ja jossa olisi tärkeää ilmetä myös sijainti korkeus- ja syvyys suunnassa ja mahdollisesti rakenteen sisällä. (Pitkäranta 2016, 58, 93.) Kun on saatu selville todellinen kosteuspitoisuus, voidaan mahdollisesti tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi kosteuslähteistä ja niiden vaikutusalueista. (RIL 255-1 2014, 382.)

### **4.3 Tässä opinnäytetyössä käytettävät kosteudenmittaustavat**

#### **4.3.1 Perinteinen piikkimittaus**

Yleinen puun kosteudenmittausmenetelmä on piikkimittaus. Menetelmä perustuu puuhun lyötävien metallielektrodianturien välisen konduktanssin mittaamiseen. Tulos muutetaan materiaali- ja olosuhderiippuvilla kertoimilla vastaamaan kosteuspitoisuutta. Mittausanturit voivat olla eristämättömiä, jolloin ne mittaavat koko anturien matkalta tai ne voivat olla eristettyjä, jolloin ne mittaavat anturien kärjistä, jotka eivät ole eristettyjä. Yleensä mittarit ilmoittavat tuloksen painoprosentteina ja tulos on suhteellisen luotettava mitattaessa yleisesti käytettyjä puulajeja. Verattuna betoniin, sähkövastuksen ja kosteuden välinen yhteys on helpompi määrittää puussa, koska puu on betonia homogeenisempi materiaali. Piikkimittarit

voivat olla mittareita, joissa piikkianturit ovat kiinni mittausyksikössä tai niissä voi olla erilliset mittausyksikkö ja piikkianturi. Mittareissa pystytään ottamaan huomioon eri puulajien erilaiset ominaisuudet, kuten esimerkiksi puulajin tiheys ja huokoisuus. Mittausta tehtäessä on huomioitava lämpötila ja ottaa huomioon mitta-laittekohtaisesti se, jos esimerkiksi mittaus suoritetaan muissa olosuhteissa, kuin huoneenlämpötilassa, sekä se, että eri valmistajien mittarit voivat antaa eroavia tuloksia. Tulokset perustuvat mittarin valmistajan tekemiin tutkimuksiin eri materiaaleille. Tulokseen voivat myös vaikuttaa esimerkiksi suolat, kemikaalit ja metallit, koska ne vaikuttavat sähkönjohtavuuteen. (Ratu 1215-s 2006, 11; Merikallio 2000, 3–4; Souto 2019, 48; RIL 255-1 2014, 342.)

Mittaus piikkimittarilla tapahtuu lyömällä tai työntämällä piikkianturit halutulle syvyydelle puuhun syyn suuntaisesti. Mittausta tulee välttää tehdä oksien ja pihkaskujen kohdalta. Mittari mittaa puun kosteuden anturien syvyydeltä. Mittarit, joissa anturit ovat mittausyksikössä, soveltuvat pintakerroksien mittaamiseen, sillä ne eivät kestä kovaa lyömistä ja antureiden saamista syvälle puuhun. Erillisillä antureilla varustetut mittarit soveltuvat syvemmältä kosteuden mittaamiseen. Niiden erillinen piikkianturi voi olla esimerkiksi metallirakenteinen ja se voidaan lyödä vasaralla haluttuun syvyyteen. Mittarit ilmoittavat painoprosentteina kosteuspitoisuuden ja niiden mittausalue puulla on noin 5–27 %:n kosteuspitoisuuden alueella. (RIL 255-1 2014, 342.) Mittausepävarmuus on noin  $\pm 2$ –5 %, mikäli mitattava materiaali tunnetaan ja se vastaa sähkönjohtokyvyltään oletettavaa materiaalia. Kuivassa tai erittäin kosteassa materiaalissa tuloksen epävarmuus kasvaa moninkertaiseksi. (Ratu 1215-s 2006, 11; Merikallio 2000, 3–4; SFS-EN 13183-2 2002, 6–7; RIL 255-1 2014, 342.)



KUVA 7. Juntta-anturi. (Kosteusmittari, Gann M 18 puuanturi n.d.)



KUVA 8. Kosteusmittari. (Kosteusmittari, Gann Hydromette HT 65 kosteusmittari n.d.)

#### 4.3.2 Jatkuvatoiminen piikkimittaus

Kosteutta voidaan mitata puusta piikkimittauksella myös jatkuvana. Jatkuvatoiminen kosteudenmittaus puurakenteissa on mahdollista esimerkiksi Wiiste Oy:n WM1-WAN jatkuvatoimisella IoT-kosteusmittarilla. Mittari on Wiisteen ja Stora Enson kehittämä ja se tuotiin markkinoille kesällä 2020. WM1-WAN-mittari lähettää kosteustietoja pilvipalveluun ja puuelementin kastuessa hälyttää, sekä myös puuelementin kuivuuessa ilmoittaa siitä. Laitteen keräämästä tiedosta on pääteltävissä missä vaiheessa puu on kastunut, esimerkiksi kuljetuksen, säilytyksen, rakentamisen aikana tai rakentamisen jälkeen. Mittarit voidaan jättää rakenteeseen ja näin seurata rakennuksen käytön aikaista kosteutta. WM1-WAN-mittari voidaan esimerkiksi piilottaa tai koteloida käytön ajaksi. (Wiiste Oy, Wiisteen puun IoT-kosteusmittari TM Rakennusmaailmassa 2020; Wiiste Oy, WM1-WAN Internetiin integroitu puun kosteusmittari 2020; Kaskinen 2020.)

WM1-WAN-mittaria voidaan käyttää CLT-, LVL- ja myös hirsielementeissä, sekä rankarakenteissa. Mittari ruuvataan puurakenteeseen kiinni ja se lähettää ajantasaisesti kosteustietoja pilvipalveluun. Mittarin elektrodina toimivat sen kiinnitysruuvit. Kiinnitysruuveja on kaksi eri mittaista paria ja yhteensä neljä ja täten ne mittaavat kosteutta puurakenteessa kahdelta eri syvyydeltä. Kosteutta voidaan mitata 5 ja jopa yli 200 millimetrin välillä, riippuen minkä pituisia ruuveja käytetään.



tään. Mittaussyvyteen ja -alueeseen vaikuttaa myös, käytetäänkö eristämättömiä vai kärjestä eristämättömiä ruuveja. WM1-WAN-mittari ilmoittaa puunkosteuden painoprosentteina ja lisäksi se mittaa ympäröivän tilan suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. (Wiiste Oy, Wiisteen puun IoT-kosteusmittari TM Rakennusmaailmassa 2020; Wiiste Oy, WM1-WAN Internetiin integroitu puun kosteusmittari 2020; Kaskinen 2020.)



KUVA 9. Wiiste Oy puun IoT-kosteusmittari. (Wiiste Oy, Puun kosteusmittari n.d.)

### 4.3.3 Punnitus-kuivausmenetelmä

Punnitus-kuivausmenetelmässä tarkasteltavasta rakenteesta otetaan näytepala, joka punnitaan ja tämän jälkeen kuivataan kuivausuunissa  $103 \pm 2$  °C:n (SFS-EN 13183-1 2002, 5) lämpötilassa. Näytepala punnitaan uudestaan kuivana ja kosteus ilmoitetaan prosentteina poistuneen vesimäärän suhteena kuivaan näytepalaan. Punnitus-kuivausmenetelmällä pystytään saamaan selville kosteuspitoisuus myös kapillaarisella kosteusalueella. Tulos voi vääristyä, jos näytepalassa on paljon lämpöuunin olosuhteissa haihtuvia ainesosia esimerkiksi pihkaa tai liimaa. Näytepalassa ei mielellään tulisi olla pihkaa, kaarnaa eikä oksia. Tulokseen vaikuttaa myös näytepalanottomenetelmä. Porauksen ja sahauksen aiheuttama lämpö voi vaikuttaa näytepalan kosteusominaisuuksiin. Punnitus-kuivausmenetelmässä olennaista on myös näytepalan koon valinta, jossa pitää ottaa huomioon myös näytepalan materiaalin kosteusominaisuudet. Isossa kappaleessa kosteus voi vaihdella suuresti ja pienessä kappaleessa kosteuden määrittäminen voi olla

epätarkkaa. Näytepalojen ollessa yli 100 g, tulee mittauksessa käytettävän vaa`an tarkkuuden olla vähintään 0,1 g ja näytepalojen ollessa alle 100 g, tulee vaa`an tarkkuuden olla vähintään 0,01 g (SFS-EN 13183-1 2002, 4). Punnitus ja kuivaaminen uunissa tulee aloittaa mahdollisimman nopeasti, mutta jos se ei ole mahdollista, tulee näytepalat säilöä suljettuun säiliöön punnituksen odottamisen ajaksi. Noudatettaessa standardia SFS-EN 13183-1, punnituksia ja kuivaamista jatketaan, kunnes kahden peräkkäisen punnituksen massan ero on pienempi kuin 0,1 % ja punnitusten väli on ollut kaksi tuntia. Punnitus-kuivausmenetelmällä tulokseen voivat siis vaikuttaa näytepalanottomenetelmä, näytepalan huonot ominaisuudet, säilytys ja punnitus. Lähtökohtaisesti punnitus-kuivausmenetelmä on luotettavin tapa materiaalin todellisessa kosteuspitoisuuden määrittelyssä. (Souto 2019, 47; Laakso 2017, 17; SFS-EN 13183-1 2002, 4-5; SFS-EN ISO 12570 2000, 8; RIL 255-1 2014 342, 370, 382.)

Kosteuspitoisuus  $\omega$  määritellään punnitus-kuivausmenetelmällä seuraavasti (SFS-EN 13183-1 2002, 5):

$$\omega = 100 \% * \frac{m_1 - m_0}{m_0}$$

missä

$\omega$  on kosteuspitoisuus prosentteina

$m_1$  on kostean kappaleen massa

$m_0$  on kuivan kappaleen massa

## 5 Kosteusmittausten kohde

Kosteusmittausten kohteena tässä opinnäytetyössä oli runkovaiheessa oleva Helsingin Luonnontiedelukio, joka valmistuu keväällä 2023. Helsingin Luonnontiedelukio on viisikerroksinen ja sen laajuus on noin 5400 bruttoneliometriä. Helsingin Yliopistokiinteistöt Oy toteuttaa hankkeen yhteistoiminnallisella projektinjohtourakkamallilla Helsingin kaupungin, SRV Rakennus Oy:n, Quattroservices Oy:n ja arkkitehtitoimisto AFKS Oy:n kanssa, sekä Helsingin Yliopistokiinteistöt Oy toimii myös rakennuttajana. (SRV n.d.)



KUVA 10. Helsingin luonnontiedelukion luonnoskuva. (SRV n.d.)

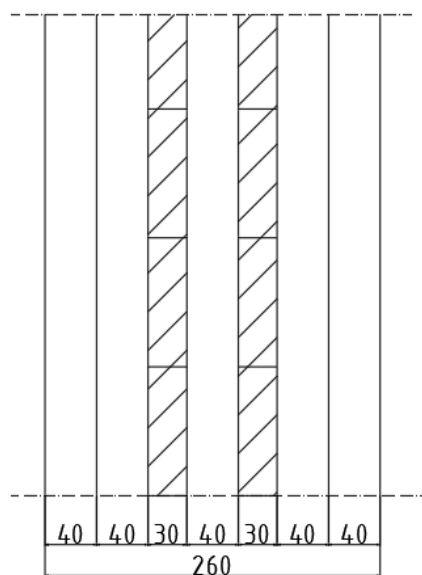
Rakennuksen perustukset ja 0.kerroksessa sijaitsevat varasto- ja tekniset tilat ja väestönsuoja ovat teräsbetonirakenteisia. Osa 0.kerroksesta on edellä mainittuja tiloja ja toinen osa ryömintätilaa. Väestönsuojan alapohja toteutetaan maanvaraisena laattana ja muuten rakennus on perustettu pilarianturoin ja ulkoseinien linjalla seinäanturoin. Ryömintätilan alapohja, joka on myös ensimmäisen kerroksen lattia, on ontelolaattarakenteinen. Rakennuksen ulkoseinät ovat CLT-elementtirakenteisia. Ulkoseinät toimivat kantavina ja jäykistävinä ja niissä CLT-levyn paksuus on 260 millimetriä. Väliseiniä on rakennuksessa CLT-, teräsranka-, teräsbetoni-, harkko- ja puurankarakenteisia.

Välipohjissa toisessa, kolmannessa, neljännessä ja viidennessä kerroksessa CLT-levy ja betonilaatta toimivat liittorakenteena. Kellarikerroksen kattorakenteet ovat betonirakenteisia. Yläpohjan kantavana rakenteena ovat NR-ristikot. CLT-

yläpohjalaatta toimii yläpohjan palotilanteen kantavana rakenteena. Rakennuksen kantavina rakenteina toimivat lisäksi liimapuupilarit, liimapuupalkit, deltapalkit, teräspalkit ja CLT-palkit. 1., 2., 3., 4., ja 5.kerroksien porrashuoneet ja portaat ovat CLT-rakenteisia.

## 5.1 Ulkoseinä

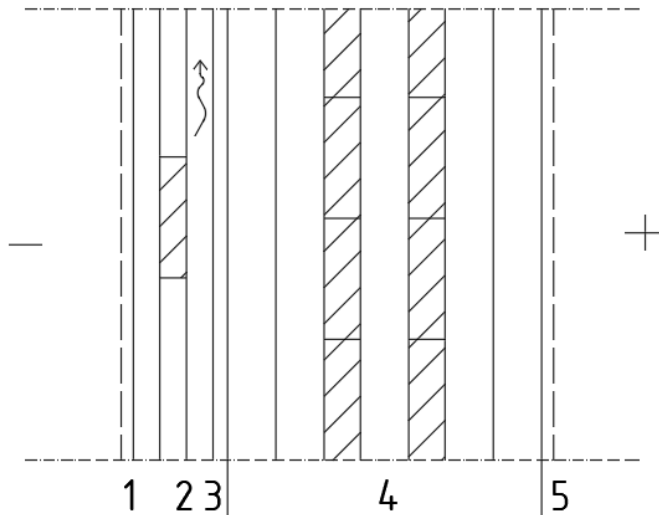
Kosteusmittausten kohteena oli ulkoseinä, joten sen CLT-levyä tarkastellaan tässä tarkemmin. Kohteen CLT-levyt ovat Stora Enson valmistamia. Ulkoseinän CLT-levy on seitsemän kerroksinen ja sen kaksi ulointa lamellia molemmissa reunoissa ovat pystysuunnassa ja 40 millimetriä paksuja, seuraavat lamellit ovat vaakasuunnassa ja 30 millimetriä paksuja ja sisin lamelli on uloimpien lamellien tapaan pystysuunnassa ja 40 millimetriä paksu. (Stora Enso, CLT by Stora Enso-Technical brochure n.d, 7.)



KUVA 11. Ulkoseinän CLT-levyn lamellien mitat.

Puun lujuusluokka CLT-levyissä on C24 ja puulajeja ovat kuusi ja pihta. Lappeiden väliseen liimaukseen on käytetty polyuretaaniliimaa ja syrjäliimaukseen emulsiopolymeeri-isosyanaattiliimaa eli EPI-liimaa. (Stora Enso, CLT by Stora Enso-Technical brochure n.d, 4.)

Ulkoseinärakenne koostuu julkisivuverhouksesta, koolauksesta, tuulensuojalevystä ja CLT-levystä. Ulkoseinien sisäpuoliset rakenteet vaihtelevat riippuen tilasta ja sen käyttötarkoituksesta. Mittauksia tehdessä ulkoseinässä mittauskohdissa ei ollut muita rakennusosia, kuin CLT-levy, ei sen ulkopuolisia tai sisäpuolisia rakennekerroksia, lukuun ottamatta yhtä mittauskohtaa viimeisellä mittauskerralla, jossa mittauskohdan ympärillä oli jo tehty levytystä.



KUVA 12. Ulkoseinän rakennetyyppi.

Taulukossa 2 on esitetty ulkoseinän lopullinen rakenne kokonaisuudessaan.

TAULUKKO 2. Ulkoseinän rakennetyyppi.

1	Pintakäsittely
2	Julkisivuverhous - julkisivulaudat - ristikoolaus
3	Tuulensuojalevy
4	Kantava rakenne CLT 260 mm
5	Pintakäsittely

Taulukossa 3 on lopullisen ulkoseinän teknisiä arvoja.

TAULUKKO 3. Ulkoseinän tekniset arvot.

Lämmönläpäisykerroin	~0,39 W/m <sup>2</sup> K	YM asetus 1010/2017	vertailuarvo 0,40 W/m <sup>2</sup> K
Ääneneristävyyttä	40 dB (Rw+Ctr)	Ym asetus 796/2017	-
Palonkestävyys	REI60	YM asetus 848/2017	vaatimus REI60

## 6 Kosteusmittaukset Helsingin luonnontiedelukion työmaalla

### 6.1 Piikkimittaus

Piikkimittaukset tehtiin koko opinnäytetyön ajan samalla kuvan 13 Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion Gann Hydromette Compact S puunkosteusmittarilla.



KUVA 13. Piikkimittari Gann Hydromette Compact S.

Gann Hydromette Compact S:n kosteudenmittaus perustuu mittauspiikkien väliin sähköiseen vastukseen. Mittari lähettää signaalin materiaaliin ja materiaalin tiheys ja kosteus vaikuttavat tähän signaaliin. Mittaus tapahtuu siten, että mittauspiikit laitetaan puun syiden suuntaisesti kohtisuoraan puuhun. Mittari oli säädetty puulajiryhmän 3 mukaisesti, johon kuuluvat koivu, mänty, kuusi, vaahtera, tammi, leppä ja saarni. Puunkosteuden mittausalue mittarissa oli 10-50 % lämpötilan ollessa 15-25 °C. Mittaustarkkuus oli 0,1 prosenttiyksikköä ja mittarin erotelukyky oli 0,1. Mittari ilmoitti tuloksen puun painoprosentteina. Mittarin pituus oli 200 mm, leveys 35 mm ja korkeus 35 mm ja se painoi 130 g. (Gann, Gann Hydromette Compact S käyttöohje n.d; Staypro n.d; Gann, Hydromette Compact S n.d.)



KUVA 14. Piikkimittaus.

