

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Janne Pasanen

CLT-rakenteiden kosteuskäyttäytyminen rakennuksen käytön aikana

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Janne Pasanen

Nimeke
CLT-rakenteiden kosteuskäyttäytyminen rakennuksen käytön aikana

Toimeksiantaja
Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin Joensuussa sijaitsevan uuden Hukanhaudan päiväkodin ristiinlaminoidusta massiivipuusta (CLT) tehtyjen seinärakenteiden kosteuskäyttäytymistä käyttöönoton jälkeisen syksyn ja talven aikana. Tutkimuksessa sovellettiin rakennukseen asennettuja antureita, joilla seurattiin sisätilojen ja ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. CLT-seinäelementtien kosteuspitoisuutta seurattiin pintakosteusmittarilla, ja seinäpinnan kuivumiseen liittyviä halkeamia mitattiin seurannan alussa ja lopussa. Lisäksi työssä selvitettiin, millaisena henkilökunta koki sisäolosuhteet ja näkyvät puiset CLT-pinnat.

Syksyllä CLT-rakenteiden kosteuspitoisuus oli 8 - 9 p-% ja sisäilman suhteellinen kosteus (RH) noin 20 - 57 %. Talvella CLT-rakenteiden kosteuspitoisuus oli jopa 6 p-% ja sisäilman RH 5 - 20 %, mikä oli alle suositeltujen rajojen. Päiväkodissa oli käyttöönoton alusta lähtien tehostettu ilmanvaihto, minkä vuoksi sisäilma kuivui normaalia enemmän. Myös halkeamat CLT:n pintalamellissa kasvoivat talven aikana paljon, erityisesti CLT:n liima-
saumojen tuntumassa. Halkeamien lisääntyminen oli odotettavaa, mutta kosteammalla sisäilmalla olisi mahdollisesti vältetty näin suuret halkeamien muutokset. Kuivan sisäilman ongelma tuli vahvasti esiin myös sisäolosuhdekyselyissä. Henkilökunta koki yksimielisesti sisällä näkyvät puupinnat miellyttävinä, eivätkä halkeamatkaan suurinta osaa häirinneet.

Kieli
suomi

Sivuja 62
Liitteet 2
Liitesivumäärä 16

Asiasanat

CLT-rakenne, puurakentaminen, sisäilma, ilman kosteus



THESIS
May 2019
Degree Programme in Construction
Engineering
Tikkariinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Janne Pasanen

Title
Moisture Performance of CLT Structures During the Use of a New Building

Commissioned by
Karelia UAS

Abstract

The aims of this study were to investigate moisture performance of cross laminated timber (CLT) structures during the first autumn and winter in new nursery in Joensuu in Finland.

Online sensors installed in the building to monitor indoor and outdoor air temperature and relative humidity (RH) were applied. Moisture content of the CLT wall elements were monitored several times by a surface moisture meter and cracks related to dehydration of wall surfaces were measured in the beginning and end of the follow-up period. Additionally, staff experiences of indoor conditions and visible wooden CLT surfaces were studied by a questionnaire and an interview.

In the autumn, moisture content of the CLT structures was 8 - 9% and the indoor air RH varied between 20 - 57%. In the winter, moisture content of CLT structures was even 6% and the indoor air RH about 5 - 20% which was below the recommendations. Enhanced ventilation during the follow-up period was likely causing exceptionally dry indoor air during the winter. Cracks in the surface lamella of the CLT increased significantly during the follow-up, especially near the CLT adhesive joints. Some increase in cracking of the CLT was expected, but major cracking could have been avoided with higher indoor RH. The problem of the dry indoor air was reported by staff in the questionnaire. The staff unanimously felt the visible wooden surfaces indoor as pleasant and most of them were not disturbed by the cracks.

Language

Finnish

Pages 62

Appendices 2

Pages of Appendices 16

Keywords

CLT structure, wood construction, indoor air, air humidity

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Taustaa.....	5
1.2	Työn tarkoitus ja tutkimuskysymykset.....	7
2	Puurakenteet ja sisäilma.....	8
2.1	Käsitteet ja termit.....	8
2.2	Puu materiaalina.....	10
2.2.1	Kosteusteknisiä ominaisuuksia.....	10
2.2.2	Lämpötekniisiä ominaisuuksia.....	13
2.3	Puu rakenteena sisätiloissa.....	14
2.3.1	Puu sisäilman kosteuden ja lämmön tasaajana.....	14
2.3.2	Puumateriaalien terveysvaikutukset.....	16
2.4	CLT-rakenne.....	17
2.4.1	Mitä CLT (Cross Laminated Timber) on?.....	17
2.4.2	Hoiskon CLT.....	18
2.5	Sisäilmaolosuhteet.....	20
3	Aineisto ja menetelmät.....	23
3.1	Kohteen kuvaus.....	23
3.1.1	Yleistä.....	23
3.1.2	Kohteen IV-järjestelmä.....	26
3.2	Tutkimusmenetelmät.....	27
3.2.1	Jatkuvatoimiset lämpötila- ja kosteusmittaukset.....	27
3.2.2	Seinäpinnan halkeamien mittaus.....	29
3.2.3	CLT:n kosteudenseuranta.....	31
4	Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	34
4.1	Antureiden tulokset ja niiden tarkastelu.....	34
4.2	CLT:n kosteus seuranta.....	38
4.3	Halkeamat CLT:ssä.....	41
4.4	Henkilökunnan kokemukset sisäolosuhteista.....	49
5	Johtopäätökset.....	55
6	Pohdinta.....	58
	Lähteet.....	60

Liitteet

Liite 1 Kuvat halkeamista mittausalueilla

Liite 2 SiMap-antureiden tuloksia

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Puurakentamisella on jo pitkä historia suomalaisessa rakentamisessa. Puun käytöllä rakenteissa on terveydellisesti useita positiivisia vaikutuksia. Sillä on muun muassa kyky tasata sisäilman kosteus- ja hiilidioksidipitoisuutta sekä monia muita tuntemattomiakin suureita. (Paloniitty Oy 2018.) Puurakentamisen arvioidaan kaksinkertaistuvan lähivuosina. Erityisesti julkisessa rakentamisessa puun käyttö on nostamassa suosiotaan. Syynä tälle on puurakentamisen prosessi-osaamisen ja tuotehallinnan kehitys. (Kiinteistölehti 2018.) Esimerkiksi Lapissa julkinen puurakentaminen on ollut vahvaa ja sen edistäminen on usein osana kuntastrategiaa (Harju ja Juntunen 2018). Erityisesti CLT-rakentaminen nähdään merkittävänä innovaationa, jonka vahvuuksia ovat korkea esivalmiusaste, ekologisuus, kotimaisuus ja laadukas sisäympäristö (Vatanen ym. 2017). Suomessa on viime vuosina perustettu useita CTL-tuotantolaitoksia ja CTL-rakentamisen mallikohteista on uutisoitu runsaasti eri puolilta Suomea. Suomalaiset ovat aktiivisesti mukana myös kansainvälisissä sisätilojen puumateriaalien tutkimuksessa, esimerkiksi Wood2New -hankkeessa (<http://www.wood2new.org>).