## 6.2 Jatkuvatoiminen piikkimittaus

Helsingin luonnontiedelukion työmaalla käytetään puunkosteuden mittaamiseen kuvan 15 Wiiste Oy:n WM1-WAN-puunkosteusmittareita.



KUVA 15. WM1-WAN-mittari työmaalla.

Mittauksien suorittamisen aikana WM1-WAN puunkosteudenmittareita oli työmaalla 3. Niiden mittaussyvyudet mittauksien aikana olivat noin 12 mm ja 50 mm. Mittaussyvyudet ovat noin-ilmaistuna, koska ruuvien kärjet olivat eristämättömät muutaman millimetrin alueelta ja täten mittaussyvyys ei ole aivan tarkka. Taulukossa 4 on WM1-WAN-mittarin tekniset tiedot.

TAULUKKO 4. WM1-WAN-puun kosteusmittari tekniset tiedot. (Wiiste Oy, WM1-WAN Internetiin integroitu puun kosteusmittari 2020.)

Kosteuden mitta		Kosteuden mitta (ympäristö)		Lämpötilan mitta (ympäristö)	
Mitta-alue	6-30 MC	Mitta-alue	10-100% RH	Mitta-alue	-40-85 °C
Mittaustarkkuus	±1 MC	Mittaustarkkuus	±2,5% RH (10-80% RH), ±2,5-3% RH (80-100% RH)	Mittaustarkkuus	±0,1 °C (0-60 °C), ±0,1-1,8 °C (-40-0 °C), ±0,1-0,8 °C (60-80 °C)
Toistettavuus	0,2 MC	Toistettavuus	±0,2% RH	Toistettavuus	±0,1 °C
Hystereesi	0,2 MC	Hystereesi	< ±1% RH	Resoluutio	0,1 °C
Resoluutio	0,1 MC	Resoluutio	0,1% RH	Vasteaika (T10-90%)	< 10 min
Lineaarisuusvirhe	0,1 MC	Vasteaika (T10-90%)	< 20 s	Ryömintä	0,05 °C/a
Mittaus-tyyppi	Resistii-vinen	Siirtotarkkuus	< 0,5% RH/a	Anturityyppi	PTAT
		Anturityyppi	Kapasiivinen poly-meeri		

### 6.3 Punnitus-kuivausmenetelmä

Punnitus-kuivaus-mittausta varten Helsingin luonnontiedelukion työmaalta otettiin näytepaloja ulkoseinien CLT-levystä. Näytepalat otettiin kuvien 16, 17 ja 18 porakoneella ja reikäsahalla. Käytettävä reikäsaha oli Bahco superior kovametallikärkisaha, jonka halkaisija oli 51 mm ja jossa oli kitkaa vähentävä pinnoite. (Motonet n.d.)



KUVA 16. Näytepalojen ottamisessa käytetty pora ja reikäsaha.





KUVA 17. Reikäsaha (ylhäältä).



KUVA 18. Reikäsaha (sivusta).

Näytepalat kuivattiin kuvan 19 Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion kuivausuunissa.



KUVA 19. Kuivausuuni.

Näytepalat kuivattiin kuvissa 20 ja 21 näkyvissä astioissa.



KUVA 20. Astiat, joissa näytepalat kuivattiin kuivausuunissa.



KUVA 21. Näytepalat kuivausuunissa.

Näytepalojen kaikki punnitukset sekä työmaalla, että laboratorioissa suoritettiin kuvan 22 Emax digitaalivaaka`alla.



KUVA 22. Emax digitaalivaaka

Taulukossa 5 on Emax vaa`an tekniset tiedot.

TAULUKKO 5. Emax digitaalivaaka tekniset tiedot. (Emax n.d.)

MALLINRO	8296
Kapasiteetti	200 g
Luettavuus	0,01 g
Tarkkuus	± 3 g
Painoyksikkö	g, oz, dwt, gn, ct, ozt
Kalibrointi	Automaattinen kalibrointi näppäimistöllä
Punnitusalueen koko (PxL)	2,8" x 2,4"
Vaa`an koko (PxLxK)	5,6" x 3,3" x 0,9"
Nettopaino	174 g

Näytepalojen ja reikäsahan lämpötiloja mitattiin kuvan 23 Kempten infrapunalämpömittarilla.



KUVA 23. Kempten infrapunalämpömittari.

Taulukossa 6 on Kempten infrapunalämpömittarin tekniset tiedot.

TAULUKKO 6. Kempten infrapunalämpömittari tekniset tiedot. (Kempton n.d.)

Lämpötilan mitta-alue	-50 ~ 360 °C
Tarkkuus	0 °C ~ 360 °C : ± 1,5 °C tai 1,5 %
Resoluutio	0,1 °C
Toistuvuus	1 % lukemasta tai 1 °C
Vasteaika	500 m sec, 95 % vaste
Spektriherkkyys	8-14 µm
Emissiivisyys	0,95 oletusasetus
Mittaussuhde	8:1
Toiminta lämpötila	0 ~ 40 °C
Toiminta ilmankosteus	10 ~ 90 % RHN

Näytepalat laitettiin kuljetuksen ajaksi työmaalta kuivaukseen joko tiiviisti suljettavaan minigrip-pussiin (kuva 24) tai kangaspussiin (kuva 25), joka ei ole tiivis. Minigrip-pussissa säilytetyt näytepalat laitettiin mittauskohtien mukaan minigrip-pusseihin. Eli yhdessä minigrip-pussissa oli näytepaloja vain yhdestä ja samasta mittauskohdasta.



KUVA 24. Tiivis säilytys minigrip-pussissa.



KUVA 25. Vapaa säilytys kangaspussissa.

#### 6.4 Mittausten suoritus

Ensin mitattiin mittauskohdan lämpötila infrapuna-lämpötila-anturilla, jonka jälkeen piikkikosteusmittarilla mitattiin mittauskohdasta kosteuspitoisuus kuvien 14 ja 26 mukaisesti. Piikkimittaus suoritettiin kolme kertaa. Piikit olivat 8 mm pitkiä

ja eristämättömiä, jolloin mittaus tapahtui CLT-levyn pinnasta lähtien 0-8 mm syvyydellä.



KUVA 26. Piikkimittaus kolme kertaa samasta mittauskohdasta.

Tämän jälkeen samasta kohdasta otettiin näytepala reikäsahalla, jonka halkaisija oli 51 mm, sahattiin 60 millimetrin syvyyteen ja näytepala otettiin pois. Ennen näytepalojen poisottoa sahan terän lämpötilaa mitattiin heti sahauksen jälkeen ja myös näytepalojen lämpötilaa mitattiin, kun ne oli saatu pois seinästä. Näytepalojen lämpötila mitattiin niiden sivupinnalta. Näin seurattiin ja tiedostettiin mahdollinen sahauksen aiheuttaman kuumuuden vaikutus näytepalojen kosteuteen. Kun ensimmäinen pala oli saatu pois, sahattiin samasta kohdasta vielä 50 mm ja täten yhteensä 110 mm syvyyteen eli kolmannen ja neljännen lamellin saumaan.

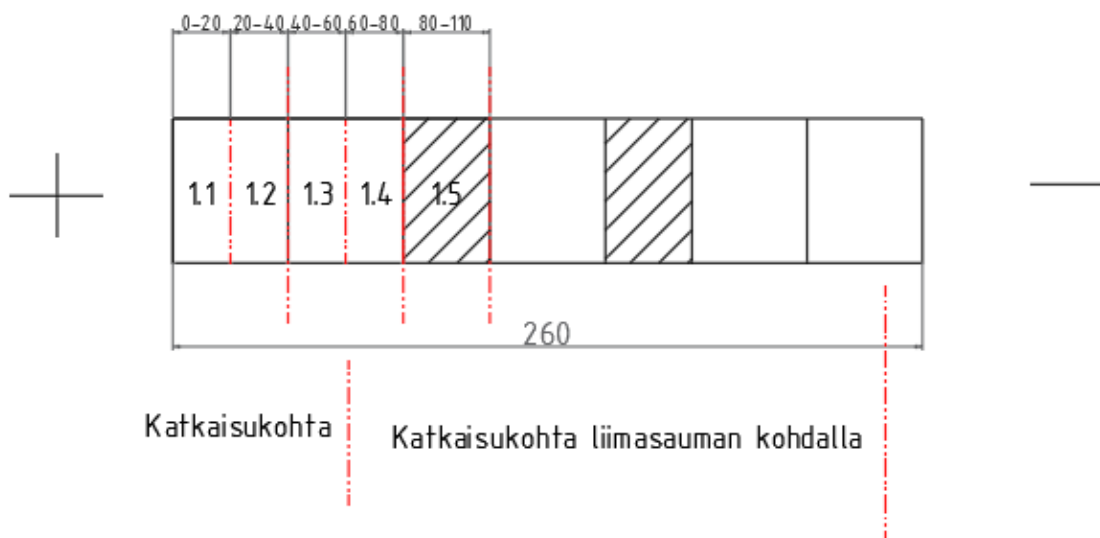


KUVA 27. Yhdestä mittauskohdasta sahatut näytepalat.



KUVA 28. Sahausreikä.

Myös jälkimmäisten näytepalojen ohessa mitattiin sahan terän ja näytepalojen lämpötiloja. Kun näytepalat oli saatu irrotettua, ne jaettiin vielä pienempiin osiin kuvan 29 mukaisesti.



KUVA 29. Näytepalan jako pienempiin osiin ja niiden numerointi.





KUVA 30. Näytepalojen jako pienempiin osiin.

Näytepalat jaettiin kuvan 29 mukaisiin pieniin paloihin taltalla, jotta saatiin selville kosteuspitoisuus seinässä eri syvyyksillä, ja jotta liimasaumat eivät olleet keskellä paloja, eikä yhdessä palassa olisi puuta liimasauman molemmilta puolilta kahdesta eri lamellista. Tämän jaon avulla voitiin ottaa huomioon liimasaumojen vaikutus, sillä jaetut näytepalat olivat eri puolilla liimasaumoja. Ensimmäinen ja toinen lamelli, joiden paksuus on 40 mm, jaettiin 20 mm osiin, jotta niiden kosteutta oli parempi vertailla piikkimittarin ja WM1-WAN-mittarin tuloksiin, sillä ne mittasivat kosteuden pieneltä alueelta ja 40 mm paksuun palaan niiden tuloksia olisi ollut vaikeampi ja epätarkempaa vertailla. Esimerkiksi pinnasta tehtyä piikkimittausta on todenmukaisempaa verrata pinnasta alkaen 20 mm syvyyteen ulottuvaan näytepalaan, kuin 40 mm syvyyteen ulottuvaa näytepalaan.

Näytepalojen jakamisen jälkeen paloista mitattiin piikkikosteusmittarilla kosteuspitoisuus syynsuuntaisesti ja lopuksi palat punnittiin ja laitettiin minigrip-pusseihin tiiviisti kuljetuksen ajaksi työmaalta laboratorioon kuivaukseen. Osa näytepaloista säilytettiin kuljetuksen aikana vapaasti kangaspussissa, joka ei ollut tiivis ja näin tutkittiin myös näytepalojen säilytystavan vaikutusta kosteuspitoisuuden muuttumiseen kuljetuksen aikana. Vapaasti säilytetyt näytepalat otettiin minigrip-pussissa säilytettyjen näytepalojen vierestä, jolloin ne olivat mahdollisimman samankaltaiset ja täten verrattavissa toisiinsa paremmin. Näytepalat, jotka otettiin WM1-WAN-mittarien vierestä, niin niiden yhteydessä kirjattiin ylös sen hetkiset WM1-WAN-mittarien tulokset.

Näytepalojen kuivaus suoritettiin noin 103 °C asteessa kuivausuunissa. Näytepaloja kuivattiin, kunnes kahden punnituksen välinen massan ero oli alle 0,1 % ja punnitusten väli oli 2 tuntia. Näytepalat laitettiin kuivaus uuniin samana päivänä, kuin ne oli otettu työmaalta. Työmaalla suoritettuna punnituksen lisäksi näytepalat punnittiin uudestaan juuri ennen niiden laittamista kuivausuuniin. Näin saatiin selville näytepalojen mahdollinen massan muutos kuljetuksen aikana. Näytepalat punnittiin seuraavan kerran mittausten jälkeisenä päivänä kaksi kertaa siten, että punnitusten välissä oli 2 tuntia.



## 7 Menetelmien arviointi ja vertailu

### 7.1 Piikkimittaus

Piikkimittauksissa on hyvä olla sama piikkimittari koko mittausten tai tutkimuksen ajan. Tällöin tulokset pysyvät vertailukelpoisina keskenään, eikä tuloksissa ole laitekohtaisia eroja. Toisaalta kahden eri mittarin käytöllä samaan aikaan voidaan hakea vertailua ja luotettavuutta niiden tuloksille vertailemalla niiden tuloksia. Mittarin on hyvä olla myös samalla tavalla kalibroitu, eli sitä ei kalibroida mittausten aikana, jos halutaan tarkasti vertailla tuloksia. Tulosten ollessa epätarkkoja tai epäillään, että ne eivät ole luotettavia, voi kalibrointi tulla kyseeseen.

Mittauksissa käytetyn Gann Hydromette Compact S:n mittauslämpötila-alue oli 15-25 °C. Mittaukset tehtiin ulkoseinän CLT-levyn sisäpuolelta ja ensimmäisten mittausten aikaan rakennuksessa oli 4 maanpäällistä kerrosta ja viides rakenteilla. Ensimmäisen mittauskerran mittaukset suoritettiin 1.kerroksessa. Mittauspäivien aikana alin WM1-WAN-mittarin mittaama ympäröivän ilman lämpötila oli 12,35 °C. Kyseisen päivän lämpötila on voinut vaikuttaa tuloksiin. Koska ero mittalaitteen ilmoitettuun mittauslämpötila-alueeseen on pieni, vaikutus tuloksiin ei todennäköisesti ole suuri, vaikka lämpötilan vaikutusta piikkimittarilla saatuihin tuloksiin on vaikea arvioida.

Käytetylle Gann Hydromette Compact S-mittarille oli säädetty puulajiryhmäksi 3, johon kuuluvat koivu, mänty, kuusi vaahtera, tammi, leppä ja saarni. Mittauskohteen CLT-levyjen raaka-aineena olivat kuusi ja pihta. Puulaji pystyttiin täten ottamaan huomioon, mutta tällä mittauslaitteella ei kovin tarkasti. Myös tämä on voinut vaikuttaa tuloksiin, mutta vaikutuksen suuruutta on vaikea arvioida. Lisäksi osa rakennuksessa käytetyn CLT-levyn puumateriaalista on pihtaa, jota ei ole edellä mainitussa puulajiryhmässä. Mittauksia tehtäessä ei ole voitu olla varmoja, milloin mitattavassa kohdassa on kuusta ja milloin pihtaa.

CLT:stä mitattaessa kosteutta piikkimittarilla, tulee kiinnittää huomiota levyjen saumoihin. Mittausta olisi hyvä välttää tehdä liimasauman läpi, koska sen vaiku-

tuksesta tulokseen ei voi olla varma. Kun mittari on säädetty mittaamaan kosteutta puusta, eri materiaalia oleva kohta mittauksessa voi vaikuttaa sen mittaukseen. Sauman läpi mitattaessa vastaan tulee myös se, että sauman toisella puolella olevan lamellin syyt voivat olla eri suuntaan ja samaan suuntaankin ollessaan sauman toisen puolen lamelli on ylipäätään eri puukappale, jolloin tulos ei ole luotettava.

Piikkimittausta tehtäessä on kiinnitettävä erityistä huomiota mittauksen suorittamisen huolellisuuteen. Esimerkiksi Gann Hydromette Compact S:llä mitattaessa piikit oli työnnettävä niiden tappiin asti. Muuten tulos voi olla muutaman prosenttiyksikön verran erilainen. Mittari on tärkeää myös työntää puuhun tarkasti syiden suuntaisesti. Piikkimittauksessa korostuu ja on erittäin tärkeää osata käyttää laitetta oikein. Mittauksissa on myös hyvä tuntea käyttämänsä mittalaitetta siten, että tietää milloin tulokset saattavat olla epäluotettavia ja mistä tämä kussakin tapauksessa voi johtua. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetty Gann Hydromette Compact S:n mittauservo saattoi ”ryömiä” vaikka piikit oli työnnetty puuhun tappiin asti. Tällöin mittari on hyvä ottaa pois ja työntää uudelleen puuhun tai nostaa mittauspainike ylös ja painaa sitä uudelleen ja kirjata tulos ylös vasta kun se on pysähtynyt. Hyvä käytäntö on myös tehdä mittaus samasta kohdasta useampaan kertaan. Tällöin tulokselle saadaan parempi varmuus, kuin että tehdään vain yksi mittaus, joka voi olla epätarkka tai epäluotettava. Samasta kohdasta useampaan kertaan tehdyssä mittauksessa tulokset ovat usein hieman erilaisia. Tulosten erotessa toisistaan merkittävästi, on siihen kiinnitettävä huomiota.

Piikkimittaus on helppo suorittaa. Mittaus on nopea ja mittauksen voi tehdä rakenteiden pinnasta melkein mistä vain. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetyn Gann Hydromette Compact S:n mitat olivat 200 mm, 35 mm ja 35 mm ja se painoi 130 grammaa. Nopeimmillaan yksi mittaussuoritus oli tehty muutamassa sekunnissa. Mittaussuoritus piteni, jos mittarin mittauservo pysähtyi hitaasti ja tulos ”ryömi”. Vaikka mittaussuoritus voi olla nopea, tulee mittauksissa olla kärsivällinen eikä niiden suorittamisessa saa kiirehtiä.

Tulokset on tärkeää kirjata huolellisesti ja kun suoritetaan piikkimittauksia näytepalasta, joka jaetaan pienempiin osiin on tiedettävä tarkasti kulloinkin millä syvyydellä ja mistä suunnasta näytepaloja mitataan. Tällöin tiedetään koko ajan

tarkasti miltä syvyydeltä mikäkin mittaus on mitattavasta rakenteesta kokonaisuudessaan.

## 7.2 Jatkuva toiminen piikkimittaus

WM1-WAN-mittarit on helppo kiinnittää ruuveilla ja ne on myös helppo irrottaa. Tällöin niitä on kätevä siirtää mittauskohdasta toiseen, jos halutaankin mitata kohteutta jossain toisessa kohdassa. Mittari lisää kätevyyttä etenkin, koska mittauksia ei tarvitse itse suorittaa ja tuloksia voidaan seurata reaaliaikaisesti, kun mittari mittaa koko ajan.

Koska WM1-WAN-mittarin toimintaperiaate on sama kuin perinteisessä piikkimittauksessa, on siinä samoja ongelmia kuin perinteisessä piikkimittauksessa. Mittaus ei ole suora, vaan se perustuu konduktanssiin ja tämä tuo oman epävarmuuden tuloksiin. Myös WM1-WAN-mittarilla tulee huomioida CLT:ssä saumat. Jos ruuvit ovat eristettyjä, ei saumojen liima tai saumojen eri puolilla olevat lamellit aiheuta ongelmia, koska mittaus tapahtuu vain ruuvien kärjestä pieneltä eristämättömältä alueelta.

Käytettäessä WM1-WAN-mittaria, sen yhteydessä voisi hakea luotettavuutta ja tarkkuutta sen tuloksille rinnakkaisilla piikkimittauksilla. Kun mittari kiinnitetään seinään ja piakkoin tehdään rinnakkaisia piikkimittauksia, nähdään eroavatko tulokset merkittävästi. Rinnakkaisia vertausmittauksia voi tehdä myös myöhemminkin ja useammin.

Tässä tutkimuksessa WM1-WAN-mittareista saatiin vain vähän kokemuksia, koska mittausten aikaan mittauskohteessa oli 3 mittaria, joista 2 oli suurimman osan ajasta samassa tilassa vierekkäin ja yksi oli porrashuoneen alla hankalasti saavutettavassa paikassa.

### 7.3 Punnitus-kuivausmenetelmä

Punnitus-kuivausmenetelmässä kuivattaessa CLT-levyn näytepaloja liima voi haihtua. Liimaa on hyvin vähän ja sen haihtumisen vaikutus tulokseen ei todennäköisesti ole suuri. Liiman haihtumisen vaikutus tulokseen kuitenkin kasvaa, mitä pienempiä ja kevyempiä näytepalat ovat. Kaikki liima ei kuitenkaan välttämättä haihdu. Kuvissa 31 ja 32 näytepaloihin on jäänyt liimaa, joka on aiheuttanut myös toisesta lamellista pienen puumateriaalin jäämisen näytepalaan. Kuvat on otettu kuivaamisen ja mittausten jälkeen.



KUVA 31. Näytepala, johon jäänyt vähän liimaa.



KUVA 32. Näytepalassa vähän liimaa.

Kun näytepaloja otetaan sahaamalla, tulee sahauksen olla mahdollisimman nopea ja sujuva, jotta sahaus ei kuumentaisi näytepalaa. Sahauksen kestäessä lyhyen aikaa, se vaikuttaa näytepalaan vähemmän aikaa. Reikäsahan laatuun on hyvä panostaa, sillä sahaus on sitä sujuvampi, mitä laadukkaampi saha on. Sahan terän lisäksi sen pinnoitteella on vaikutusta. Jos pinnoite on kulunut tai sitä ei ole ollenkaan, saha kuumenee enemmän. Tässä tutkimuksessa sahan lämpötila pysyi pääsääntöisesti alle 100 °C:n. Kuluneella sahalla sahaus oli huomattavasti hitaampaa ja sahan lämpötila saattoi nousta yli 100 °C:een. Kuvassa 33 on kulunut reikäsaha.



KUVA 33. Kulunut reikäsaha

Sahauksen jälkeen näytepaloille suoritettavat toimenpiteet mm. punnitus tulee suorittaa mahdollisimman nopeasti, jotta kosteutta ei kerkeä haihtua näytepaloista. Jos näytepaloja ei voida punnita heti, tulee ne laittaa mahdollisimman nopeasti kuljetuksen aikaiseen säilytykseen. Tässä tutkimuksessa kuljetuksella ei ollut suurta vaikutusta tuloksiin, koska näytepalat punnittiin heti työmaalla. Kuljetuksen aikaisella säilytyksellä on vaikutusta näytepalojen massaun. Ero tiiviisti minigrip-pusseissa säilytetyillä ja vapaasti kangaskassissa säilytetyillä näytepaloilla oli kuitenkin varsin pieni. Säilytys kannattaa kuitenkin tehdä huolellisesti, koska silloin saa tarkempia ja luotettavampia tuloksia.

Jos näytepaloja jakaa osiin, kuten tässä tutkimuksessa tehtiin, tulee olla tarkka ja huolellinen, että palat ovat mittatarkkoja. Jos näytepala on epätarkka, esimerkiksi siinä on puuta liimasauman molemmilta puolilta, voi myös tulos olla epätarkka, jos sauman eri puolilla eri lamelleissa on selvästi erilainen kosteuspitoisuus. Näytepalojen laatu ja massa vaihteli ajoittain, mihin vaikuttaa myös puun ominaisuudet, miten se katkeaa tai halkeaa ja sen tiheys. Näytepalojen laatuun vaikuttaa

myös pihka, pihkataskut, oksat ja muut puun luonnolliset ominaisuudet ja erilaiset kohdat. Kuvassa 34 on näytepala, johon jäi hieman puuta liimasauman toiselta puolelta olevasta palasta.



KUVA 34. Näytepala, johon jäi pieni osa lamellia liimasauman toiselta puolelta ja liimaa.

Punnitus-kuivausmenetelmä on hitaampi menetelmä, kuin piikkimittaukset. Näytepalat voivat kuivua 103 °C asteen kuivausuunissa päivässä niiden koosta riippuen ja täten tulokset voi saada jo seuraavana päivänä. Tässä tutkimuksessa näytepalojen kuivaus kuivausuunissa aloitettiin noin kello 14.30. Ensimmäinen punnitus suoritettiin työmaalla, toinen juuri ennen kuin näytepalat laitettiin kuivausuuniin, kolmas seuraavana päivänä noin kello 9 ja neljäs ja viimeinen noin kello 11. Näytepalat olivat kuivuneet jo kolmanteen punnitukseen mennessä ja neljännessä punnituksessa vielä tarkistettiin, että näytepalojen massa ei muuttunut enää kahden tunnin kuivauksen aikana.

Näytepalojen kosteustuloksiin vaikuttaa pihka, pihkataskut, oksat yms. Mitä suurempia edellä mainitut puun erilaiset kohdat ja alueet ovat, sitä enemmän ne vaikuttavat tulokseen. Näytepaloja ottaessa kannattaa välttää tällaisia kohtia. CLT:n kohdalla vain pintalamellin erilaisia kohtia kuten oksia, pihkataskuja yms. voi välttää, sillä näytepalaa ottaessa ei voida tietää minkälaisia sen takana olevat lamellit ovat.

Punnitus-kuivausmenetelmän punnitukset tulee suorittaa tarkasti. Vaa`an on hyvä olla sama kaikissa punnituksissa. Tässä tutkimuksessa käytettiin Emax digitaalivaakaa. Se kalibroitiin sekä ennen työmaalla että laboratorioissa suoritetuista punnituskertoja ja tarvittaessa, jos sen ilmoittamat tulokset vaihtelivat tai heiluivat samassa näytepalassa suuresti, tai se ei palautunut noltaan vaan näytti jotain muuta tulosta, vaikka sen päällä ei ollut mitään. Vaa`an tarkkuuden merkitys korostuu mitä pienempiä näytepalat ovat. Näytepaloja punnittaessa punnitus on hyvä toistaa ajoittain samalla näytepalalla 2-3 kertaa ja varmistua punnitusten tarkkuudesta. Huomionarvoista on myös kärsivällisyys punnituksessa: tulos kannattaa kirjata ylös vasta kun vaa`an lukema on selvästi pysähtynyt. Näytepaloissa ja varsinkin pienissä sellaisissa on tärkeää, että jos niistä irtoavia tikkuja yms. sälää irrottaa, tulee se tehdä ennen ensimmäisestä punnitusta, jotta niiden irtoaminen ja näytepalojen keveneminen tällä tavalla punnitusten välissä ei vaikuttaisi tulokseen.

Mitä enemmän näytepaloja otetaan, sitä kattavampi ja laajempi tieto kosteustilanteesta saadaan. Tällöin mittauksiin liittyvä työmäärä kasvaa. Tilanteen mukaan on tarkasteltava miten paljon ja miltä syvyydeltä näytepaloja otetaan. Näihin vaikuttavat esimerkiksi rakenteen koko, poikkileikkaus, rasitukset, kosteusrasitukset, rakenteen tuulettuvuus jne. Punnitus-kuivausmenetelmässä korostuu näytepaikkojen valinta, koska työskentely on hitaampaa. Merkittävästi mittauksiin vaikuttaa myös se, että mistä näytepaloja voi mittauskohteesta ottaa ja mihin näytepalanottoreikiä voidaan jättää vai paikataanko ne. Näihin vaikuttavat mittauskohteessa esimerkiksi se, että jääkö CLT:tä paljon näkyväksi pinnaksi. Mittauksia on hyvä olla myös kuivemmalta vertailualueelta, mutta oleellista on löytää kosteat ja kriittiset mittauspaikat.

Yleinen käsitys on, että kuivaus-punnitusmenetelmä on varmin tai totuudenmukaisin menetelmä. Sekin sisältää kuitenkin monia epävarmuustekijöitä, jotka tulee huomioida ja tiedostaa ja pyrkiä pienentämään niiden vaikutusta mittauksessa.

## 7.4 Kosteusmittauksiin vaikuttavia tekijöitä

### 7.4.1 Sahauksen vaikutus

Sahan lämpötilaa ei mitattu joka sahauksen jälkeen. Sahan lämpötila mitattiin heti sahauksen jälkeen ajoittain ja yhteensä 16 kertaa. Myöskään näytepalojen lämpötiloja ei mitattu joka sahauksen jälkeen, vaan ajoittain ja yhteensä 11 kertaa. Näytepalan lämpötila pystyttiin mittaamaan vasta kun se oli saatu irrotettua seinästä. Tämän takia sen lämpötila oli saattanut ehtiä laskea ennen mittausta. Taulukossa 7 on sahauksen aiheuttamia sahan ja näytepalojen lämpötiloja.

TAULUKKO 7. Sahauksen vaikutus sahan ja näytepalojen lämpötilaan.

	Saha	Mittauskohdan pinta	Mittauskohdan pinnan ero näytepalaan	Näytepala
Keskiarvo	77,9 °C	16,9 °C	22,1 °C	39,8 °C
Mediaani	78 °C	15,7 °C	23,2 °C	37 °C
Pienin yksittäinen tulos	60 °C	12,2 °C	8,1 °C	26 °C
Suurin yksittäinen tulos	104 °C	23 °C	28,3 °C	58 °C
Alueella 70-90 °C	69 %			
Alueella 30-50 °C				73 %

Sahaamisen aiheuttaman lämpötilan vaikutusta näytepalojen kosteuspitoisuuteen on vaikea arvioida tässä tutkimuksessa tarkasti. Sahan lämpötila nousi yli 100 °C:een vain kerran, kun sen lämpötiloja mitattiin. Kyseinen lämpötila mitattiin koko tutkimuksen toiseksi viimeisen mittauskohdan näytepalojen ottamisen yhteydessä. Saha oli kyseisessä tapauksessa kulunut sekä teriltään, että pinnoitteeltaan (kuva 33 kappaleessa 7.3) ja sahaus ei sujunut, mitkä aiheuttivat sen lämpötilan nousun. Kyseinen sahaus on voinut vaikuttaa sen kohdan näytepalan kosteuteen eniten tässä tutkimuksessa ja haihduttaa kosteutta näytepalasta.

Näytepalojen lämpötilat kohosivat sahauksen vaikutuksesta, mutta eivät kovin korkeiksi. Tämä saattoi johtua puun hyvästä lämmöneristävyydestä. Taulukossa 7 mittauskohdan pinnan ero näytepalaan arvot ovat suuntaa antavia, sillä näytepalan ja puun lämpötilaa ennen sahausta on voinut mitata vain CLT-levyn pinnasta. Näytepalojen lämpötila sahauksen jälkeen mitattiin niiden sivusta, mihin



saha on ollut kosketuksissa ja missä näytepalan lämpötila oli suurin. Näytepalan lämpötilaa verrattiin aina saman mittauskohdan pinnan lämpötilan mittaukseen.

Mitä tarkempia ja luotettavampia tuloksia haluaa, tulee sahan ja sahauksen laatuun kiinnittää huomiota, jos punnitus-kuivausmenetelmässä näytepalat otetaan sahaamalla. Sahauksen aiheuttaman lämpötilan nousun vaikutusta tulokseen voi pienentää vielä siten, että mahdollisimman nopeasti sahauksen jälkeen punnitsee näytepalat.

#### 7.4.2 Näytepalojen massa ja laatu

Taulukoissa 8 ja 9 on esitetty tietoa näytepalojen massoista. Näytepalojen massa vaihteli riippuen näytepalasta. Puun erilaiset ominaisuudet esimerkiksi oksakohdat, pihka ja vaihteleva tiheys tai huokoisuus ovat voineet vaikuttaa siihen, että massat eroavat jonkin verran. Näiden lisäksi osa näytepaloista ei välttämättä ollut juuri 20 mm paksuja, johtuen näytepalojen katkaisun epätarkkuudesta niin siinä vaiheessa, kun näytepalaa irrotettiin seinästä, kuin myös siinä vaiheessa, kun näytepalaa jaettiin pienempiin osiin. Mittauskohtien viidennet eli alueen 80–110 mm näytepalat olivat huomattavasti painavampia kuin muut näytepalat, koska ne olivat 30 mm paksuja.

TAULUKKO 8. Näytepalojen massat.

Keskiarvo	15,17 g
Mediaani	14,49 g
Pienin yksittäinen massa	8,62 g
Suurin yksittäinen massa	31,9 g

TAULUKKO 9 näytepalojen massat näytepalojen alueen mukaan.

	1.Näytepalat (0-20 mm)	2.Näytepalat (20-40 mm)	3.Näytepalat (40-60 mm)	4.Näytepalat (60-80 mm)	5.Näytepalat (80-110 mm)
Keskiarvo	13,57 g	14,86 g	13,28 g	15,42 g	19,42 g
Mediaani	13,50 g	14,7 g	13,26 g	14,53 g	18,52 g
Pienin	8,62 g	12,48 g	9,11 g	11,78 g	15,08 g
Isoin	16,35 g	20,15 g	17,33 g	21,33 g	31,9 g

Taulukoissa 10 ja 11 on esimerkit kahdesta raskaasta ja tiiviistä näytepalasta. Mittauskohtien 11 ja 13 ja viidennet (alueen 80-110 mm) palat olivat huomattavan painavia ja tiiviitä. Piikkimittaus niistä oli haastavaa ja ne saivat huomattavan alhaisen kosteuspitoisuustuloksen sekä kuivaus-punnitus-mittauksessa, että piikkimittauksessa näytepalasta. Tämä voi johtua niiden tiheydestä, paksuudesta (30 mm) tai ne ovat vain voineet pysyä suhteellisen kuivina, koska ne ovat CLT-levyn keskiosista.

TAULUKKO 10. näytepala 11.5.

Näytepala	Massa	Kosteuspitoisuus (kuivaus-punnitus)	Kosteuspitoisuus (piikkimittaus näytepalasta)
11.1	13,14 g	10,05 %	9,9 %
11.2	15,17 g	9,77 %	8,4 %
11.3	15,74 g	8,85 %	7 %
11.4	17,41 g	8,81 %	7,1 %
11.5 (tiivis/raskas pala)	27,1 g	6,73 %	5,5 %

TAULUKKO 11. näytepala 13.5.

Näytepala	Massa	Kosteuspitoisuus (kuivaus-punnitus)	Kosteuspitoisuus (piikkimittaus näytepalasta)
13.1	16,22 g	10,42 %	9,5 %
13.2	13,08 g	10,1 %	7,9 %
13.3	14,4 g	10,26 %	7,8 %
13.4	13,66 g	9,46 %	8,6 %
13.5 (tiivis/raskas pala)	31,9 g	6,8 %	4,2 %

Palat 11.5 ja 13.5 erosivat muista alueen 80-110 mm (viidensistä) paloista. Tämä voi johtua niiden ominaisuuksista tai siitä, että yksinkertaisesti niiden mittauskohta oli kuivempi verrattuna muihin. Taulukosta 12, jossa on koottuna viidensien (alueen 80-110 mm) näytepalojen kosteuspitoisuuksia ja massat, puuttuvat palat 1.5, 15.5 ja 17.5 koska mittauskohtien 1, 15 ja 17 näytepalan irrotus seinästä ei täysin onnistunut riittävältä syvyydeltä.

TAULUKKO 12. Viidensien (alueen 80-110 mm) näytepalojen tietoja.

Näytepala	Massa	Paksuus	Tiheys	Kosteuspitoisuus (kuivaus-punnitus)	Kosteuspitoisuus (piikkimittaus näytepalasta)
2.5	18,52 g	30 mm	302,2 kg/m <sup>3</sup>	9,59 %	7,8 %
3.5	15,5 g	25-27 mm	291,83 kg/m <sup>3</sup>	9,23 %	6,7 %
4.5	19,11 g	23-25 mm	389,78 kg/m <sup>3</sup>	9,89 %	7,7 %
5.5	16,18 g	22-27 mm	323,28 kg/m <sup>3</sup>	9,69 %	7,6 %
6.5	15,08 g	20-25 mm	328,09 kg/m <sup>3</sup>	9,20 %	5,7 %
7.5	16 g	22-25 mm	333,29 kg/m <sup>3</sup>	8,62 %	6,2 %
8.5	19,52 g	25-27 mm	367,52 kg/m <sup>3</sup>	9,11 %	7,3 %
9.5	17,59 g	24-26 mm	344,43 kg/m <sup>3</sup>	8,98 %	7,5 %
10.5	23,57 g	27 -30 mm	404,84 kg/m <sup>3</sup>	9,37 %	9,5 %
11.5	27,1 g	30-35 mm	408,18 kg/m <sup>3</sup>	6,73 %	5,5 %
12.5	16,78 g	25–30 mm	298,7 kg/m <sup>3</sup>	7,7 %	5,1 %
13,5	31,9 g	30 mm	520,52 kg/m <sup>3</sup>	6,8 %	4,2 %
14.5	19,11 g	28-30 mm	322,58 kg/m <sup>3</sup>	10,02 %	8,2 %
16.5	16,41 g	25-28 mm	303,13 kg/m <sup>3</sup>	9,77 %	9,2 %
18.5	19 g	23-26 mm	379,63 kg/m <sup>3</sup>	9,01 %	8,2 %
Keskiarvo	19,42 g		354,53 kg/m <sup>3</sup>	8,91 %	7,09 %
Mediaani	18,52 g		333,29 kg/m <sup>3</sup>	9,20 %	7,5 %

Taulukossa 12 näytepalojen tiheys on suuntaa antava ja näytepalojen massat ovat ensimmäisestä (työmaalla tehdystä) punnituksesta. Tiheys laskettiin näytepalan paksuuden keskiarvon avulla, koska näytepalat eivät olleet täydellisen lieiön muotoisia. Taulukossa 12 näytepalojen 11.5 ja 13.5 arvot erottuvat selvästi muista viidensien (alueen 80-110 mm) näytepalojen tuloksista ja myös selkeästi keskiarvo ja mediaani arvoista. 11.5 ja 13.5 näytepalojen lisäksi näytepala 10.5 oli varsin tiheä.