CLT-rakenteiden käyttö on vasta viime vuosina yleistynyt Suomessa, joten aihepiiri on melko uutta ja mielenkiintoista. Puuta pidetään yleisesti sisäolosuhteiden ja terveyden kannalta hyvänä materiaalina, koska se sitoo itseensä hyvin liiallisen kosteuden ja jos ilma menee liian kuivaksi se luovuttaa kosteutta sisäilmaan. Puurakenteilla ja -pinnoilla on merkitystä myös tilojen akustisiin olosuhteisiin ja viihtyvyyteen. Puumateriaalien terveystaikutuksiin liittyviä puun ominaisuuksia tutkitaan ja kehitetään myös Suomessa (Muilu-Mäkelä ym. 2014). Uusien CLT-rakenteiden vaikutuksesta tilojen käyttäjiin on kuitenkin varsin vähän tutkittua tietoa.

Karelia-ammattikorkeakoulu on myös huomannut puurakentamisen kasvattavan suosiotaan ja halunnut keskittyä paljon puurakentamisen kehittämiseen. Menossa on monia tutkimus- ja kehityshankkeita, jotka liittyvät puurakentamiseen.

(Karelia-ammattikorkeakoulu 2018.) Ammattikorkeakoulu on ollut aktiivisesti mukana myös uuden Hukanhaudan CLT-rakenteisen päiväkodin rakennushankkeessa ja sen myötä tarjoutui myös mahdollisuus tähän opinnäytetyöhön.

Samasta kohteesta on aikaisemmin valmistunut Henri Hakkaraisen opinnäytetyö ”CLT-rakentamisen työaikainen kosteudenhallinta ja -seuranta” (Hakkarainen 2018). Hakkarainen keskittyi opinnäytetyössään tutkimaan päiväkodin työaikaista kosteuden hallintaa ja seuranta. CLT-elementtien kuivumista hän seurasi pintakosteusmittarin avulla sekä tarkkaili visuaalisesti pintalamellin muutoksia. Kohteeseen asennettiin antureita, joiden avulla seurattiin rakennuksen lämpötilaa sekä kosteuskäyttäytymistä. Kosteudenhallinta rakentamisen aikana onnistui Hakkaraisen mukaan pääasiassa hyvin. Käytössä olleet lämmittimet olivat kuitenkin mitoitettu erityisesti kolmannessa lohossa liian suuriksi, mikä aiheutti CLT-elementeissä normaalia enemmän halkeilua. Lämmittimiä jouduttiin jaksottamaan ja sen avulla liialliselta halkeilulta vältyttiin. Työssä lämpötiloja ja kosteutta tarkasteltiin rakentamisen aloituksesta sen lämmitykseen saakka. Anturat jätettiin rakenteisiin, jotta lämpötiloja ja kosteutta voitaisiin tarkastella myös käytön aikana. Niinpä samoja antureita voitiinkin hyödyntää tässä opinnäytetyössä.

Sorsa ja Pajander (2018) vertailivat opinnäytetyössään kolmen uuden päiväkodin sisäilman laatua ja henkilökunnan oireilua. Yksi kohteista oli Hukanhaudan CLT-rakenteinen päiväkotikoti. Päiväkotien mitatussa sisäilman laadussa (CO₂, TVOC-pitoisuudet) tai henkilökunnan oireilussa ei havaittu selkeitä eroja, mutta Hukanhaudan päiväkodissa raportoitiin kuivasta sisäilmasta ja ilmanvaihtojärjestelmän toiminnassa oli selkeitä puutteita.

1.2 Työn tarkoitus ja tutkimuskysymykset

Tämä opinnäytetyö keskittyy CLT-rakenteiden käytönaikaiseen kosteuskäyttämiseen. Aiheeksi kiteytyi ”CLT-rakenteiden kosteuskäyttäytyminen käytön aikana”. Työn päätarkoituksena oli selvittää näkyviin jätetyn CLT-rakenteen kosteusteknistä toimintaa päiväkotirakennuksessa. Hukanhaudan päiväkodissa on käytetty runkomateriaalina pääsääntöisesti CLT-elementtejä. CLT-seinäelementtien sisäpinnat on jätetty suurimmalta osin näkyviin ja työssä keskitytäänkin tutkimaan näkyviin jätettyjen seinäpintojen kosteuselämistä.

Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksiä olivat seuraavat:

- Kuivuuko CLT-rakenne liikaa erityisesti talvella ja miten kuivuminen vaikuttaa halkeiluun?
- Miten puurakenteiden pintakäsittely vaikuttaa kosteuskäyttämiseen?
- Miten uuden CLT-rakenteisen päiväkodin sisäilman kosteus- ja lämpöolot vaihtelevat ja millainen on koettu sisäolosuhteiden laatu?
- Toimiiko näkyviin jätetty CLT-rakenne päiväkodissa hyvin kosteutta ja lämpötilaa tasaavana tekijänä ja luoko näkyvä puupinta hyviä vai huonoja tunteuksia viihtyisyyttä ajatellen?
- Mikä merkitys ilmanvaihtojärjestelmän säädöllä ja käytön ohjauksella on etenkin rakennuksen käyttöönoton alkuvaiheessa koettuihin sisäolosuhteisiin?

2 Puurakenteet ja sisäilma

2.1 Käsitteet ja termit

Absoluuttinen kosteus

Ilman todellinen vesihöyrymäärä ilmakeuutiometriä kohden (g/m³). Mitä lämpimämpi ilma on, sitä isomman määrän vesihöyryä se voi sisältää. (Siikanen 2014.)