### 7.4.3 Näytepalojen kuljetus ja säilytys

18:sta mittauskohdasta 15:sta näytepalat säilytettiin kuljetuksen ajan tiiviisti suljetuissa minigrip-pusseissa. Näitä näytepaloja oli yhteensä 72. Kolmen mittauskohdan näytepalat säilytettiin kangaskassissa ja näitä näytepaloja oli yhteensä 15. Taulukossa 13 on esitetty paljonko näytepalojen massa muuttui eri säilytystavoilla.

TAULUKKO 13. Näytepalojen säilytys.

	Minigrip-pussi säilytys	Kangaskassi säilytys
Suurin yksittäinen muutos (muuttuneen massan osuus alkuperäisestä massasta)	0,05 g (0,38 %)	0,11 g (0,83 %)
Massa muuttunut 0-0,01 g	67 %	20 %
Massa muuttunut 0,02-0,05 g	33 %	80 %
Massa kasvanut	15 %	33 %
Massan muutoksen keskiarvo (g)	0,01	0,04
Massan muutoksen keskiarvo (%)	0,09	0,24
Massan muutoksen mediaani (g)	0,01	0,03
Massan muutoksen mediaani (%)	0,07	0,19
	Kaikki näytepalat	
Massan muutoksen keskiarvo (g)	0,02	
Massan muutoksen keskiarvo (%)	0,12	
Massan muutoksen mediaani (g)	0,01	
Massan muutoksen mediaani (%)	0,07	

Taulukossa 13 suurimman yksittäisen muutoksen kohdalla on merkitty sulkuihin, paljonko muutos on näytepalan alkuperäisestä massasta. Minigrip-pusseissa säilytettyjen näytepalojen massa muuttui vähemmän verrattuna kangaskassissa säilytettyihin. Kangaskassissa säilytetyissä näytepaloissa massa muuttui enemmän, mutta varsin vähän. Massan muutoksen merkitys on suurempi, mitä pienempiä näytepalat ovat. Esimerkiksi jos 20 g näytepalasta haihtuu 1 g kosteutta ja 30 g

näytepalasta haihtuu 1 g kosteutta, on 1 g kosteuden haihtuminen prosentuaalisesti merkittävästi suurempi 20 g näytepalasta, kuin 30 g näytepalasta. Kangaskassissa säilytettyjen massan kasvaminen oli yleisempää, kuin minigrip-pusseissa säilytetyissä. Ne pystyivät sekä luovuttamaan kosteutta, että vastaanottamaan sitä helpommin ympäröivän ilman kanssa. Myös osassa minigrip-pusseissa säilytetyissä näytepaloissa massa kasvoi. Ne saattoivat kerätä kosteutta ilmasta, jota oli jäänyt pussiin tai ne ovat voineet kerätä samassa pussissa samasta mittauskohdasta olleiden näytepalojen luovuttamaa kosteutta.

Erittäin suuri osa massan muutoksista oli 0,01 gramman suuruisia. Näistä osa saattoi johtua vaa`an tai mittauksen epätarkkuudesta, mutta varma tästä ei voi olla.

Kangaskassissa säilytetyt näytepalat eivät olleet täysin "vapaasti", sillä kangaskassia säilytettiin laukussa kuljetuksen ajan. Ne kuitenkin säilytettiin merkittävästi vapaammin, kuin minigrip-pusseissa olleet näytepalat.

Tämän tutkimuksen perusteella säilytystavan merkitys on pienehkö, mutta näytepalojen säilyttäminen kuljetuksen ajan tiivisti ja huolellisesti on suositeltavaa. Tällöin on mahdollista saada tarkempia tuloksia ja vähentää epävarmuutta mitaustuloksissa.

#### **7.4.4 Oksien ja pihkan vaikutus**

Taulukoissa 14 ja 15 on kaksi esimerkkiä näytepaloista, joiden pihkatasku on todennäköisesti vaikuttanut sekä kuivaus-punnitus-mittauksen, että piikkimittauksen kosteustulokseen.

TAULUKKO 14. Mittauskohta 5.

Näytepala	Kosteuspitoisuus (kui- vaus-punnitus)	Kosteuspitoisuus (piikkimittaus näyte- palasta)
5.1	10,06 %	7,8 %
5.2 (iso pihka tasku)	8,51 %	8 %
5.3	9,62 %	6,9 %
5.4	10,40 %	7,9 %
5.5	9,69 %	7,6 %



KUVA 35. Näytepala 5.2, jossa iso pihkatasku.



KUVA 36. Näytepala 5.2 sivusta.

TAULUKKO 15. Mittauskohta 6.

Näytepala	Kosteuspitoisuus (kuivaus-punnitus)	Kosteuspitoisuus (piikkimittaus näytepalasta)
6.1	10,50 %	7,5 %
6.2 (pihka tasku)	11,24 %	10,1 %
6.3	10,12 %	7,1 %
6.4	11,12 %	10,7 %
6.5	9,20 %	5,7 %



KUVA 37. Näytepala 6.2, jossa pihkaa.

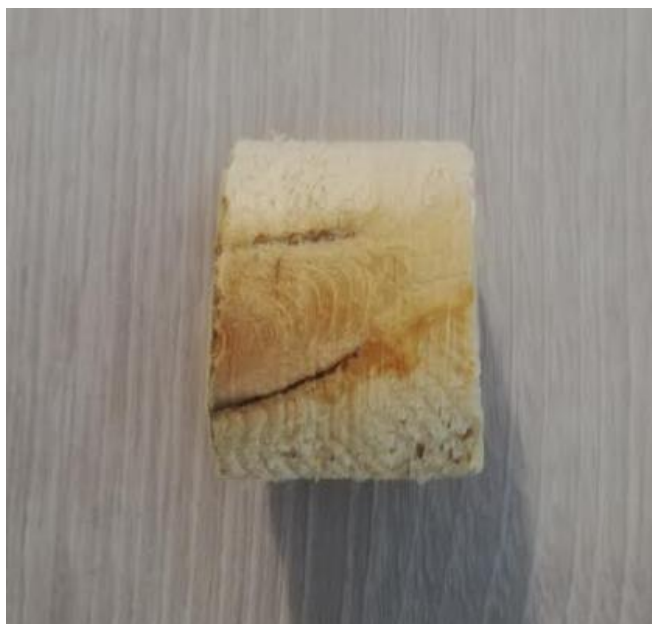
Mittauskohdassa 5 näytepala 5.2, jossa oli iso pihkatasku, sen kuivaus-punnitusmittauksen tulos erosi sen viereisistä näytepaloista 5.1 ja 5.3. Sen tulos laski 5.1 näytepalan jälkeen ja 5.3 näytepalan tulos taas nousi. Tämä on voinut johtua pihkataskusta tai kosteuspitoisuus ensimmäisessä lamellissa (palat 5.1 0-20 mm ja 5.2 20-40 mm) laski syvemmällä tai palojen 5.2 ja 5.3 välisestä liimasaumasta ja siitä, että ne olivat eri lamellikerroksista.

Mittauskohdassa 6 taas palan 6.2 kohdalla, jossa oli pieni pihka tasku, kosteuspitoisuus nousi viereisiin näytepaloihin 6.1 ja 6.3 verrattuna sekä kuivaus-punnitus-, että piikkimittauksessa. Tämä on voinut johtua samalla tapaa kuin kohdassa 5 lamellin kosteuspitoisuuden muuttumisesta eri syvyydellä tai lamellien välisestä saumasta.

Taulukoissa 16 ja 17 on esimerkkitapaukset mittauskohdista, joissa oksat ovat voineet vaikuttaa kosteusmittauksen tulokseen.

TAULUKKO 16. Mittauskohta 13.

Näytepala	Kosteuspitoisuus (kuivaus-punnitus)	Kosteuspitoisuus (piikkimittaus näytepalasta)
13.1	10,42 %	9,5 %
13.2	10,1 %	7,9 %
13.3	10,26 %	7,8 %
13.4 (pieni oksa)	9,46 %	8,6 %
13.5 (oksa, raskas ja tiivis pala)	6,8 %	4,2 %



KUVA 38. Näytepala 13.5, jossa oksa.

TAULUKKO 17. Mittauskohta 18.

Näytepala	Kosteuspitoisuus (kuivaus-punnitus)	Kosteuspitoisuus (piikkimittaus näytepalasta)
18.1 (pieni oksa)	8,06 %	6,2 %
18.2	7,46 %	6,2 %
18.3 (kaksi pientä oksaa)	7,52 %	5 %
18.4 (pieni oksa)	7,51 %	5,5 %
18.5	9,01 %	8,2 %

Mittauskohdassa 13 paloissa 13.4 ja 13.5 oli oksia, jotka ovat voineet vaikuttaa kosteustuloksiin. Niiden tulokset laskivat kuivaus-punnitus-mittauksessa edellisiin näytepaloihin verrattuna selvästi. Varsinkin 13.5 tulokset erosivat molemmilla mittaustavoilla muista paloista selkeästi. Kuten näytepaloissa, joissa oli pihkatasut, voi tässäkin tapauksessa kosteuspitoisuuden erot johtua yksinkertaisesti



siitä, että näytepalat olivat kaukana pinnasta ja palojen 13.4 ja 13.5 välissä oli sauma ja kolmas lamelli oli vastakkaiseen suuntaan ensimmäiseen ja toiseen lamelliin nähden, josta näytepala 13.5 oli.

Mittauskohdassa 18 neljän ensimmäisen näytepalan, joissa kolmesta oli oksia, kosteuspitoisuus erosi viimeisestä näytepalasta 18.5 molemmilla mittaustavoilla. Tässäkin tapauksessa kyse voi olla oksien vaikutuksesta mittaukseen tai kuten kohdassa 13, syvimmällä oleva pala oli kosteudeltaan erilainen, koska se oli eri lamellissa, joka oli myös vastakkaiseen suuntaan.

Oksat ja pihka ovat puulle ominaisia ominaisuuksia ja niitä on puussa aina. CLT-levyssä niiden määrä ja koko riippuu levyn laatuluokasta. Mitä luotettavampia mittauksia haluaa, tulee välttää tehdä mittauksia oksien ja pihkataskujen kohdalta. CLT:ssä tämä on mahdollista vain pintalamellin osalta, koska mittausta tehdessä ja näytepaloja ottaessa ei voida tietää osuuko pintalamellin takana olevissa lamellikerroksissa oksia tai pihkataskuja kohdalle. Tämä asiaa tulee vastaan myös muissa kerroksellisesti liimatuissa puutuotteissa.

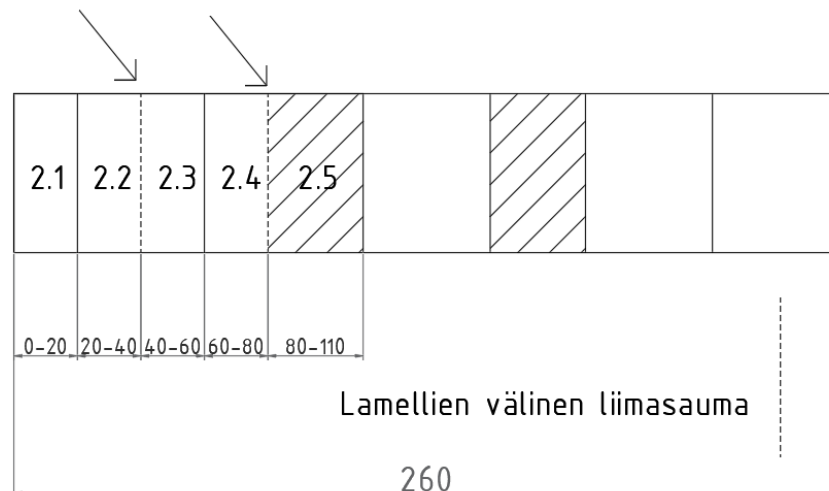
#### **7.4.5 CLT:n liimasaumojen vaikutus**

Taulukossa 18 on näytepalojen kosteuspitoisuuksien erot liimasauman eri puolilla olevien näytepalojen kesken. Siinä on koottuna kaikkien liimasaumojen eri puolilla olevien palojen kosteuspitoisuuksien ero, eli näytepalojen 2 (alue 20-40 mm) ja 3 (alue 40-60 mm), sekä 4 (60-80 mm) ja 5 (80-110 mm) välinen ero. Eli esimerkiksi mittauskohdan 2 näytepalojen 2.2 ja 2.3 kosteuspitoisuuksien ero oli laskettu, kuten myös näytepalojen 2.4 ja 2.5 välinen kosteuspitoisuuksien ero. Nämä samat erot oli laskettu joka mittauskohdassa.

TAULUKKO 18. Kosteuspitoisuuksien erot näytepaloissa liimasauman eri puolilla.

	Ero liimasauman eri puolilla kuivaus-punnitusmittauksessa (prosenttiyksikköä)	Ero liimasauman eri puolilla piikkimittauksessa näytepalasta (prosenttiyksikköä)
Keskiarvo ero kaikki liimasaumat	1,00	1,53
Mediaani ero kaikki liimasaumat	0,98	1,3
Suurin ero kaikki liimasaumat	2,66	5
Pienin ero kaikki liimasaumat	0	0
Keskiarvo ero palojen 2 ja 3 liimasauma	0,78	1,03
Mediaani ero palojen 2 ja 3 liimasauma	0,90	0,95
Suurin ero palojen 2 ja 3 liimasauma	1,62	3,1
Pienin ero palojen 2 ja 3 liimasauma	0,02	0
Keskiarvo ero palojen 4 ja 5 liimasauma	1,26	2,14
Mediaani ero palojen 4 ja 5 liimasauma	1,06	1,6
Suurin ero palojen 4 ja 5 liimasauma	2,66	5
Pienin ero palojen 4 ja 5 liimasauma	0	0,2

Liimasaumojen eri puolilla olevia paloja vertaillaan



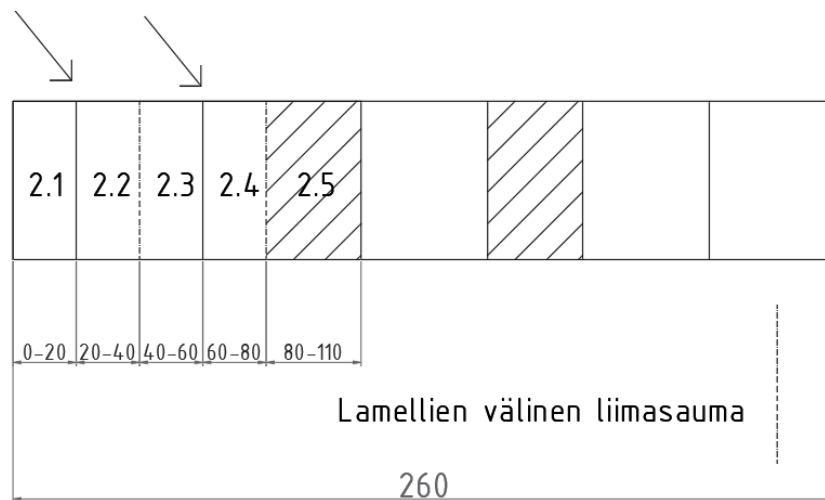
KUVA 39. Liimasaumojen eri puolilla olevat näytepalat, joita käsitellään taulukossa 18.

Taulukossa 19 on samasta lamellista olevien näytepalojen kosteuspitoisuuksien erot. Eli näytepalojen 1 (alue 0-20 mm) ja 2 (alue 20-40 mm) kosteuspitoisuuksien erot oli laskettu, kuten myös näytepalojen 3 (alue 40-60 mm) ja 4 (alue 60-80 mm) kosteuspitoisuuksien erot. Eli esimerkiksi mittauskohdassa 2 näytepalojen 2.1 ja 2.2 kosteuspitoisuuksien ero oli laskettu, kuten myös näytepalojen 2.3 ja 2.4 välinen kosteuspitoisuuksien ero. Nämä samat erot oli laskettu joka mittauskohdassa.

TAULUKKO 19. Kosteuspitoisuuksien erot näytepaloissa samassa lamellissa.

	Ero näytepaloissa samassa lamellissa kuivaus-punnitus-mittauksessa (prosenttiyksikköä)	Ero näytepaloissa samassa lamellissa piikki-mittauksessa näytepalasta (prosenttiyksikköä)
Keskiarvo ero kaikkien lamellien sisällä	0,52	0,86
Mediaani ero kaikkien lamellien sisällä	0,52	0,5
Suurin ero kaikkien lamellien sisällä	1,55	3,6
Pienin ero kaikkien lamellien sisällä	0,01	0
Keskiarvo ero palojen 1 ja 2 välillä	0,55	0,83
Mediaani ero palojen 1 ja 2 välillä	0,55	0,5
Suurin ero palojen 1 ja 2 välillä	1,55	2,7
Pienin ero palojen 1 ja 2 välillä	0,02	0
Keskiarvo ero palojen 3 ja 4 välillä	0,49	0,88
Mediaani ero palojen 3 ja 4 välillä	0,52	0,55
Suurin ero palojen 3 ja 4 välillä	1	3,6
Pienin ero palojen 3 ja 4 välillä	0,01	0,1

Samasta lamellikerroksesta olevien palojen kosteuspitoisuutta vertaillaan



KUVA 40. Samasta lamellikerroksesta olevat näytepalat, joita käsitellään taulukossa 19.