Hygroσκοoppisuus

Kuvaa materiaalin kykyä sitoa kosteutta ilmasta (absorptio) ja päinvastoin luovuttaa kosteutta ilmaan (desorptio). Ympärillä olevan ilman suhteellisesta kosteudesta riippuu, luovuttaako vai sitooko materiaali kosteutta. (Siikanen 2014.)

Kosteuspuskurointi

Huokoisen materiaalin kyky tasoittaa suhteellisen kosteuden muutoksia luovuttamalla tai imemällä vesihöyryä sitä ympäröivästä ilmasta. Suhteellinen kosteus elää sisäilmassa paljon vuorokauden ja vuoden eri aikoina. Materiaalit, jotka kykenevät varastoimaan ja vapauttamaan kosteutta alentavat sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluiden ääriarvoja. Materiaalit, joilla on hyvä kosteuspuskurointikyky, omaavat suuren tehollisen kosteuskapasiteetin, mikä on tyypillistä hengittäville rakenteille. Käytännössä tällä tarkoitetaan, että kosteuskuormituksen aikana huoneilmasta siirtyy vesihöyryä rakenteeseen, joka sitoutuu siihen hygroσκοoppisena kosteutena. Ympäröivän ilman kuivuessa materiaali puolestaan luovuttaa kosteutta sitä ympäröivään ilmaan. (Puuinfo Oy 2019d; Siikanen 2008.)

CLT

CLT eli Cross Laminated Timber on ristiinlaminoitua massiivipuuta. Toimii kantavana ja jäykistävänä rakenteena. (RT 21-11289. 2017.)

Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus [RH] ilmoittaa prosentteina ilman vesihöyryn määrän suhteessa ilman enimmäisvesihöyrymäärään, eli kyllästymiskosteuteen (Siikanen 2014.)

Puun kosteusmäärä

Puun kosteus ilmoitetaan yleensä puussa olevan kosteuden massan ja kuivan puuaineksen massan välisenä suhteena, jonka lukuarvo ilmaistaan prosenttina kuivapainosta eli painoprosenttina (p-%). (Siikanen 2008, 143.) Tässä opinnäytetyössä puun kosteusarvot ilmaistaan painoprosentteina.

2.2 Puu materiaalina

2.2.1 Kosteusteknisiä ominaisuuksia

Puu voi imeä vettä nesteinä kapillaarisesti, höyrynä soluonteloiden kautta ja molekylaarisena diffuusiona soluseinämän läpi (Puuinfo 2019a). Puupohjaisilla aineilla on suuri hygroskooppisuus eli kyky sitoa kosteutta ilmasta ja luovuttaa kosteutta ilmaan, kun ilman suhteellinen kosteus muuttuu. (Siikanen 2008, 143.)

Puun kosteus ilmoitetaan yleensä puussa olevan kosteuden massan ja kuivan puuaineksen massan välisenä suhteena, jonka lukuarvo ilmaistaan prosenttina kuivapainosta eli painoprosenttina (p-%) (Siikanen 2008, 143). Tuoreen vastasahatun puun kosteuspitoisuus on normaalisti 40 - 200 p-%. Rakentamisessa käytettävän puun kosteuspitoisuus on yleensä 8 - 25 p-% ja se vaihtelee ilman suhteellisen kosteuden mukaan. (Puuinfo Oy. 2019a.) Tässä opinnäytetyössä puun kosteusarvot ilmaistaan painoprosentteina.

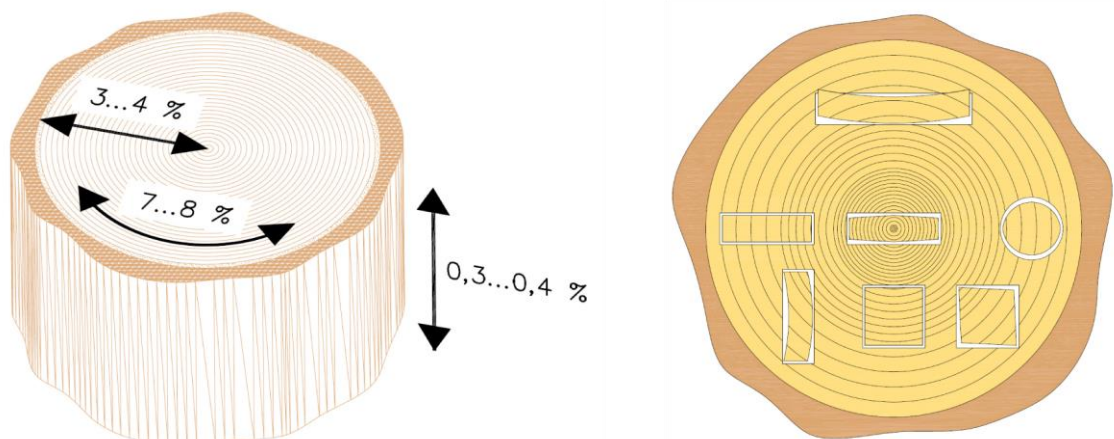
Puu pyrkii jatkuvasti asettumaan sitä ympäröivän ilman suhteellista kosteutta vastaavaan tasapainokosteuteen. Tasapainokosteus kuvataan yleensä tasapainokosteuskäyrällä (sorptiokäyrä). Siinä pystyakselilla on muuttujana aineen sitoma kosteus painoprosentteina ja vaaka-akselilla muuttujana hygroskooppisessa sorptiokäyrässä ilman suhteellinen kosteus (RH%). Puun lämpötilan nostamisella on suuri vaikutus sen kuivumiselle, koska sitä ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden pysyessä vakiona puu kuivuu. Oikein tehdyllä kuivatuksella ja kuivana säilymisellä on paljon vaikutusta puun lujuusominaisuuksien säilymisessä ja yleensäkin huolellisella valmistuksella voidaan varmistaa pitkä käyttöikä puumateriaalille. (Siikanen 2008, 44; Siikanen 2014, 77.)

Tasapainokosteuteen esikuivattu puutavara asettuu parissa viikossa. Kun soluseinämät ovat vedellä kyllästetyt, mutta soluonteloissa ei ole vapaata vettä, ovat puun syyt kyllästymispisteessä. Kuivuessaan puu alkaa kutistua, koska sen kosteus laskee alle kyllästymispisteen. Puu laajenee kastuessaan, mutta sen laajeneminen loppuu kyllästymispisteessä. Valtaosa puulajiemme kyllästymispisteistä

+20°C:ssa on noin 30 p-%. Puulla on hyvä kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta. Tätä ominaisuutta voidaankin käyttää rakentamisessa hyödyksi esimerkiksi sisäilman suhteellisen kosteuden tasaamisessa, mikä antaa mahdollisuuden myös säästää energiakustannuksissa. (Puuinfo Oy. 2019a.)

Puu on anistrooppinen materiaali. Tämä tarkoittaa, että puu kutistuu ja turpoaa eri suuntiin eri tavalla. Kun puu kuivataan täysin märästä absoluuttisen kuivaksi, kutistuu se tangentin suunnassa keskimäärin 8 %, pituussuunnassa 0,2 - 0,4 % ja säteen suunnassa noin 4 % (kuva 1). Tilavuuskutistuminen on tällöin noin 12 %, mikä osoittaa, että pitkittäissuuntaisella kosteuselämisellä ei ole merkitystä rakenteiden suunnittelussa. Poikittainen kutistuminen on runsasta, joten se on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa. (Siikanen 2008, 43.)

Puun kuivatuksen tekee vaikeaksi sydänpuun ja pintapuun kosteuserot. Pintapuu on aina kosteampaa kuin sydänpuu. Puulla on taipumus kuivuessaan kieroutua, mikä johtuu puun sisäisistä jännityksistä ja anistrooppisuudesta. Puun liiallinen kosteus on yleensä haitallista rakenteen toimivuuden kannalta. Sen takia puut tulee kuivattaa lähelle sen lopullista käyttökosteutta ennen käyttöä. Kosteuseläminen aiheuttaa muun muassa rakennuksen rungon painumista. Puu myös kutistuu tangentin suunnassa paljon, mikä aiheuttaa suurikokoisen puumateriaalin halkeilua. Halkeilua tapahtuu yleensä niissä kohdin, missä etäisyys puun pinnasta sen ytimeen on lyhin. (Puuinfo Oy. 2019a.)



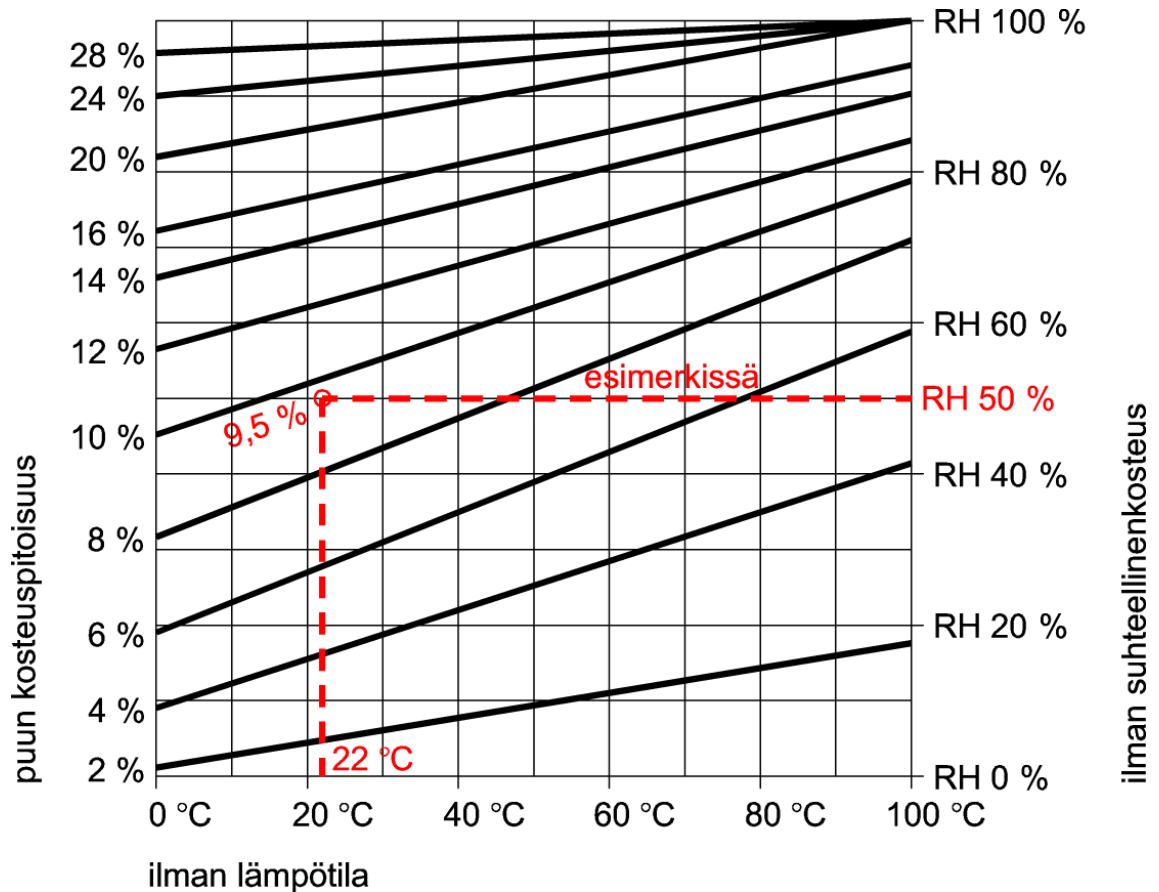
Kuva 1. Puun kutistuminen sen eri suunnissa (Puuinfo Oy. 2019a).

Kosteuden aiheuttama laajeneminen ja kutistuminen ovat yleensä suurempaa mitä tiheämpää puu on. Kun puu kuivuu ja alittaa syiden kyllästymispisteen, lujuusominaisuudet parantuvat merkittävästi. Esimerkiksi puun taivutus- ja puristuslujuus kaksinkertaistuvat puun kuivuessa tuoreesta puusta 12 - 15 %:iin. Vetolujuus on puolestaan suurimmillaan 6 - 12 %:n kosteuspitoisuudessa. (Puuinfo Oy. 2019a.)

Puuhun alkaa muodostua vaurioita, jos sen kosteus pysyy yli 20 %:ssa pitkiä aikoja. Tällöin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on normaalisti yli 80 - 90 %. Mikäli puuta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus pysyy jatkuvasti yli 80 %:ssa, puu alkaa homehtua muutamassa kuukaudessa. Jo 70 %:n ilman suhteellista kosteutta pidetään kriittisenä arvona. Puu alkaa lahota, kun ilman suhteellinen kosteus on yli 90 %. Edellytyksenä puun homehtumiselle ja lahoamiselle on kuitenkin, että lämpötila on +0 - +40 °C. Esimerkiksi pakkasella ilman suhteellinen kosteus voi olla pitkiäkin aikoja yli 85 %, mutta puu ei vaurioidu, koska lämpötila ei ole homeen ja lahon etenemiselle riittävä. Lisäksi homeitiöt ja lahottajasienet tarvitsevat toimiakseen ravinteita ja happea, joita normaalisti löytyy puusta itseltään ja sitä ympäröivästä ilmasta. (Puuinfo Oy. 2019a.)