Taulukossa 20 on kaikkien näytepalojen välisten kosteuspitoisuuksien erot. Esimerkiksi mittauskohdassa 2 näytepalojen 2.1 ja 2.2 välinen kosteuspitoisuuksien ero, näytepalojen 2.2 ja 2.3 välinen kosteuspitoisuuksien ero, näytepalojen 2.3 ja 2.4 välinen kosteuspitoisuuksien ero ja näytepalojen 2.4 ja 2.5 välinen kosteuspitoisuuksien ero. Nämä erot oli laskettu joka mittauskohdassa. Mittauskohdissa, joista puuttui viides näytepala (alue 80-110 mm), ei voitu laskea neljännen ja viidennen näytepalan eroa.

TAULUKKO 20. Kosteuspitoisuuksien ero kaikkien näytepalojen välillä.

	Ero kaikkien näytepalojen välillä kuivaus-punnitus-mittauksessa (prosenttiyksikköä)	Ero kaikkien näytepalojen välillä piikkimittauksessa näytepalasta (prosenttiyksikköä)
Keskiarvo	0,75	1,18
Mediaani	0,74	0,8
Suurin	2,66	5
Pienin	0	0

Taulukossa 21 on vertailtu liimasaumojen eri puolilla olevien näytepalojen kosteuspitoisuuksien eroja samasta lamellista olevien näytepalojen kosteuspitoisuuksien eroihin.

TAULUKKO 21. Liimasaumojen eri puolien näytepalojen kosteuspitoisuuksien erot verrattuna samasta lamellista olevien näytepalojen eroihin.

	Ero liimasauman eri puolilla kuivaus-punnitus-mittauksessa (prosenttiyksikköä)	Ero liimasauman eri puolilla piikkimittauksessa näytepalasta (prosenttiyksikköä)	Ero näytepaloissa samassa lamellissa kuivaus-punnitus-mittauksessa (prosenttiyksikköä)	Ero näytepaloissa samassa lamellissa piikkimittauksessa näytepalasta (prosenttiyksikköä)
Keskiarvo ero	1,00	1,53	0,52	0,86
Mediaani ero	0,98	1,3	0,52	0,5

Liimasaumojen eri puolilla olevien näytepalojen kosteuspitoisuuksien erot olivat keskimäärin hieman suurempia, kuin samasta lamellista olevien näytepalojen kosteuspitoisuuksien ero. Liimasaumojen eripuolilla olevien näytepalojen keskimääräinen ero oli kuivaus-punnitus-mittauksessa 1,00 prosenttiyksikköä ja samasta lamellista olevien näytepalojen keskimääräinen ero oli kuivaus-punnitus-mittauksessa 0,52 prosenttiyksikköä. Mediaani ero oli liimasaumoissa 0,98 prosenttiyksikköä ja lamellin sisällä 0,52 prosenttiyksikköä. Piikkimittauksessa näytepalasta erot olivat suurempia, kuin kuivaus-punnitus-mittauksessa. Liimasaumassa keskiarvo ero oli 1,53 prosenttiyksikköä ja mediaani ero 1,3 prosenttiyksikköä. Lamellien sisällä keskiarvo ero oli 0,86 prosenttiyksikköä ja mediaani ero 0,5 prosenttiyksikköä.

Liimasauman eri puolilla olevien näytepalojen isompi kosteuspitoisuuksien ero suhteessa saman lamellin sisällä olevien näytepalojen kosteuspitoisuuksien eroon on voinut johtua saumasta itsestään. Lamellit kostuvat ja kuivuvat helpoiten ja nopeimmin syiden suunnassa ja täten eri lamelleissa voi olla erilainen kosteuspitoisuus. Lamellit kastuvat ja kuivuvat nopeimmin siis levyn reunoista poikileikkauspinnoiltaan, eikä kosteus välttämättä siirry suuresti lamellista toiseen syysuunnan vastaisesti saumojen yli. Liimasaumat eivät estä tai hidasta syiden suunnassa tapahtuvaa kosteudensiirtymistä. Erot voivat toki johtua myös liimasta, jos se esimerkiksi estää tai hidastaa kosteuden siirtymistä CLT-levyn ulkolamellilta sisemmäs. Tällä tutkimuksella ei voida tarkasti määrittellä kosteuden siirtymistä CLT-levyssä. Vaikka eri lamelleista olevien näytepalojen kosteuspitoi-

suuksien ero on suurempi, kuin samasta lamellista olevien näytepalojen kosteuspitoisuuksien ero, on ero niissä kuitenkin varsin pieni. Kosteassa tai äskettäin kastuneessa CLT-levyssä erot voivat ehkä mahdollisesti olla isommat.

Taulukossa 22 on vertailtu näytepalojen 4 ja 5 kosteuspitoisuuksien eroja näytepalojen 2 ja 3 kosteuspitoisuuksien eroihin.

TAULUKKO 22. Näytepalojen 4 ja 5 kosteuspitoisuuksien erot verrattuna näytepalojen 2 ja 3 kosteuspitoisuuksien eroihin.

	Näytepalojen 4 ja 5 kosteuspitoisuuksien ero kuivaus-punnitus-mittauksessa (prosenttiyksikköä)	Näytepalojen 4 ja 5 kosteuspitoisuuksien ero piikkimittauksessa näytepalasta (prosenttiyksikköä)	Näytepalojen 2 ja 3 kosteuspitoisuuksien ero kuivaus-punnitus-mittauksessa (prosenttiyksikköä)	Näytepalojen 2 ja 3 kosteuspitoisuuksien ero piikkimittauksessa näytepalasta (prosenttiyksikköä)
Keskiarvo ero	1,26	2,14	0,78	1,03
Mediaani ero	1,06	1,6	0,90	0,95

Liimasaumoissa oli myös hieman eroa. Näytepalojen 4 (alue 60-80 mm) ja 5 (alue 80-110 mm) kosteuspitoisuuksien ero oli keskimäärin suurempi kuin näytepalojen 2 (alue 20-40 mm) ja 3 (alue 40-60 mm) kosteuspitoisuuksien ero. Näytepalojen 4 ja 5 välinen ero oli kuivaus-punnitus-mittauksessa keskimäärin 1,26 prosenttiyksikköä ja näytepalojen 2 ja 3 välinen ero oli keskimäärin kuivaus-punnitus-mittauksessa 0,78 prosenttiyksikköä. Mediaani ero näytepalojen 4 ja 5 välillä kuivaus-punnitus-mittauksessa oli 1,06 prosenttiyksikköä ja näytepalojen 2 ja 3 välillä mediaani ero kuivaus-punnitus-mittauksessa oli 0,90 prosenttiyksikköä. Molemmissa saumaväleissä piikkimittauksessa näytepalasta erot olivat suurempia. Näytepalojen 4 ja 5 välillä keskiarvo ero oli 2,14 prosenttiyksikköä ja mediaani ero 1,6 prosenttiyksikköä. Näytepalojen 2 ja 3 välillä keskiarvo ero oli 1,03 prosenttiyksikköä ja mediaani ero 0,95 prosenttiyksikköä.

Näytepalojen 4 ja 5 välinen kosteuspitoisuuksien ero oli suurempi, kuin näytepalojen 2 ja 3 välinen kosteuspitoisuuksien ero. Näytepalojen 5 kosteuspitoisuus oli muutenkin selvästi alhaisempi verrattuna muihin näytepaloihin ja sen viereisiin neljänsiin näytepaloihin (taulukot 32 ja 33 kappale 9.1). Tässä liimasaumassa oleva ero on voinut johtua siitä, että se oli syvemmällä CLT-levyssä ja kosteutta

ei ollut päässyt niin syvälle yhtä paljon, kuin ulompana oleviin lamelleihin. Viiden-  
net näytepalat olivat CLT-levyn kolmannesta lamellista, jossa syysuunta oli poi-  
kittain verrattuna ensimmäiseen ja toiseen lamelliin. Sen hieman enemmän  
eroava kosteuspitoisuus on voinut johtua myös siitä. Se kastuu ja kuivuu helpoi-  
ten eri suunnassa, kuin ensimmäinen ja toinen lamelli.

Taulukossa 23 on vertailtu näytepalojen 1 ja 2 kosteuspitoisuuksien eroja näyte-  
palojen 3 ja 4 kosteuspitoisuuksien eroihin.

TAULUKKO 23. Näytepalojen 1 ja 2 kosteuspitoisuuksien erot verrattuna näyte-  
palojen 3 ja 4 kosteuspitoisuuksien eroihin.

	Näytepalojen 1 ja 2 kos- teuspitoisuuksien ero kui- vaus-punni- tus-mittauk- sessa (pro- senttiyksik- köä)	Näytepalojen 1 ja 2 kos- teuspitoisuuksien ero piik- kimittauk- sessa näyte- palasta (pro- senttiyksik- köä)	Näytepalojen 3 ja 4 kos- teuspitoisuuksien ero kui- vaus-punni- tus-mittauk- sessa (pro- senttiyksik- köä)	Näytepalojen 3 ja 4 kos- teuspitoisuuksien ero piik- kimittauk- sessa näyte- palasta (pro- senttiyksik- köä)
Keskiarvo ero	0,55	0,83	0,49	0,88
Mediaani ero	0,55	0,5	0,52	0,55

Lamellien sisällä näytepalojen 1 (alue 0-20 mm) ja 2 (alue 20-40 m) välinen kos-  
teuspitoisuuksien ero ja näytepalojen 3 (alue 40-60 mm) ja 4 (alue 60-80 mm)  
välinen kosteuspitoisuuksien ero ei keskimäärin eronnut paljoa. Näytepalojen 1  
ja 2 välinen ero kuivaus-punnitus-mittauksessa oli keskimäärin 0,55 prosenttiyksik-  
köä ja näytepalojen 3 ja 4 välillä ero kuivaus-punnitus-mittauksessa oli keski-  
määrin 0,49 prosenttiyksikköä. Näytepalojen 1 ja 2 välillä mediaani ero oli 0,55  
prosenttiyksikköä ja näytepalojen 3 ja 4 välillä mediaani ero oli 0,52 prosenttiyksik-  
köä. Piikkimittauksessa näytepalasta erot olivat suurempia. Näytepalojen 1 ja  
2 välillä piikkimittauksessa näytepalasta ero oli keskimäärin 0,83 prosenttiyksik-  
köä ja mediaani ero oli 0,5 prosenttiyksikköä. Näytepalojen 3 ja 4 välillä ero oli  
keskimäärin 0,88 prosenttiyksikköä ja mediaani ero oli 0,55 prosenttiyksikköä.

Kahden eri lamellin sisällä olevat kosteuspitoisuuksien erot eivät eronneet toisis-  
taan lähes lainkaan. Saman lamellin sisällä olevat näytepalat erosivat toisistaan  
varsin vähän.

## 8 Tulokset

### 8.1 Kuivaus-punnitus-mittauksen ero piikkimittaukseen näytepalasta

Kunkin näytepalan kuivaus-punnitus-mittauksessa saatua kosteuspitoisuutta verrattiin siitä otettuun piikkimittaukseen. Näytepaloja oli yhteensä 87. Taulukossa 24 on verrattu kuivaus-punnitus-mittauksen tuloksia piikkimittauksiin näytepaloista.

TAULUKKO 24. Kuivaus-punnitus-mittaus verrattuna piikkimittaukseen näytepalasta.

Suurin yksittäinen ero	3,56 prosenttiyksikköä
Ero alle 1 prosenttiyksikköä	37 %
Ero 1-2 prosenttiyksikköä	37 %
Ero yli 2 prosenttiyksikköä	25 %
Ero yli 3 prosenttiyksikköä	7 %
Keskiarvo ero	1,41 prosenttiyksikköä
Mediaani ero	1,23 prosenttiyksikköä

Kuivaus-punnitus-mittausten ja piikkimittauksen näytepaloista erot pysyivät suurimmassa osassa näytepaloissa maltillisina. 74 % mittauksista pysyivät toisistaan alle 2 prosenttiyksikön sisällä. Neljäsosa tuloksista erosi yli 2 prosenttiyksikköä ja muutamat yksittäiset yli 3 prosenttiyksikköä. Mittaustapojen ero ei ollut suuri, mutta merkittävää on, että millä kosteusalueella mitattava puu on. Jos mittaus tapahtuu puun kosteuden ollessa noin 10 %, ei esimerkiksi 3 prosenttiyksikön ero ole niin merkittävä, kuin puun kosteuden ollessa noin 20 % tai lähellä sitä, jota pidetään puun vaurioitumisen kannalta kriittisenä rajana.

Piikkimittauksella näytepalasta saatiin 95 % näytepaloissa pienempi kosteuspitoisuus kuin kuivaus-punnitus-mittauksella. Tämä on voinut johtua piikkimittarin kalibroinnista, sillä mittari antoi suhteellisen tasaisesti alhaisempia tuloksia, kuin punnitus-kuivaus-mittaus, eikä piikkimittauksen tulokset olleet molemmin puolin kuivaus-punnitus-mittauksen tuloksia.

Kuivaus-punnitus- ja piikkimittaus näytepalasta olivat suurimmassa osaa mittauskohtia samansuuntaisia selkeästi tai osittain. Esimerkiksi mittauskohdassa, jossa



tulokset olivat samansuuntaisia, molempien tulokset laskivat ensimmäisestä palasta viimeiseen mentäessä, nousivat ensimmäisestä palasta viimeiseen mentäessä tai jos yksittäisessä näytepalassa mittauskohdan keskellä tapahtui nousu tai lasku, se tapahtui kummallakin menetelmällä. Taulukossa 25 mittauskohdat on jaoteltu siten, että kaikki näytepalat samansuuntaisia, kuten edellä kuvailtiin, neljä viidestä samansuuntaisia eli yksi näytepala toisella mittausmenetelmällä poikkeaa toisen mittausmenetelmän tuloksista, kolme viidestä samansuuntaisia eli kaksi näytepalaa toisella mittausmenetelmällä poikkeaa toisen mittausmenetelmän tuloksista jne.

TAULUKKO 25. Mittaustuloksien samansuuntaisuus.

	Osuus mittauskohdista	Osuus mittauskohdista (%)
5 näytepalaa samansuuntaisia	2/18	11
4 näytepalaa samansuuntaisia*	10/18	56
3 näytepalaa samansuuntaisia	4/18	22
2 näytepalaa samansuuntaisia	1/18	6
1 näytepalaa samansuuntaisia**	1/18	6
0 näytepalaa samansuuntaisia	0/18	0

\*laskettu myös 2 mittauskohtaa, joista 4 näytepalaa, joissa yksi näytepala neljästä ei ole johdonmukainen

\*\*laskettu mittauskohta, josta 4 näytepalaa, jossa kolme neljästä näytepalasta ei ole johdonmukaisia

Kaksi kolmasosaa (12/18) mittauskohdista oli viiden tai neljän näytepalan osalta samansuuntaisia. Kahdessa mittauskohdassa tulokset olivat hyvin erisuuntaisia, niissä vain kaksi tai yksi näytepalaa olivat samansuuntaisia. Pääsääntöisesti mitaustulokset kuivaus-punnitus-mittauksessa ja piikkimittauksessa näytepalasta olivat samansuuntaisia.

## 8.2 Piikkimittaus pinnasta ero piikkimittaukseen näytepalasta

Mittauskohtien pinnasta tehtyjä piikkimittauksia verrattiin kunkin kohdan ensimmäisestä (alueen 0-20 mm) näytepalasta otettuun piikkimittaukseen. Mittauskohtia ja ensimmäisiä näytepaloja oli kokonaisuudessaan 18, piikkimittaus pinnasta tehtiin joka mittauskohdassa 3 kertaa, joten vertauksia oli yhteensä 54. Taulukossa 26 on verrattu piikkimittauksia pinnasta piikkimittauksiin näytepaloista.

TAULUKKO 26. Piikkimittauspinnasta ero piikkimittaukseen näytepalasta.

Suurin yksittäinen ero	1,6 prosenttiyksikköä
Ero alle 0,5 prosenttiyksikköä	83 %
Ero yli 0,5 prosenttiyksikköä	17 %
Ero yli 1 prosenttiyksikköä	9 %
Keskiarvo ero	0,33 prosenttiyksikköä
Mediaani ero	0,2 prosenttiyksikköä

Piikkimittauksen pinnasta ero piikkimittaukseen kaikista pinnalla olevimpiin näytepaloihin oli varsin pieni. Mittausten suoritus eroaa vain siten, että piikkimittaus pinnasta suoritettiin aivan ensimmäisenä ja piikkimittaus näytepalasta sahauksen ja näytepalojen katkaisun jälkeen. Suurin osa mittauksista erosi alle 0,5 prosenttiyksikköä. 0,5 prosenttiyksikön eron ylitykset tapahtuivat neljässä mittauskohdassa 18:sta.

### 8.2.1 Sahauksen vaikutus piikkimittaustuloksiin

Taulukossa 27 on vertailtu piikkimittauksien näytepaloista suhdetta piikkimittauksiin pinnasta.

TAULUKKO 27. Piikkimittaus näytepalasta suhde piikkimittauksiin pinnasta mittauskohdittain.

	Osuus mittauskohdista
Piikkimittaus näytepalasta suurempi kuin piikkimittaukset pinnasta	9/18
Piikkimittaukset pinnasta molemmin puolin piikkimittausta näytepalasta	4/18
Piikkimittaus näytepalasta pienempi kuin piikkimittaukset pinnasta	5/18

Yhdeksässä mittauskohdassa 18:sta näytepalasta mitattu piikkimittauksen tulos oli suurempi kuin piikkimittausten pinnasta. Tähän joukkoon laskettiin mukaan myös kohdat, joissa yksi pinnan piikkimittaus oli yhtä suuri ja muut olivat pienempiä. Neljässä kohdassa 18:sta pinnan piikkimittauksen tulokset olivat molemmin puolin piikkimittauksen tulosta näytepalasta. Viidessä kohdassa 18:sta piikkimittaus näytepalasta tulos oli pienempi kuin piikkimittaukset pinnasta. Tähän joukkoon laskettiin mukaan myös kohdat, joissa yksi pinnan piikkimittaus oli yhtä suuri ja muut olivat suurempia.