Homeet eivät normaalisti heikennä puun rakenteellisia ominaisuuksia, koska se ei yleensä leviä puun pintaa syvemmälle. Pahempia vaurioita aiheuttavat homeet, jotka alkavat muodostumaan äärimmäisen kosteissa olosuhteissa (RH yli 90 %), jolloin puuhun alkaa muodostua myös lahovaurioita. Homeen mukana tulevat itiöt voivat aiheuttaa ihmisille allergisia reaktioita ja lieviä tulehdustiloja. Yleisimpiä oireita ovat nuha, huimaus ja päänsärky. Näiden terveysriskien vuoksi homeen esiintymiseen on suhtauduttava vakavasti. (Siikanen 2008, 74 - 75.)

Kuvassa 2 kuvataan puutavaran kosteuspitoisuuden riippuvuutta lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Kun tiedetään puuta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, voidaan käyrästön avulla arvioida puun kosteuspitoisuus painoprosentteina.



Kuva 2. Puutavaran kosteuspitoisuuden riippuvuus lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Kuvan esimerkillä havainnollistetaan käyrästä lukemista (Puuinfo Oy 2019a.)

2.2.2 Lämpötekniisiä ominaisuuksia

Puu on huokoinen materiaali, minkä myötä sen lämmönjohtavuus on suhteellisen vähäinen. Lämmönjohtavuus on riippuvainen puun tiheydestä. Mitä alhaisempi tiheys puulla on, sitä heikompi lämmönjohtavuus sillä on. Syiden suunnassa puun lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen verrattuna syitä vastaan kohtisuorassa. Puun kosteuden lisääntyminen parantaa lämmönjohtavuutta ja puun lämpötilan laskiessa sen lujuus kasvaa. Syiden suunnassa lämpölaajeneminen on hyvin pientä. Tangentin ja säteen suunnassa vastaavasti lämpölaajenemiset ovat huomattavasti suurempia. Lämpölaajenemiskertoimien ja kosteus kutistumakerroimien suhde puulla on samaa suuruusluokkaa syiden eri suunnissa. Puun lujuutta heikentää toistuva lämpötilan muutos. Puussa voi esiintyä pakkasesta aiheutuvia halkeamia alle +0 °C:ssa, koska soluonteloissa sijaitseva vesi laajenee jäätyessään. (Puuinfo Oy. 2019b.)

Puun lämmönvaraamiskykyyn vaikuttavat puun tiheys, kosteus, lämpötila ja syiden suunnat. Kuusella ja mänyllä ominaislämpö on keskimääräisesti 2300 J/kgK +0 - 100 °C:ssa. Veden ominaislämpö on suunnilleen neljä kertaa suurempi kuin puulla. Tästä syystä kosteuden lisääntyminen parantaa puun ominaislämpöä. Puun hyvää lämmönvaraamiskykyä kuvaa hyvin esimerkiksi, että tiilellä ja mäntypuulla on lähes sama lämpökapasiteetti, vaikka tiileen verrattuna puun tiheys on ainoastaan 1/3. Havupuun tiheys on noin 500 kg/m³ ja lämpökapasiteetti 1150 kJ/m³K. Se on suunnilleen samaa luokkaa kuin tiilellä (1260 kJ/m³K). (Siikanen 2008, 44.)

2.3 Puu rakenteena sisätiloissa

2.3.1 Puu sisäilman kosteuden ja lämmön tasaajana

Puupintojen vaikutus sisäilmaan on herättänyt nykypäivänä kasvavaa kiinnostusta. Puu pyrkii jatkuvasti tasapainokosteuteen ympäristön kanssa imemällä ja luovuttamalla kosteutta. Suomalaisella havupuulla tasapainokosteuskäyrien nouseva muoto on edullinen puskurivaikutuksen kannalta, kun puu voi sitoa ja luovuttaa vesihöyryä laajalla suhteellisen kosteuden vaikutusalueella. Kosteuspuskuroinnin avulla puu tasoittaa sisäilman suhteellisen kosteuden huippuja ja alentaa tämän myötä ilmanvaihdon kosteuskuormia rakennuksessa. Ilmanvaihtoa voidaan mahdollisesti vähentää, mikä säästää energiaa. (Puuinfo Oy 2019c; Kokko 2004.)

Kuusi- ja mäntypuun vesihöyrynläpäisevyys on melko pieni rungon suuntaa vastaan kohtisuorassa (noin $2...3 \cdot 10^{-12}$ kg / (msPa)). Tämä tarkoittaa, että vain noin 1 - 2 mm puun pintakerroksesta osallistuu tehollisen kosteuskapasiteetin muodostamiseen. Sen merkitys on kuitenkin suuri, mikä johtuu puun hyvistä hygroskooppisista ominaisuuksista ja sen tiheydestä, mikä on kuusella ja mänyllä yleensä noin 400 - 450 kg/m³. (Kokko 2004.)

Huoneilmaa vasten olevan puupinnan pintakäsittelyllä on puskurivaikutuksen kannalta suuri merkitys. Suurin osa pintakäsittelyaineista läpäisee kohtuullisesti vesihöyryä, mutta nekin voivat vähentää puskurivaikutusta jo merkittävästi. Pahimmillaan väärällä pintakäsittelyllä voidaan puskurointikyky tuhota täysin. (Kokko 2004.)

Puun ominaisuuksiin kosteuden tasaajana vaikuttavat merkittävästi kosteutta puskurivan materiaalin pinta-ala, syysuunta ja pintakäsittely. Myös puulajilla on merkitystä. Parhaimmat tulokset saadaan, kun käytetään sisäverhoilumateriaalina käsittelemätöntä puuta. Aina ei kuitenkaan käsittelemättömän puun käyttö ole mahdollista. Silloin yhtenä tapana kosteuspuskuroinnin lisäämiseksi on mahdollistaa ilman kierto sisäverhousrakenteen taakse käsittelemättömälle puupinnalle. Jos haluaa hyödyntää puun kosteuspuskurointikykyä pinnoitteen huonosta höyrynläpäisevyydestä huolimatta hyvin, on puun pinta-alaa kasvatettava mahdollisimman suureksi. Vastaavasti, jos höyrynläpäisevyys pinnoitteella on hyvä, voi puupinnan pinta-alaa pienentää. (Puuinfo Oy 2019d; Kokko 2004.)