Näiden tulosten perusteella on vaikea arvioida, kuinka sahaus on vaikuttanut kosteuspitoisuuteen näytepaloissa. Verrattuna piikkimittaukseen pinnasta, piikkimittaukset näytepaloista olivat sekä suurempia, että pienempiä kosteuspitoisuudeltaan. Voi myös olla, että sahaus ei ole vaikuttanut suuresti pinnalla olevaan näytepalaan, koska sen kohdan saha ylitti nopeasti ja saha ei ollut välttämättä vielä ehtinyt lämmentä paljoa.

### 8.3 Piikkimittauspinnasta ero keskenään samasta kohdasta

Jokaisessa mittauskohdassa tehtyjä piikkimittauksia pinnasta verrattiin toisiinsa ja tutkittiin paljonko samasta kohdasta tehdyt piikkimittaukset erosivat toisistaan. Mittauskohtia oli yhteensä 18 ja piikkimittaus pinnasta tehtiin kolme kertaa joka kohdasta, joten vertauksia oli yhteensä 54. Taulukossa 28 on verrattu samasta kohdasta tehtyjä piikkimittauksia pinnasta.

TAULUKKO 28. Piikkimittauspinnasta ero keskenään samasta kohdasta.

Suurin yksittäinen ero	1 prosenttiyksikköä
Ero 0 prosenttiyksikköä	24 %
Ero alle 0,5 prosenttiyksikköä	91 %
Ero 0,5 tai yli prosenttiyksikköä	9 %
Ero 1 tai yli prosenttiyksikköä	2 %
Keskiarvo ero	0,2 prosenttiyksikköä
Mediaani ero	0,1 prosenttiyksikköä

Samasta kohdasta kolmeen kertaan tehdyt piikkimittaukset erosivat toisistaan jonkin verran, mutta eivät paljoa. Suurin yksittäinen ero samasta kohdasta tehdyissä piikkimittauksissa oli 1 prosenttiyksikköä. 15:sta mittauskohdasta 18:sta

piikkimittaukset pysyivät toisistaan 0,4 prosenttiyksikön sisällä. Mittauskohdassa, jossa tuloksilla oli isoin hajonta, tulokset olivat 8,0 %, 7,6 % ja 8,6 %.

#### 8.4 Piikkimittaus pinnasta ero kuivaus-punnitus-mittaukseen

Kunkin mittauskohdan ensimmäisen näytepalan (alueen 0-20 mm) kuivaus-punnitus-mittauksen tulosta verrattiin saman mittauskohdan piikkimittauksiin pinnasta. Piikkimittauspinnasta tehtiin 3 kertaa, joten verrattavia tuloksia oli yhteensä 54. Taulukossa 29 on verrattu piikkimittauksia pinnasta kuivaus-punnitus-mittaukseen.

TAULUKKO 29. Piikkimittaus pinnasta ero kuivaus-punnitus-mittaukseen.

Suurin yksittäinen ero	2,8 prosenttiyksikköä
Ero alle 1 prosenttiyksikköä	30 %
Ero 1-2 prosenttiyksikköä	46 %
Ero yli 2 prosenttiyksikköä	24 %
Keskiarvo ero	1,50 prosenttiyksikköä
Mediaani ero	1,36 prosenttiyksikköä

Kaikki piikkimittaukset pinnasta antoivat pienemmän tuloksen kuin kuivaus-punnitus-mittauksen tulokset. Tämä kertoo, että mittaustulokset olivat tasaisia suhteessa toisiinsa eri menetelmillä. Tämä on voinut johtua myös piikkimittarin kalibroinnista. Mittaustuloksissa oli eroa, mutta ne olivat kohtuullisia. Kuten vertailtiin aiemmin kuivaus-punnitus-mittauksen eroa piikkimittaukseen näytepalasta, mittaustapojen tulosten ero korostuu riippuen millä puun kosteusalueella mittausta suoritetaan.

#### 8.5 WM1-WAN-mittarin ero muihin mittausmenetelmiin

WM1-WAN-mittarien tuloksia on verrattu muihin mittausmenetelmiin taulukoissa 30 ja 31.

TAULUKKO 30. WM1-WAN-mittarien tulokset verrattuna mittauskohtiin 1 ja 2.

	WM1-WAN kosteuspitoi- suus	Ero kuiv.- pun. (pro- senttiyksik- köä)	Ero piik.mit. pinnasta (pro- senttiyksik- köä)	Ero piik.mit. näytepalasta (prosenttiyksik- köä)
Keittiö k01 (Verrattu mit- tauskohtaan 1)				
B n. 12 mm	14,17 %	1,79	4,27; 4,27; 4,27	4,07
A n. 50 mm	18,59 %	7,36		8,99
Ruokala k01 (Verrattu mit- tauskohtaan 2)				
B n. 12 mm	11,61 %	0,46	1,81; 1,81; 2,31	1,91
A n. 50 mm	14,03 %	3,39		3,73

TAULUKKO 31. WM1-WAN-mittarien tulokset verrattuna mittauskohtiin 14 ja 15.

	WM1-WAN kosteuspitoi- suus	Ero kuiv.- pun. prosent- tiyksikköä)	Ero piik.mit. pinnasta pro- senttiyksik- köä)	Ero piik.mit. näytepalasta prosenttiyksik- köä)
Keittiö k01 (Verrattu mit- tauskohtaan 14)				
B n. 12 mm	14,13 %	3,09	4,23; 4,33; 4,33	4,23
A n. 50 mm	7,29 %	4,30		2,21
Keittiö k01 (Verrattu mit- tauskohtaan 15)				
B n. 12 mm	14,13 %	2,41	3,33; 3,33; 3,23	3,03
A n. 50 mm	7,29 %	5,26		3,51

WM1-WAN-mittarien mittaamat kosteuspitoisuudet erosivat paljon muiden tarkasteltavien mittauskohtien tuloksista. Ne mittasivat jonkin verran selvästi kosteampia tuloksia, kuin muilla menetelmillä saatiin tulokseksi. Mittauskohdassa, missä WM1-WAN-mittarit olivat, WM1-WAN-mittarit olivat lähellä betonia ja CLT-levyn alareunassa. Muut mittausmenetelmät samassa mittauskohdassa tehtiin aivan WM1-WAN-mittarien yläpuolelta ja vierestä. CLT-levyssä on voinut olla lähellä sen alareunaa paikallisia eroja kosteudessa, mistä erot ovat voineet johtua.

Erot ovat voineet johtua myös piikkimittaustapojen erilaisista eristyksistä. Perinteinen piikkimittari oli eristämätön, kun taas jatkuvatoiminen mittari oli eristetty. Jatkuvatoiminen piikkimittari mittasi aivan ruuvien kärjestä, kun taas perinteinen piikkimittari mittasi 8 mm alueelta. Eroa myös kuivaus-punnitus-mittaukseen on voinut aiheuttaa edellä mainittu asia. Näytepalat olivat hyvin leveitä verrattuna jatkuvatoimisen piikkimittauksen aivan pieneen mittausalueeseen.

Muilla menetelmillä tulokset olivat hyvin kuivia koko tutkimuksen ajan, eikä muiden menetelmien mukaan suuria muutoksia ollut kosteuspitoisuuksissa. Koska otanta WM1-WAN-mittarien tuloksista tässä tutkimuksessa oli pieni, ei niiden vertailusta muihin kosteudenmittausmenetelmiin voinut tehdä suuria johtopäätöksiä ja mittarista tarvitaan enemmän kokemuksia.

## **8.6 Yhteenveto mittausten menetelmien vertailusta**

Rinnakkaiset mittausten menetelmät eli esimerkiksi kosteusmittauksissa kahden eri menetelmän käyttäminen tuo varmuutta mittauksiin. Tällöin mittaukset eivät ole yhden mittaustavan varassa, vaan tuloksille saadaan parempi varmuus, kun molemmat tai useammat mittaustavat antavat lähellä toisiaan olevia tuloksia. Jos tulokset eroavat paljon, voidaan tutkia, mistä tämä johtuu. Jos käytetään vain yhtä mittaustapaa, ei välttämättä huomata niin helposti, jos sen tulokset ovatkin epätarkkoja.

Eri kosteusmittausmenetelmien kosteustuloksien erojen merkitys korostuu puun eri kosteusalueilla. Noin 10 %:n puun kosteusalueella esimerkiksi 3 prosenttisyksikön epätarkkuus ei ole välttämättä niin vakava, kuin puun noin 20 %:n kosteusalueella.

Lähes kaikki piikkimittauksista saadut kosteuspitoisuudet olivat alhaisempia, kuin kuivaus-punnitus-mittauksesta saadut kosteuspitoisuudet. Piikkimittauksien tulokset ovat kuitenkin pääsääntöisesti varsin lähellä ja tasaisesti kuivaus-punnitusmittauksen tuloksia.

Piikkimittauksien pinnasta tuloksien erot piikkimittauksiin pinnan (alueen 0-20 mm) näytepalasta olivat pieniä. Näiden mittauksien välissä oli näytepalojen sahaus seinästä. Tulokset olivat toisiinsa nähden molemmin puolin, eli piikkimittaukset pinnasta olivat sekä pienempiä, että isompia kuin piikkimittaukset näytepalasta. Tämän perusteella sahauksen vaikutuksesta on vaikea tehdä johtopäätöksiä. Lisäksi saha ei välttämättä lämmittänyt pinnan (alueen 0-20 mm) näytepaloja paljoa, koska sahauksen alku oli varsin sujuva näytepalojen sahauksessa.

WM1-WAN-mittarien tulokset erosivat muista mittausmenetelmistä paljon. Niiden otanta oli pieni, joten niiden tuloksien eroista muihin mittausmenetelmiin ei voida tehdä suurempia johtopäätöksiä.

## 9 Pohdintaa mittauksista

### 9.1 Kokemuksia ja pohdintaa tuloksista

Taulukoissa 32,33,34 ja 35 on koottuna eri mittausmenetelmien kosteustulokset koko tutkimuksen ajalta.

TAULUKKO 32. Näytepalojen kosteuspitoisuudet kuivaus-punnitus-mittauksella.

	Kaikki näytepalat	1.näytepalat (0-20 mm)	2.näytepalat (20-40 mm)	3.näytepalat (40-60 mm)	4.näytepalat (60-80 mm)	5.näytepalat (80-110 mm)
Keskiarvo (%)	10,11	10,73	10,31	10,31	10,07	8,91
Mediaani (%)	10,12	10,58	10,45	10,34	10,06	9,20
Suurin (%)	12,76	12,76	12,21	12,55	11,76	10,02
Pienin (%)	6,73	8,06	7,46	7,52	7,51	6,73

TAULUKKO 33. Näytepalojen kosteuspitoisuudet piikkimittauksella näytepalloista.

	Kaikki näytepalat	1.näytepalat (0-20 mm)	2.näytepalat (20-40 mm)	3.näytepalat (40-60 mm)	4.näytepalat (60-80 mm)	5.näytepalat (80-110 mm)
Keskiarvo (%)	8,70	9,21	9,33	8,49	9,13	7,09
Mediaani (%)	8,90	9,50	9,45	8,75	8,95	7,50
Suurin (%)	11,7	11,1	11,7	10,8	11,7	9,5
Pienin (%)	4,2	6,2	6,2	5	5,5	4,2

TAULUKKO 34. Piikkimittauksien pinnasta kosteuspitoisuudet.

Keskiarvo (%)	9,23
Mediaani (%)	9,65
Suurin (%)	10,9
Pienin (%)	6,8



TAULUKKO 35. WM1-WAN-mittarien mittaamat kosteuspitoisuudet.

Mittauskohta	1	2	14	15
12 mm	14,17	11,61	14,13	14,13
50 mm	18,59	14,03	7,29	7,29

Koko tutkimuksen ajan mittaustulokset olivat varsin kuivia. WM1-WAN-mittarit mittasivat hieman kosteampia tuloksia. Mittausolosuhteet ja -paikat olivat kuivia. Mittauksia ei ollut erittäin kosteista paikoista. Mittauspaikkojen valintaan vaikutti ja rajoitti näkyviin jäävät pinnat. Mittauskohteessa CLT-levyä jää paljon näkyville, joten näkyviin jäävistä seinistä mittauksia ei suoritettu. Mittaukset suoritettiin ulkoseinän CLT-levystä kohdista, jossa se ei jää näkyväksi pinnaksi.

Varsin kuivat tulokset toisaalta kertovat, että mitatut rakenteet olivat päässeet hyvin kuivumaan ja pysyneet varsin kuivina. Tämä on ollut mahdollista, koska mitausten aikaan ulkoseinä koostui ainoastaan CLT-levystä. Varsin kuivat tulokset johtuivat myös siitä, että mittaukset suoritettiin ulkoseinän CLT-levyn sisäpinnalta, mikä oli suojassa sateelta.

Mittausten edetessä mittaajan mittaaminen kehittyy ja hiljalleen rutinoituu. Mittausten edetessä käytettävien mittalaitteiden käyttäminen ja tuntemus paranee ja lisäksi mittaaja osaa tunnistaa ja arvioida paremmin mittauksiin vaikuttavia tekijöitä.

## 9.2 Pohdintaa mittauksien tekemisestä

CLT-elementin kosteusmittauksissa piikkimittaus ja kuivaus-punnitus-mittaus ovat hyvä yhdistelmä. Piikkimittarilla on helppo tutkia mahdollisia kosteita paikkoja ja jos haluaa sen tuloksille vertailua tai tarkan tuloksen, niin voi tehdä kosteusmittauksen kuivaus-punnitus-menetelmällä. Pienen pinnasta mittaavan piikkimittarin lisäksi olisi hyvä tehdä kosteusmittaus myös kuivaus-punnitus-menetelmällä sen takia, että kosteutta voidaan tutkia näin syvemmältä CLT-levystä. Tämä on mahdollista myös piikkimittarilla, jossa on lyötävä junta-anturi. Piikkimittari on riittävän tarkka karkeaan mittaukseen. Kalibrointi on siitä huolimatta oltava tehtynä asiallisesti.

Kuivaus-punnitus-mittaus on työläämpi ja hitaampi menetelmä piikkimittaukseen verrattuna. Näytepalojen koosta riippuen, sillä voi kuitenkin saada tulokset jo seuraavana päivänä mittauksien jälkeen. Täten silläkin menetelmällä saadaan CLT-levystä varsin nopeasti tulokset kosteuspitoisuudesta. Kuivaus-punnitus-menetelmää rajoittaa CLT-levyistä mitattaessa se, että CLT-levyä jätetään paljon näkyville. Näkyviin jäävät pinnat eivät estä mittaamista, mutta näkyville pinnoille ei haluta jättää mittauksien aiheuttamia jälkiä.

WM1-WAN-mittareita käytettäessä voi olla hyvä suorittaa myös piikkimittauksia niiden läheltä. Näin saadaan vertailua niiden tuloksille ja nähdään ovatko niiden tulokset samansuuntaisia vai eroavatko ne paljon. Jos WM1-WAN-mittarin mittausantureina toimivat ruuvit ovat syvällä CLT-levyssä, tarvitaan junta-anturilla varustettu piikkimittari. Vertaavia mittauksia voi tehdä myös kuivaus-punnitus-menetelmällä, mutta ne ovat työläämpiä ja se vie enemmän tilaa WM1-WAN-mittarin ympäriltä, eikä niitä voi tehdä montaa yksittäisen mittarin ympäriltä.

### **9.3 Mittauksiin mahdollisesti vaikuttaneet tekijät ja niiden vaikutus**

Kuivaus-punnitus-mittauksessa olisi voinut ottaa näytepaloja sahauksen lisäksi puun kasvukairalla. Puun kasvukairalla on mahdollista saada näytepaloja puusta ilman sahauksen tuottamaa lämpöä. Sillä saatavat näytepalat ovat kuitenkin erittäin kapeita ja pieniä. Kasvukairan poraosa on sisäläpimitaltaan 5,15 mm ollessaan pohjoismaisen standardin mukainen. (Uittokalusto n.d.) Tässä tutkimuksessa käytetyn reikäsahan halkaisija oli 51 mm. Lisäksi näytepaloja voisi ottaa erikokoisilla halkaisijoilla esimerkiksi noin 50 mm lisäksi 30 mm ja 70 mm ja selvittää vaikuttaako se mitenkään kosteuspitoisuuden tutkimiseen.

Tässä tutkimuksessa käytetyn piikkimittarin rinnalle olisi voinut ottaa myös toisen piikkimittarin ja kerätä kokemuksia eri laitteiden eroista ja niiden suuruudesta. Toinen piikkimittari olisi voinut olla sekä junta-anturilla varustettu tai samantapainen kuin tutkimuksessa käytetty piikkimittari.

Kuivaus-punnitus-mittauksessa näytepalojen kuljetuksen aikaisen säilytyksen vaikutus tuloksiin ei ollut suuri tässä tutkimuksessa. Siitä huolimatta säilytystapoja voisi tutkia useampia. Lisäksi voisi tutkia miten näytepalojen kosteus muuttuu kuljetuksen tai säilytyksen aikana, jos ne ovat suoraan tekemisissä ilman kanssa odottaessaan punnitusta. Mielenkiintoista olisi myös selvittää, että tapahtuuko esimerkiksi kosteassa näytepalassa helpommin massan muutosta, kuin kuivassa näytepalassa säilytyksen ajan. Esimerkiksi kostea näytepala voisi helpommin ja nopeammin luovuttaa kosteutta, mutta kuiva näytepala voisi taas kerätä kosteutta enemmän.

Suuri osa mittauskohdista oli samankaltaisista paikoista. Mittauksia olisi voinut tehdä paljon enemmän erilaisista paikoista, mutta mittauskohtien valintaa rajoitti se, että CLT-levyä jää mittauskohteessa paljon näkyville. Lisäksi mittauskohtiin vaikutti merkittävästi näytepalojen sahaus. Lattian tai katon juuresta sahaus on haastavampaa ja aukkojen, esimerkiksi ikkuna-aukon vierestä näytepaloja ei uskalla sahata, jotta CLT-levy ei lohkeaisi kyseisestä kohdasta.

#### **9.4 Mittauspaikat ja olosuhteet**

Mittausolosuhteet olivat tutkimuksen ajan varsin kuivia. Ajoittain mittausjakson aikana toki satoi, mutta CLT-levyt pysyivät kuivina ainakin mittauskohdissa. CLT-levyjen paljon näkyväksi pinnaksi jääminen kavensi mittauspaikkojen valintaa. Mittauspaikkojen valintaan vaikutti myös rakentamisen eteneminen ja käynnissä olevat työvaiheet työmaalla.

Mittauksia suoritettiin WM1-WAN läheisyydestä vähän, koska mittareita tutkimuksen aikana oli työmaalla kolme, joista kaksi oli suurimman osan aikaa vierekkäin ja yksi oli porrashuoneen alla paikassa, josta olisi ollut hankala suorittaa mittauksia.

Mittauskohtia valittiin myös siten, että yritettiin selvittää, onko merkittävää eroa kosteuspitoisuuksissa samassa lamellissa eri korkeusasemissa ja eri CLT-levyissä siten, että mittauskohdat olivat eri CLT-levyissä, mutta aivan vierekkäin samalla korkeusasemalla. Näissä tapauksissa ei havaittu isoja eroja, mutta koska

otanta edellä mainituilla kohdilla oli pieni, ei suurempia johtopäätöksiä niistä voitu tehdä. Kuvissa 41 ja 42 ovat WM1-WAN-mittarien lähellä olevat mittauskohdat.



KUVA 41. WM1-WAN-mittarien yläpuolella olevat mittauskohdat 1 ja 2.



KUVA 42. WM1-WAN-mittarin lähellä olevat mittauskohdat 14 ja 15.

Taulukossa 36 on kunkin mittauskohdan etäisyydet lähimpään kohteeseen sekä pysty-, että vaakasuunnassa. Lisäksi taulukossa 36 on kuvattu karkeasti sanallisesti mittauskohdan sijaintia.

TAULUKKO 36. Mittauskohdat.

Mittauskohta	Kuvaus	Etäisyys pysty-suunnassa	Etäisyys sivulle
1 (1.kerros)	WM1-WAN-mittarin yläpuolella	30 mm mittariin	200 mm ikkunaan
2 (1.kerros)	WM1-WAN-mittarin yläpuolella	20 mm mittariin	360 mm ikkunaan
3 (1.kerros)	Keskellä seinää (sama lamelli kuin 4)	230 mm CLT-levyn alareunaan	620 mm ikkunaan
4 (1.kerros)	Keskellä seinää (sama lamelli kuin 3)	600 mm CLT-levyn alareunaan	620 mm ikkunaan
5 (1.kerros)	Lähellä ikkunaa (6 vieressä CLT-levyjen sauman toisella puolella)	500 mm CLT-levyn alareunaan	225 mm ikkunaan
6 (1.kerros)	Lähellä ikkunaa (5 vieressä CLT-levyjen sauman toisella puolella)	490 mm CLT-levyn alareunaan	300 mm ikkunaan
7 (1.kerros)	Keskellä seinää	405 mm CLT-levyn alareunaan	710 mm pilariin
8 (2.kerros)	Keskellä seinää (9 vieressä CLT-levyjen sauman toisella puolella)	440 mm lattiaan	360 mm ikkunaan
9 (2.kerros)	Keskellä seinää (8 vieressä CLT-levyjen sauman toisella puolella)	440 mm lattiaan	430 mm ikkunaan
10 (2.kerros)	Keskellä seinää	1085 mm lattiaan	1550 mm ikkunaan
11 (3.kerros)	Keskellä seinää	485 mm lattiaan	720 mm ikkunaan
12 (3.kerros)	Keskellä seinää (sama lamelli kuin 13)	950 mm lattiaan	560 mm ikkunaan
13 (3.kerros)	Keskellä seinää (sama lamelli kuin 12)	670 mm lattiaan	560 mm ikkunaan
14 (1.kerros)	WM1-WAN-mittarin yläpuolella	60 mm mittariin	260 mm ikkunaan
15 (1.kerros)	WM1-WAN-mittarin vieressä	380 mm lattiaan	20 mm mittariin
16 (5.kerros)	Keskellä seinää lähellä lattiaa	135 mm lattiaan	675 mm ikkunaan
17 (5.kerros)	Keskellä seinää lähellä lattiaa	145 mm lattiaan	590 mm ikkunaan
18 (5.kerros)	Keskellä seinää lähellä ikkunaa	1055 mm lattiaan	60 mm ikkunaan

## 10 Johtopäätökset ja pohdinta

### 10.1 Johtopäätökset

Tässä opinnäytetyössä käytettyjen kosteudenmittausmenetelmien erot eivät pääsääntöisesti olleet suuria. Ajoittain erot olivat muutaman prosenttiyksikön. Osa WM1-WAN-mittarien tuloksista erosi muista menetelmistä enemmänkin, mutta koska WM1-WAN-mittarien otanta oli pieni, ei niiden tuloksista voida tehdä suurempia johtopäätöksiä.

Verrattuna kuivaus-punnitus-mittaukseen, piikkimittauksen tulokset ailahtelivat ajoittain. Useimmiten piikkimittaus on kuitenkin varsin tarkka ja sen tulokset ovat tasaisia suhteessa kuivaus-punnitus-mittaukseen. Sen tulokset erosivat hieman, mutta tasaisesti ja säännöllisesti suunnilleen noin saman verran. Piikkimittauksissa mittaus on hyvä toistaa samasta kohdasta ja mittauksissa ylipäänsä tulee olla huolellinen ja kärsivällinen. Piikkimittauksissa on erittäin tärkeää osata käyttää laitetta oikein ja tuntea se hyvin. Tällöin pystyy mahdollisesti arvioimaan milloin se antaa epäluotettavia tuloksia ja mistä tämä johtuu. Muutaman prosenttiyksikön ero eri menetelmien välillä korostuu riippuen millä kosteusalueella puu on.

Vaikka lähtökohtaisesti punnitus-kuivaus-mittaus on tässä opinnäytetyössä tutkituista mittausmenetelmistä luotettavin ja tarkin, siinä on paljon mittaukseen vaikuttavia ja mittauksessa huomioitavia tekijöitä. Näytepalanottomenetelmää on hyvä tarkastella ja siihen käytettäviä välineitä. Sahattaessa näytepalat, on sahan oltava laadukas, jotta se ei aiheuta näytepalojen kuumenemista. Vaikka mittauksissa saha ei aiheuttanut yli 100 °C:n lämpötilan kuin kerran, on vaikea arvioida tarkasti, paljonko sahaus vaikutti kosteuspitoisuuteen. Näytepalojen säilytystavalla kuljetuksen ajan työmaalta laboratorioon ei ollut suurta vaikutusta, mutta on silti suositeltavaa säilyttää näytepalat tiiviisti, jotta näytepalojen kosteuspitoisuus ei muuttuisi.

CLT:n liimasaumojen vaikutusta CLT:n kosteuteen ja mittauksiin on vaikea arvioida. Kosteuspitoisuus erosi liimasauman eri puolilla enemmän kuin lamellin si-

sällä, mutta tämä voi johtua yksinkertaisesti lamellirakenteesta ja siitä, että lamellit ovat omia kappaleita, vaikka ovatkin kiinni toisissaan. Puun kosteusmittauksissa kannattaa välttää oksia, pihkataskuja ja muita puun erilaisia kohtia. CLT:ssä vain pintalamellissa näitä on mahdollista välttää. CLT:stä rakennettaessa sitä jätetään paljon näkyväksi pinnaksi, mikä vaikuttaa paljon siihen, mistä kosteusmittauksia voi suorittaa.

Kosteusmittauksissa eri menetelmien käyttäminen samaan aikaan on järkevä toimintatapa. Kahdella eri mittaustavalla saadessa lähellä toisiaan olevia tuloksia, voidaan mittauksiin luottaa enemmän, kuin jos mittaukset perustuvat vain yhteen menetelmään. Myöskin, jos mittauksia tehdään vain piikkimittauksilla, voi olla järkevää hakea luotettavuutta tuloksille tekemällä piikkimittauksia myös toisella eri piikkimittarilla. WM1-WAN-mittarien yhteydessä olisi kätevää tehdä myös perinteisiä piikkimittauksia aivan niiden vierestä. Näin voidaan seurata miten ne kyseisessä tilanteessa toimivat ja hakea luotettavuutta niiden tuloksille vertailemalla niitä rinnakkaiseen mittaukseen.

## **10.2 Luotettavuus ja onnistuminen**

Kosteusmittaukset onnistuivat pääasiallisesti. Kuivaus-punnitus-mittauksen näytepaloja ei aina saatu aivan tavoitellulta syvyydeltä CLT-levystä ja näytepalojen mitat eivät olleet aina millintarkkoja. Piikkimittaukset onnistuivat ja kuten edellä jo mainittiin WM1-WAN-mittarien otanta jäi pieneksi. Kosteuspitoisuudet olivat koko mittauksien ajan varsin kuivia. Eri mittausten menetelmien vertailulle olisi ollut parempi, jos niiden tuloksia olisi voitu verrattu myös silloin, kun kosteuspitoisuus olisi ollut korkeampi. Korkeammilla kosteuspitoisuuksilla myös sahauksen yms. tekijöiden vaikutuksen tutkiminen ja arviointi olisi ollut kattavampaa.

Joidenkin eri kosteusmittauksiin vaikuttavien tekijöiden arviointi käytössä olleilla menetelmillä oli vaikeaa ja enemmänkin suuntaa antavaa, esimerkiksi näytepalojen sahauksen arviointi. Näitä tekijöitä ja esimerkiksi liimasauvojen vaikutusta CLT:n kosteusominaisuuksiin ja -käyttäytymiseen olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin.

Mittauksissa ei ollut paljoa variaatioita. Tällöin tosin mittaukset pysyivät mahdollisimman hyvin koko tutkimuksen ajan vertailtavissa keskenään. Piikkimittauksia tehtiin vain yhdellä mittarilla ja myös toista piikkimittaria käyttämällä olisi voitu mittareita vertailla keskenään. Näin olisi voitu tutkia paremmin niiden luotettavuutta ja piikkimittausta yleisesti, koska laitteissa ja niillä saatavissa tuloksissa on eroja. Myös näytepaloissa olisi voitu kokeilla erilaisia variaatioita, esimerkiksi eri halkaisijan omaavia ja paksuisien palojen mittaamista. Toisaalta näytepaloja oli helppo vertailla, kun ne pysyivät koko tutkimuksen ajan samanlaisina.

Lisäksi tuloksiin ja mittauksiin on vaikuttanut mittaajan kokemus. Mittaajalla ei ollut aiempaa mittauskokemusta. Mittausten edetessä mittaajan osaaminen ja mittalaitteiden käyttäminen kehittyi ja parantui.

### **10.3 Jatkotutkimusehdotukset**

Tätä tutkimusta tehtäessä heräsi ajatuksia ja ideoita jatkotutkimuksille ja erilaisille variaatioille kosteusmittauksissa, niin CLT-elementtien mittaamisessa, kuin ylipäänsä puurakenteiden mittaamisessa.

CLT:n kosteuskäyttäytymistä ja kosteudenmittaamista voisi tutkia laboratorio-olosuhteissa. CLT-levyille voisi suorittaa tarkan kastamis- ja kuivausprosessin ja mitata niiden kosteuspitoisuutta selkeästi erilaisilla kosteuspitoisuuden alueilla. Mielenkiintoinen tutkimuskohde olisi myös liimasaumojen toiminta ja selvittää mikä niiden vaikutus on CLT:n kosteuskäyttäytymiseen ja miten ne vaikuttavat kosteuden siirtymiseen. Mielenkiintoista olisi tutkia ja vertailla eri näytepalanottomenetelmiä ja kosteuspitoisuuden mittaamista monenlaisella erilaisella ja erimerkillisellä piikkimittarilla ja tutkia kattavasti ja laajasti niiden eroja itse mittaamisessa ja tuloksissa. Lisäksi mielenkiintoista olisi WM1-WAN-mittarien pitkäkestoinen tutkimus rakennusvaiheen lisäksi rakennuksen käytön ajalta.



## LÄHTEET

Ahola, V., Kuhlman I., Luotio J. 1998. Pieni ja paras tietosanakirja A-Ö. 2. painos. Helsinki: Gummerus.

CLT Plant. n.d. Miksi CLT? Viitattu 1.4.2022.

<https://www.cltplant.com/miksi-clt/>

Crosslam: Crosslam CLT ilmanpitävyys. 2016. VTT Expert Services Oy. Viitattu 31.3.

[https://www.crosslam.fi/media/ilmatiiveys-clt-kuhmo-60\\_80mm-clt.pdf](https://www.crosslam.fi/media/ilmatiiveys-clt-kuhmo-60_80mm-clt.pdf)

Crosslam. 2017. CLT-elementtien käyttö rakentamisessa. Kalajoen puutietoseminaari 1.6.2017.

Crosslam: Tuotesertifikaatti. 2019. Eurofins Expert Services Oy. Viitattu 7.6.

<https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/tuotehyvaksynta.pdf>

Crosslam. 2020. Syrjäliimaamaton CLT – paras Suomen olosuhteisiin. Viitattu 25.4.2022.

<https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/syrjaliimaamaton-clt-paras-suomen-olosuhteisiin.html?p14=2>

Crosslam. 2021. CLT-elementti on upeasti esillä näissä kohteissa. Viitattu 27.4.2022.

<https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/clt-elementti-on-upeasti-esilla-naissa-kohteissa.html>

Crosslam. 2021. CLT tuo kustannustehokkuutta, ekologisuuutta ja modernia ulkonäköä rakentamisen eri sektoreille. Puuinfo. Luettu 15.7.2022. <https://puuinfo.fi/2021/09/20/clt-tuo-kustannustehokkuutta-ekologisuuutta-ja-modernia-ulkonakoa-rakentamisen-eri-sektoreille/>

Crosslam. 2022. Mitä on CLT? Viitattu 25.4.2022. <https://www.crosslam.fi/uutiset/uutiset/mita-on-clt.html>

Crosslam. n.d. CLT-levyn ominaisuudet. Viitattu 25.4.2022. <https://www.crosslam.fi/tuotteet/crosslam-levy-ja-sen-ominaisuudet.html>

Crosslam. n.d. CLT-levyn tekniset tiedot. Viitattu 25.4.2022. <https://www.crosslam.fi/tuotteet/tekniset-tiedot.html>

Crosslam. n.d. Crosslamin valmistaman CLT-levyn käyttökohteet. Viitattu 25.4. <https://www.crosslam.fi/suunnittelijat/crosslam-levyn-kayttokohteet.html>

Crosslam. n.d. CLT-suunnittelun ohje. Viitattu 3.6.2022. <https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/clt-suunnittelun-ohje.pdf>

Crosslam. n.d. Crosslam-levyn laatumääritteet. Viitattu 3.6.2022.

<https://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/laatumn-cc-83n-cc-83ritteet.pdf>

Emax. n.d. Emax digitaalivaaka. Käyttöohje. Viitattu 19.5.2022.

ePuu. n.d. Järjestelmät. Puuinfo Oy. Viitattu 9.3.2022 ja 14.7.2022.

<https://epuu.fi/jarjestelmat>

Gann. n.d. Hydromette Compact S. Viitattu 21.6.2022.

<https://www.gann.de/en/products/handhelds/electronic-moisture-meters/compact-series/compact-s>

Gann. n.d. Gann Hydromette Compact S. Käyttöohje. Viitattu. 19.5.2022.

Heilä, S. 2022. Puurakentamisen kiihdytysvaihe kestänyt jo kymmenen vuotta. RIA 55 (1), 6-13.

Hoisko. 2018. Hoisko CLT-levyn perustiedot. CLT Finland Oy. Viitattu 7.6.2022.

[https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/07/Hoisko-CLT-levyn-perustiedot-6\\_18.pdf](https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/07/Hoisko-CLT-levyn-perustiedot-6_18.pdf)

Hoisko: Tuotesertifikaatti. 2018. Eurofins Expert Services Oy. Viitattu 7.6.2022.

[https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/09/ETA-Hoisko\\_final.pdf](https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/09/ETA-Hoisko_final.pdf)

Hoisko. 2021. Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen. CLT Finland Oy. Viitattu 4.4.2022.

<https://hoisko.fi/2021/01/18/liima-tekee-cltsta-vahvan-kauniin-ja-tiiviin-rakenteen/>

Hoisko. n.d. Tuoteseloste Hoisko CLT. CLT Finland Oy. Viitattu 25.4.2022.

<https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/09/Tuoteseloste-HOISKO-CLT.pdf>

Hoisko. n.d. Tekniset ominaisuudet. CLT Finland Oy. Viitattu 25.4.2022.

<https://hoisko.fi/clt/tekniset-ominaisuudet/>

Humala, H. 2014. Insinööritoimisto SRT Oy:n käyttämien ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen. Rakentamisen koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 11.6.2022.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74068/Humala\\_Henri.pdf?se-](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74068/Humala_Henri.pdf?se-)

Ilmatieteenlaitos. n.d. Lämpötila ja kosteus. Viitattu 11.6.2022.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lampotila-ja-kosteus>

Kapillaari. 2020. Rakennusmateriaalien hygroskooppisuus. Viitattu 11.6.2022.

[Rakennusmateriaalien hygroskooppisuus – Kapillaari.fi](https://rakennusmateriaalien-hygroskooppisuus--kapillaari.fi)

Kaskinen, H. 2020. Puurakennuksille kehitetty kosteusmittari paljastaa kostumisen toimitusketjun aikana. TM Rakennusmaailma 3.12.2020. Viitattu 16.3.2022.

<https://rakennusmaailma.fi/puurakennuksille-kehitetty-kosteusmittari-paljastaa-kostumisen-toimitusketjun-aikana/?fbclid=IwAR3aBuf645dHKEk-Spdml4XYbFDsPrB4KYmyINJNTP9xAXyyecVtBL4pkcg>

Kastarinen, H. 2019. Betonin vaurioituminen. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 11.10.2022. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166528/Kastarinen\\_Henri.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166528/Kastarinen_Henri.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Kaukojärvi, P. 2021. CLT-tilaelementtien liitostekniikka. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Talonrakennustekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 14.10.2022. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/495866/Kaukojarvi\\_Patrik.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/495866/Kaukojarvi_Patrik.pdf?sequence=2)

Kaunisto, H. 2020. Ristiinlaminoidun massiivipuulevyn (CLT) kosteustekninen tarkastelu - Rakentaminen Suomen sääolosuhteissa. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Talonrakennustekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 29.4.2022. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/344107/Kaunisto\\_Henna.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/344107/Kaunisto_Henna.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Kekäläinen, R. 2015. CLT-rakentaminen. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 27.4. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87366/Kekalainen\\_Reeta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87366/Kekalainen_Reeta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kempton. n.d. Kempton infrapunalämpömittari. Käyttöohje. Viitattu 19.5.2022.