Puulla on hyvä lämmönvaraamiskyky. Sen lämpökapasiteettiin vaikuttava tehollinen paksuus on noin 40 mm. Suuren lämpökapasiteetin avulla puu pystyy varastoimaan itseensä muun muassa huonetilojen liiallista lämpöä, joka pienentää huonetilojen lämpötilanousuja. Jos lämpötila sisäilmassa laskee, puu luovuttaa varastoimaansa lämpöä huoneilmaan. Tällä tavoin puulla pystytään tasaamaan asuintilojen lämpötilahuippuja. Puun tehollista lämpökapasiteettia pienentää muun muassa puupinnoilla käytetyt verhoilut tai pinnoitteet. Rakennuksissa, missä lämpökapasiteettia pyritään hyödyntämään tehokkaasti, lämpökapasiteetin vaikutus energiankulutukseen voi olla merkittävä. (Siikanen 2008, 138 - 139.)

2.3.2 Puumateriaalien terveysvaikutukset

Puumateriaaleilla on havaittu olevan positiivisia vaikutuksia ihmisen terveyteen. Puumateriaalit koetaan usein rauhoittavina ja miellyttävinä. Puun vaikutuksia ihmiseen on tutkittu myös erilaisilla fysiologisilla mittauksilla. Kliinisten tutkimusten määrä on kuitenkin vielä hyvin vähäistä. Näihin olisikin hyvä tulevaisuudessa panostaa enemmän, sillä tieteellisesti ja tilastollisesti todistettujen tutkimusten avulla pystyttäisiin parantamaan puutuotteiden markkinointiarvoa. Puusta saadaan rakennettua miellyttäviä sisätiloja sen hyvien fysikaalisten ominaisuuksiensa ansiosta. Puulla on heikko sähkönjohtavuus ja sen pinta tuntuu lämpimältä. (Muilu-Mäkelä ym. 2014.)

Männyn ja kuusen uuteaineilla sekä puusta haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä (VOC) on todettu antibakteerisia ominaisuuksia, jotka saattavat vähentää pintojen kautta tapahtuvan bakteeritartunnan todennäköisyyttä (Vainio-Kaila 2017). Tutkimustietoa ei silti ole riittävästi siitä, millaiset ovat puusta haihtuvien VOC-yhdisteiden pitoisuudet ja mitkä yksittäiset yhdisteet voisivat edistää terveyttä (Puuinfo 2019e).

Puun akustiset ominaisuudet soveltuvat hyvin sisätiloihin. Puulla on esimerkiksi hyvin kaikumista vähentävä vaikutus sisätiloissa, jolla voidaan vähentää äänistä aiheutuvaa stressiä. Puun hygroskooppiset ominaisuudet myös mahdollistavat miellyttävät lämpö- ja kosteusolosuhteet huonetiloihin. Puulla on hyvät antibakteeriset ominaisuudet, jonka avulla homeen ja bakteerien erittämien ihmiselle haitaksi olevien yhdisteiden määrä vähenee. Yleensäkin luonnollisella puupinnan näkymisellä on todettu olevan miellyttävä ja rauhoittava vaikutus. Vielä ei kuitenkaan tarkasti voida osoittaa, mitkä puun ominaisuudet vaikuttavat erityisesti ihmiseen ja tämän takia olisi hyvä jatkaa kattavien tutkimusten tekoa, jotta puun hyviä ominaisuuksia voitaisiin hyödyntää tulevaisuuden puurakentamisessa enemmän. (Muilu-Mäkelä ym. 2014.)

Kosteus- ja homevaurioilla on monenlaisia terveysvaikutuksia (Pekkanen ja Lampi 2015). Puumateriaalit vaikuttavat välillisesti terveyteen, koska niillä pysty-

tään vähentämään kosteusvaurioiden riskiä. Puun hyvällä kosteuspuskurointikyvyllä pystytään vähentämään kosteus- ja homevaurioriskejä. Puumateriaaleilla pystytään tasaamaan sisäilman kosteushuippuja, millä saadaan myös sisäilman kuivuuden aiheuttamia terveyshaittoja vähenemään.

2.4 CLT-rakenne

2.4.1 Mitä CLT (Cross Laminated Timber) on?

CLT (Cross Laminated Timber) koostuu ristiin liimatuista lujuusluokitelluista lautakerroksista, joita on yleensä kolme tai viisi. Tällä tavoin saadaan aikaiseksi erittäin luja, jäykkä, palonkestävä ja kevyt rakennuslevy sen ominaisuuksiinsa nähden. Muodonmuutokset ja kosteuseläminen saadaan levyjen välisillä poikittaisilla syysuunnilla minimoitua. Levyjen valmistustekniikoissa ja mitoissa on eroja valmistajien välillä. Levypaksuudet vaihtelevat 57 mm:n ja 400 mm:n välillä. Maksimileveys levyillä on noin 2,95 - 3,5 metriä ja maksimipituudet 12 - 22 metriä. Yleensä CLT-levyt valmistetaan kuusilautoista. Lujuusluokka käytetyllä sahata-varalla on normaalisti C24. (RT 21-11289. 2017.)

CLT-levyjä käytetään kantavan rungon osina, esimerkiksi seinissä sekä väli- ja yläpohjissa. Välipohjat voivat olla jänneväiltään maksimissaan 5 - 6 metriä. Pidempiinkin jänneväleihin on mahdollisuus päästä, mutta silloin levyjen paksuuksien tulee olla paksumpia ja jännevälin ylittäessä 6 metriä, suositellaan käytettäväksi ripalaattarakenteita. Runkorakenteiden lisäksi CLT:tä käytetään sisä- ja julkisivuverhouksissa. (RT 21-11289. 2017.)