Kivifaktaa. n.d. Lämpöä varaavat rakenteet säästävät energiaa. Viitattu 11.6.2022. <https://kivifaktaa.fi/faktapankki/kivi-on-ymparistoystavallinen-materiaali/lampoavaraavat-rakenteet-terminen-massa/>

Kosteusmittari. n.d. Gann Hydromette HT 65 kosteusmittari. Viitattu 21.7.2022. <https://www.kosteusmittari.fi/tuotteet.html?id=35754/147>

Kosteusmittari. n.d. Gann M 18 puuanturi. Viitattu 21.7.2022. <https://www.kosteusmittari.fi/tuotteet.html?id=35757/893922>

Laakso, N. 2017. Viilupuun kosteus- ja kuivumisominaisuudet. Rakennustekniikka. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 9.3.2022. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/138871/Laakso\\_Niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/138871/Laakso_Niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Lahtela, T., Kylliäinen, M., Lietzen, J., Kovalainen, V, Talus, L. 2021. Ääneneristys puutalossa. Helsinki: Puuinfo Oy.

Merikallio, T. 2000. Kosteusmittaus. Rakentajain kalenteri: Rakennustietosäätiö RTS sr, Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry. Viitattu 25.3.2022. <https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakentajain-kalenteri/RK00s740.pdf>

Motonet. n.d. Bahco 3833-51-C Superior reikäsaha kovametallikärki 51 mm. Viitattu 21.6.2022. <https://m.motonet.fi/fi/tuote/783875/Bahco-3833-51-C-Superior-reikasaha-kovametallikarki-51-mm>

Paloturvallinen puutalo. 2021. Asuin- ja toimitilarakentaminen. 2. painos. Helsinki: Puuinfo Oy.

Penttilä, O. 2017. Puukerrostalojen kosteudenhallinta ja sen kehittäminen. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 24.3.2022.

<https://core.ac.uk/download/pdf/196556886.pdf>

Pitkäranta, M. (toim.) 2016. Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Puuinfo. 2020. CLT by Stora Enso (Cross-laminated timber). <https://puuinfo.fi/tuotteet/insinööripuutuotteet/clt/clt-by-stora-enso-cross-laminated-timber/>

Puuinfo. 2020. Kosteustekniset ominaisuudet. Viitattu 4.5.2022.

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

Puuinfo. 2020. Monikerroslevy (CLT). Viitattu 19.4.2022.

<https://puuinfo.fi/puutieto/insinööripuutuotteet/monikerroslevy-clt/>

Puuinfo. 2020. Ominaisuuksien muuttaminen. Viitattu 10.6.2022.

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

Puuinfo. 2020. Elementti Sampo Tilaelementit. Viitattu 27.4.2022.

<https://puuinfo.fi/tuotteet/elementit-rakennusosat/elementti-sampo-tilaelementit/>

Puuinfo. 2020. Puun kosteuskäyttäytyminen. Viitattu 10.6.2022. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>

Puuinfo. 2020. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. Eurokoodi 5. 5. painos.

Puuproffa. n.d. Puun ominaisuudet. Viitattu 22.3.2022.

<https://puuproffa.fi/liitosten-arkki/puun-liitokset/puun-ominaisuudet/>

Rakentaja. n.d. Talon rakentaminen CLT:stä – mitä CLT tarkoittaa ja mitä se mahdollistaa? Viitattu 28.7.2022.

[https://www.rakentaja.fi/artikkelit/18205/saaristotalot\\_kodin\\_rakentaminen\\_clt\\_tekniikka\\_mita\\_se\\_on.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/18205/saaristotalot_kodin_rakentaminen_clt_tekniikka_mita_se_on.htm)

Raksystems. 2017. Ilmatiiveys. Viitattu 11.6.2022.

<https://rakersystems.fi/sanasto/ilmatiiveys/>

Ratu 1215-S. 2006. Työmaan laadunvarmistus, tarkastukset ja mittaukset. Rakennusteollisuus RT ry, Rakennustietosäätiö RTS.

Ratu S-1236. 2021. Olosuhteiden hallinta rakentamisessa. Rakennustieto Oy, Talonrakennusteollisuus ry, Rakennustietosäätiö RTS sr, Mittaviiva Oy.

RIL 240. 2006. Puurakenteiden laadunvarmistus. Helsinki: Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 255-1. 2014. Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Saatsi, P. 2017. Massiivirakenne on terveellinen, kestävä ja ekologinen. Saatsi 24.7.2017. Viitattu 11.6.2022.

<https://www.saatsi.fi/blogi/massiivirakenne-terveellinen-kestava-ekologinen/>

SFS 5978. 2014. Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksen kantavia osia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 13183-1. 2002. Moisture content of a piece of sawn timber. Part 1: Determination by oven dry method. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Metsäteollisuus ry.

SFS-EN 13183-2. 2002. Moisture content of a piece of sawn timber. Part 2: Estimation by electrical resistance method. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Metsäteollisuus ry.

SFS-EN ISO 12570. 2000. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Kosteuden määrittäminen korotetussa lämpötilassa (Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of moisture content by drying at elevated temperature). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Rakennustuoteteollisuus RTT ry.

Siikanen, U. 1998. Puurakennusten suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen, U. 2016. Puurakentaminen. 2. uud. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys. 2008. Kosteusmittaukset. Viitattu 11.6.2022.

<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Rakennustekniset-tutkimukset/Kosteusmittaukset>

Sisäilmayhdistys. 2008. Mikrobikasvun edellytykset. Viitattu 11.6.2022.

<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>

Souto, A. 2019. Kosteuden ja kuivumisen hallinta. Puuinfo Vaativien puurakenteiden suunnittelu. Koulutus 13.3.2019.

SRV. n.d. Helsingin Luonnontiedelukio. Viitattu 31.3.2022.

<https://www.srv.fi/tyomaat/2869-helsingin-luonnontiedelukio/>

Staypro. n.d. Kosteusmittari Gann Hydromette Compact S. Viitattu 21.6.2022.

[https://www.staypro.fi/mittatyokalut/kosteusmittarit/kosteusmittarit-gann-hydromette-compact-s-kosteusmittari-la13761\\_21.6.](https://www.staypro.fi/mittatyokalut/kosteusmittarit/kosteusmittarit-gann-hydromette-compact-s-kosteusmittari-la13761_21.6.)

Stora Enso. n.d. CLT by Stora Enso Technical brochure. Viitattu 12.4.2022.

<https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf?mode=brochure#page=1>

Stora Enso. n.d. Massiivipuुरakentaminen. Viitattu 25.4.2022.

<https://www.storaenso.com/fi-fi/products/wood-products/massive-wood-construction>

Stora Enso. 2016. Stora Enso CLT. Puu – maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali. Viitattu. 25.4.2022.

[https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-imagebrochure\\_final-2016-04-25\\_fi-web.pdf](https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-imagebrochure_final-2016-04-25_fi-web.pdf)

The CLT Handbook. 2019. CLT structures – facts and planning. Stockholm: Skogindustrierna Svenskt Trä.

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. Viljakainen, M. 2013. Suomalainen puukerrostalo. Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus, Puuinfo Oy.

Uittokalusto. n.d. Haglö kasvukaira. Viitattu 9.7.2022.

<https://www.uittokalusto.fi/haglof-puunaytekairasetti.html>

Wiiste Oy. 2020. Wiisteen puun IoT-kosteusmittari TM Rakennusmaailmassa. Viitattu 16.3.2022.

<https://www.wiiste.com/b/wiisteen-puun-iot-kosteusmittari-tm-rakennusmaailmassa>

Wiiste Oy. 2020. WM1-WAN Internetiin integroitu puun kosteusmittari. Tuotekortti. Viitattu 16.3.2022.

Wiiste Oy. n.d. Puun kosteusmittari. Viitattu 16.3.2022.

[https://www.wiiste.com/puun-kosteusmittari\\_11.6.](https://www.wiiste.com/puun-kosteusmittari_11.6.)

Wikipedia. 2020. Diffuusio. Viitattu 11.6.2022.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Diffuusio>

Wikipedia. 2020. Formaldehydi. Viitattu 15.6.2022.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Formaldehydi>

Wikipedia. 2020. Konvektio. Viitattu 11.6.2022.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Konvektio>

Wikipedia. 2020. Lahottajasieni. Viitattu 16.6.2022.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Lahottajasieni>

Wikipedia. 2021. CLT. Viitattu 9.3.2022.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/CLT>

Wikipedia. 2022. Esineiden internet. Viitattu 11.6.2022.

[https://fi.wikipedia.org/wiki/Esineiden\\_internet](https://fi.wikipedia.org/wiki/Esineiden_internet)

Wikipedia. 2022. Fenoli. Viitattu 15.6.2022.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Fenoli>

Wikipedia. 2022. Resistanssi. Viitattu 11.6.2022.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Resistanssi>

Wiktionary. 2020. Absorboiva. Viitattu 11.6.2022.

<https://fi.wiktionary.org/wiki/absorboiva>

Ympäristöministeriö. n.d. Puurakentaminen. Viitattu 28.7.2022.

<https://ym.fi/puurakentaminen>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 24.11.2017/782. Viitattu 11.10.2022.

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

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 20.12.2017/1010. Viitattu 11.10.2022.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

## LIITTEET

## Liite 1. Punnitus kuivaus mittauksien tulokset

1 (3)

Näytepala	1. punnitus (g)	2. punnitus (g)	3.punnitus (g)	4.punnitus (g)	Kosteuspitoisuus (paino%)
1					
1.1.	13,8	13,79	12,29	12,28	12,38
1.2.	15,52	15,51	13,91	13,92	11,49
1.3.	9,11	9,09	8,19	8,19	11,23
1.4.	18,82	18,79	16,86	16,85	11,69
1.5.					
2					
2.1.	11,56	11,56	10,41	10,4	11,15
2.2.	14,87	14,86	13,37	13,39	11,05
2.3.	13,73	13,71	12,4	12,41	10,64
2.4.	14,44	14,43	13,05	13,05	10,65
2.5.	18,52	18,53	16,89	16,9	9,59
3					
3.1.	8,62	8,61	7,78	7,79	10,65
3.2.	16,68	16,67	15,05	15,04	10,90
3.3.	13,24	13,19	11,89	11,89	11,35
3.4.	17,12	17,11	15,45	15,45	10,81
3.5.	15,5	15,53	14,18	14,19	9,23
4					
4.1.	12,57	12,54	11,34	11,34	10,85
4.2.	12,94	12,92	11,76	11,76	10,03
4.3.	14	14	12,69	12,68	10,41
4.4.	17,11	17,1	15,56	15,57	9,89
4.5.	19,11	19,12	17,36	17,39	9,89
5					
5.1.	15,32	15,32	13,92	13,92	10,06
5.2.	20,15	20,14	18,57	18,57	8,51
5.3.	13,33	13,33	12,15	12,16	9,62
5.4.	21,33	21,29	19,32	19,32	10,40
5.5.	16,18	16,15	14,75	14,75	9,69
6					
6.1.	12	11,96	10,87	10,86	10,50
6.2.	16,33	16,3	14,68	14,68	11,24
6.3.	13,27	13,24	12,06	12,05	10,12
6.4.	18,39	18,36	16,54	16,55	11,12
6.5.	15,08	15,09	13,81	13,81	9,20
7					
7.1.	11,62	11,61	10,51	10,52	10,46
7.2.	14,43	14,42	13,05	13,04	10,66
7.3.	12,23	12,2	11,14	11,14	9,78
7.4.	11,96	11,94	10,93	10,93	9,42
7.5.	16	16	14,72	14,73	8,62
8					
8.1.	12,4	12,4	11	11,04	12,32
8.2.	14,49	14,48	13	13	11,46
8.3.	12,32	12,32	11,09	11,09	11,09
8.4.	14,61	14,62	13,21	13,25	10,26
8.5.	19,52	19,53	17,87	17,89	9,11
9					

(jatkuu)



9.1.	13,17	13,14	11,68	11,68	12,76
9.2.	15,44	15,45	13,75	13,76	12,21
9.3.	13,78	13,77	12,45	12,46	10,59
9.4.	19,41	19,44	17,67	17,68	9,79
9.5.	17,59	17,64	16,13	16,14	8,98
10					
10.1.	14,44	14,45	12,87	12,88	12,11
10.2.	13,5	13,5	12	12,04	12,13
10.3.	17,33	17,32	15,63	15,65	10,73
10.4.	12,4	12,4	11,24	11,25	10,22
10.5.	23,57	23,6	21,53	21,55	9,37
11					
11.1.	13,14	13,14	11,93	11,94	10,05
11.2.	15,17	15,17	13,82	13,82	9,77
11.3.	15,74	15,74	14,47	14,46	8,85
11.4.	17,41	17,44	16	16	8,81
11.5.	27,1	27,11	25,39	25,39	6,73
12					
12.1.	13,19	13,18	11,93	11,95	10,38
12.2.	14,53	14,54	13,17	13,18	10,24
12.3.	15,04	15	13,64	13,64	10,26
12.4.	13	13	11,83	11,83	9,89
12.5.	16,78	16,78	15,56	15,58	7,7
13					
13.1.	16,22	16,2	14,67	14,69	10,42
13.2.	13,08	13,08	11,88	11,88	10,1
13.3.	14,4	14,38	13,04	13,06	10,26
13.4.	13,66	13,69	12,49	12,48	9,46
13.5.	31,9	31,96	29,87	29,87	6,8
14					
14.1.	13,88	13,86	12,5	12,5	11,04
14.2.	16,34	16,33	14,84	14,84	10,11
14.3.	11,75	11,74	10,53	10,53	11,59
14.4.	13,63	13,63	12,26	12,27	11,08
14.5.	19,11	19,11	17,36	17,37	10,02
15					
15.1.	15,54	15,54	13,91	13,91	11,72
15.2.	13,11	13,11	11,77	11,75	11,57
15.3.	13	13	11,56	11,55	12,55
15.4.	11,78	11,75	10,54	10,54	11,76
15.5.					
16					
16.1.	14,94	14,86	13,67	13,66	9,37
16.2.	12,48	12,45	11,51	11,51	8,43
16.3.	13,18	13,07	12	12	9,83
16.4.	12,93	12,88	11,84	11,83	9,3
16.5.	16,41	16,38	14,95	14,95	9,77
17					
17.1.	15,56	15,54	14,31	14,3	8,81
17.2.	12,58	12,58	11,61	11,62	8,26

(jatkuu)

3 (3)

17.3.	11,94	11,92	10,93	10,93	9,24
17.4.	12,92	12,9	11,82	11,83	9,21
17.5.					
18					
18.1.	16,35	16,34	15,14	15,13	8,06
18.2.	15,85	15,83	14,76	14,75	7,46
18.3.	11,72	11,72	10,91	10,9	7,52
18.4.	16,6	16,6	15,44	15,44	7,51
18.5.	19	19	17,42	17,43	9,01

## Liite 2. Piikkimittaus näytepalasta tulokset

Näytepala	Kosteuspitoisuus (paino%)	Näytepala	Kosteuspitoisuus (paino%)
1		10	
1.1.	10,1	10.1.	9
1.2.	9,8	10.2.	11,7
1.3.	9,6	10.3.	10
1.4.	11,7	10.4.	10,4
1.5.		10.5.	9,5
2		11	
2.1.	9,7	11.1.	9,9
2.2.	10,1	11.2.	8,4
2.3.	10,3	11.3.	7
2.4.	10,7	11.4.	7,1
2.5.	7,8	11.5.	5,5
3		12	
3.1.	9,5	12.1.	9,6
3.2.	10	12.2.	8,3
3.3.	10,8	12.3.	6,7
3.4.	10,5	12.4.	8,7
3.5.	6,7	12.5.	5,1
4		13	
4.1.	8,9	13.1.	9,5
4.2.	9	13.2.	7,9
4.3.	9,2	13.3.	7,8
4.4.	8,9	13.4.	8,6
4.5.	7,7	13.5.	4,2
5		14	
5.1.	7,8	14.1.	9,9
5.2.	8	14.2.	9,3
5.3.	6,9	14.3.	9,5
5.4.	7,9	14.4.	10
5.5.	7,6	14.5.	8,2
6		15	
6.1.	7,5	15.1.	11,1
6.2.	10,1	15.2.	10,6
6.3.	7,1	15.3.	10,8
6.4.	10,7	15.4.	11,1
6.5.	5,7	15.5.	
7		16	
7.1.	8,5	16.1.	8,8
7.2.	9,6	16.2.	8,2
7.3.	6,5	16.3.	8,3
7.4.	7,1	16.4.	9
7.5.	6,2	16.5.	9,2
8		17	
8.1.	10,6	17.1.	8
8.2.	11	17.2.	8,1
8.3.	9,7	17.3.	8,1
8.4.	8,6	17.4.	8,8
8.5.	7,3	17.5.	
9		18	
9.1.	11,1	18.1.	6,2
9.2.	11,6	18.2.	6,2
9.3.	9,5	18.3.	5
9.4.	9	18.4.	5,5
9.5.	7,5	18.5.	8,2

## Liite 3. Piikkimittaukset pinnasta tulokset

Mittauskohta	Kosteuspitoisuus (paino%)		
1	9,9	9,9	9,9
2	9,8	9,8	9,3
3	9,5	9,3	9,6
4	8,9	9	9,1
5	7,4	7,4	7,8
6	7,7	7,7	7,7
7	8,4	8,2	8,4
8	10,3	10,4	10,5
9	10,8	10,9	10,9
10	10,4	10,6	10,6
11	10	9,7	9,3
12	9,8	9,7	9,5
13	9,9	9,8	9,7
14	9,9	9,8	9,8
15	10,8	10,8	10,9
16	8	7,6	8,6
17	8	7,7	7,8
18	6,8	7,1	7,2