CLT-levyjen mitat saadaan tehtyä hyvin tarkasti, koska ne työstetään tehtaalla koneellisesti. Esimerkiksi levyissä olevat ikkuna- ja oviaukot sekä muut varaukset saadaan mitoitettua elementteihin hyvin tarkasti. Näkyvät pinnat CLT-levyissä ovat normaalisti hiottuja ja pintakerroksen materiaali valikoidaan tarkasti, jotta se tuntuisi ja näyttäisi hyvältä. Pinta voi olla myös muuta puulajia kuin mitä CLT:n

laudoissa on käytetty. Myös jalopuuvanerin käyttö on mahdollista. (RT 21-11289. 2017.)

2.4.2 Hoiskon CLT

Hukanhaudan päiväkodin reunaliimatut CLT-elementit ovat Hoisko CLT Finland Oy:n valmistamia ja toimittamia. Puumateriaalina CLT:ssä on käytetty kotimaista C24-lujuusluokiteltua kuusta.

Hoiskon reunaliimatut CLT:t valmistuvat yksittäisistä laudoista, jotka kiinnitetään yhtenäisiksi levyiksi. Näistä levyistä kasataan toisiinsa nähden poikittaisia levykerroksia ja kiinnitetään kerrokset toisiinsa kiinni liiman avulla. Kun lopullinen levyille haluttu paksuus saavutetaan, puristetaan levykerrokset yhdeksi ja yhtenäiseksi tiiviiksi elementiksi. (Hoisko 2019.)

CLT haastaa teknisissä ominaisuuksissaan teräksen ja betonin. Se on kevyteensä nähden luja ja jäykkä. CLT-elementtien reunaliimatut saumat vähentävät saumojen rakoilua, jota tapahtuu paljon reunaliimaamattomissa elementeissä. Reunaliimauksen avulla myös kantavuus vahvistuu ja pinta pysyy visuaalisesti siistimpänä, mikä mahdollistaa CLT:n käytön näkyvänä pintana. Reunaliimauksen ansiosta on mahdollista toteuttaa rakentaminen ilman erillistä höyrynsulkua. On mahdollista valmistaa myös reunaliimaamattomia elementtejä. Tällöin ei voida taata kuitenkaan rakenteilta vaadittuja teknisiä ominaisuuksia, jotka liittyvät kosteuskäyttäytymiseen ja ilmatiiveyteen. (Hoisko 2019.)

Hoiskolla on CLT:n liimauksessa käytössä vain formaldehyditöntä polyuretaaniliimaa. Tämä on ympäristöystävällistä, vaaratonta ja tuoksutonta. Hoiskon CLT:llä on vähäpäästöisten rakennustuotteen M1-tunnus. Hoiskon liimaustekniikka ei estä elementin hengittävyttä, koska liima ei muodosta puumateriaalin väleihin kalvoja. (Hoisko 2019.)

CLT:n liallinen laajeneminen ja kutistuminen saadaan estettyä tiiviisti toisiinsa kiinni puristetuilla ristiinlaminoiduilla puukerroksilla. Tämä mahdollistaa tuotteen

valmistamisen tarkasti suunniteltujen mittojen mukaisiksi. CLT:ssä käytettävä massiivipuu takaa hyvän paloturvallisuuden. Vaikka massiivipuu hiiltyy, se ei syty nopeasti ja sen kantavuus säilyy hyvin tulipalon sattuessa. CLT:n pinta voidaan myös käsitellä syttymättömäksi. Sisätiloissa toteutettu valmistus minimoi CLT-materiaalien kosteusongelmat. Elementtien asentaminen paikoilleen työmaalla on nopeaa. (Hoisko 2019.)

Hoiskon CLT:llä on kolmen eri laatuluokan pintavalikoimaa (A, B ja C) (Hoisko 2016). Hukanhaudan päiväkodin CLT-pinnat kuuluvat laatuluokkaan A. Kuvassa 3 näkyvät kaikkien eri laatuluokkien vaatimukset. A-luokan olennaisin ero muihin luokkiin on, että siinä ei ole sallittu avoimia liimasaumoja, eli kaikkien lautojen reunat ja syrjät on liimattu myös umpeen.

HOISKO CLT pintavalikoima

Laatuluokat	A	B	C
Liimaus	ei avoimia liimasaumoja	avoimet saumat < 100 mm/m liimasaumat sallittu	avoimet saumat < 100 mm/m liimasaumat sallittu
Ulkoasu ja väri	väriässä ja rakenteessa ei eroja	väriässä ja rakenteessa ei suuria eroja	ei rajoituksia
Pinta	karkea pinta sallittu	karkea pinta sallittu	ei rajoituksia
Oksat	oksakohdat kuudessa: enint. 40 mm Ø satunnaiset tummat oksakohdat	terveet, kiinni kasvaneet oksakohdat ja satunnaiset tummat oksakohdat sallittu	sallittu
Pinnankorjaus 2	luonnolliset oksat sallittu	sallittu	sallittu
Pihkakolot	satunnaiset sallittu (enintään 3 mm x 40 mm)	satunnaiset sallittu (enintään 5 mm x 50 mm)	sallittu
Korjatut pihkakolot	sallittu	sallittu	sallittu
Puunkuoren kasvaminen sisään	ei sallittu	satunnaisesti sallittu	sallittu
Halkeamat	satunnaiset pintahalkeamat sallittu	satunnaiset pään ja pintahalkeamat sallittu (pituus enintään 50 mm)	sallittu
Puun sydän	satunnaiset sallittu (pituus enintään 400 mm) sallittu	sallittu	sallittu
Lylyt	satunnaiset sallittu	sallittu	sallittu
Hyönteistuhot	ei sallittu	ei sallittu	satunnaiset toukkien reiät sallittu
Värimuutokset	ei sallittu	pienet värimuutokset sallittu	sallittu
Lahot kohdat	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu
Pintapuu	ei sallittu	sallittu	sallittu
Pintakäsittelyn laatu	satunnaiset pienet virhe- kohdat sallittu	satunnaiset virhekohdat sallittu	ei rajoituksia

Kuva 3. Hoisko CLT:n pintavalikoimat (Kuva: Hoisko 2016).

CLT-elementtien kosteuden muutoksista aiheutuva laajeneminen tai kutistuminen minimoidaan lamellien ristiin liimaamisella. Ennen liimausta lamellilaudat kuivataan hyvin. Puun kosteuspitoisuus pyritään pitämään noin 12 p-%:ssa siinä vaiheessa. CLT:n kosteuspitoisuuden pitäisi asettua noin 8 - 10 p-%:n tasolle viimeistään kolmannen lämmityskauden jälkeen tavanomaisissa sisäolosuhteissa. (Hoisko 2016.)

Halkeamilta ei missään olosuhteissa voida täysin välttää. Kosteuden mukautuminen puussa aiheuttaa usein halkeamia ja repeämiä CLT:n pintoihin. Niillä ei kuitenkaan ole vaikutusta elementtien lujuusominaisuuksiin, eli ne ovat lähinnä vain visuaalisia haittoja. Huolellisella valmistuksella ja suurien kosteusmuutoksien välttämiseksi ei voida täysin estää halkeilun ja repeilyn syntymistä. Näkyvissä pinnoissa Hoisko pyrkii käyttämään 20 - 30 mm:n paksuista lamellia, jolla mahdollistetaan paras mahdollinen pintalaatu. Lopullinen CLT-levyn pinnan laatu nähdään vasta 1 - 3 lämmityskauden jälkeen. (Hoisko 2016.)

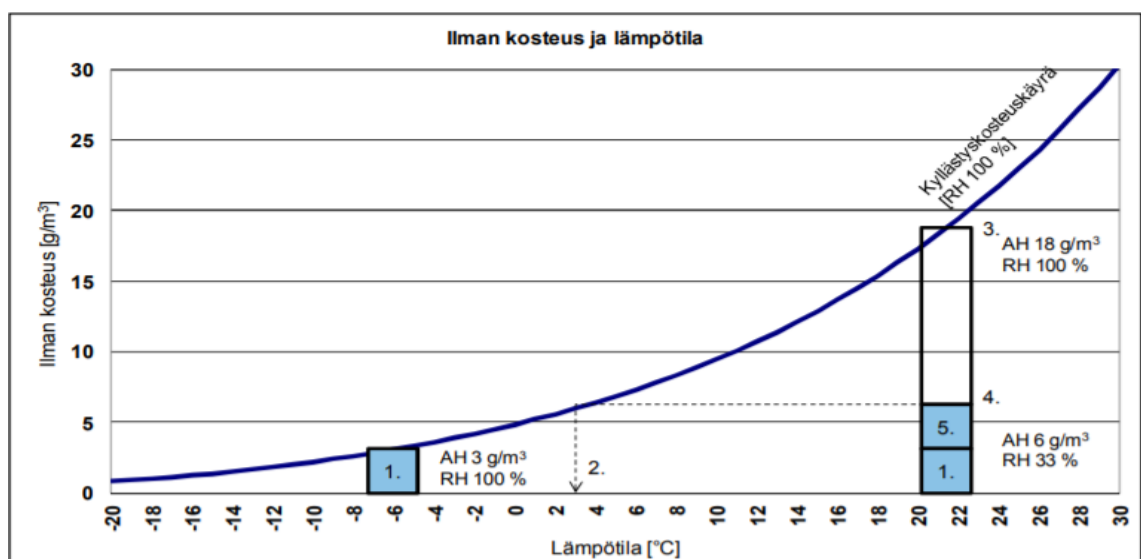
2.5 Sisäilmaolosuhteet

Sisäilman kosteudella ja lämpötilalla on vaikutusta koettuihin sisäympäristön olosuhteisiin. Niillä on myös vaikutusta rakenteiden fysikaaliseen toimintaan sekä vaurioitumisriskeihin. (Ympäristöopas 2016, 61.)

Jos rakennuksessa ei ole kostutusjärjestelmiä tai ilmastointia eikä jäähdytystä, suhteellinen kosteus sisäilmassa muotoutuu pääasiassa ulkoilman kosteuden mukaan. Sisäilmaan muodostuu myös lisäkosteutta esimerkiksi rakennuksen sisällä olevista ihmisistä ja erilaisista vedenkäyttöön liittyvistä laitteista. Tästä kosteudentuotosta on kyse, kun puhutaan kosteuslisästä. Kosteuslisällä on suurempi merkitys asuinrakennuksissa verrattuna toimistorakennuksiin, koska siellä kosteustuotto on yleensä suurempaa. Kosteuslisä saadaan laskettua sisä- ja ulkoilman kosteussisältöjen erotuksella. Yleensä se on asunhuoneistoissa noin 1 - 3 g/m³ ja toimistorakennuksissa < 2 g/m³. (Ympäristöopas 2016, 61 - 62.)

Asuntojen sisäilman suhteellinen kosteus pitäisi saada pysymään 20 - 60 % välillä (Asumisterveysohje 2003, 20). Talvisin sisäilman suhteellinen kosteus laskee kuitenkin usein alle 20 %:iin. Tämä johtuu kylmän ulkoilman pienestä absoluuttisesta kosteudesta, joka tullessaan lämpimään sisäilmaan pudottaa sisäilman suhteellisen kosteuden alhaiseksi, koska mitä lämpimämpi ilma on, sitä enemmän se voi sitoa itseensä kosteutta. Talvisin sisäilman suhteellinen kosteus saattaa laskea jopa alle 10 %:iin. Mitä korkeampi lämpötila on, sitä kuivemmalta ilma tuntuu. Kuiva sisäilma voi aiheuttaa rakennuksessa oleville ihmisille limakalvojen ja ihon ärtymistä. Liian kostea sisäilma harvoin aiheuttaa mitään terveyshaittoja, mutta jos se tiivistyy rakenteiden pinnoille, voi se aiheuttaa mikrobivaurioita, millä puolestaan voi olla negatiivisia terveysvaikutuksia. (Ympäristöopas 2016, 61 - 62.)

Kuvassa 4 on havainnollistettu ilman suhteellisen kosteuden kyllästymispisteitä eri olosuhteissa kyllästyskosteuskäyrän avulla. Kuvasta voidaan havaita, että esimerkiksi -6 °C:n lämpötilassa jo 3 g/m³ kosteutta kyllästyttää ilman, eli se saavuttaa 100 % suhteellisen kosteuden. Vastaavasti normaalin sisäilman lämpötilassa (+21 °C) ilma saavuttaa kyllästymispisteensä (RH 100 %), kun sen kosteussisältö on 18 g/m³. 3 g/m³ kosteutta + 21 °C:n lämpötilassa vastaa 16 %:n suhteellista kosteutta.



Kuva 4. Kosteussuureita ilman lämpötilan funktiona. Pystyakselina ilman absoluuttinen kosteus g/m³. Sinisellä viivalla kyllästyskosteus. (Lähde: Karnaattu ja Pesonen 2012.)

Sisäilman lämpötilalla on tärkeä merkitys viihtyisyyden ja terveyden kannalta. Suurin osa ihmisistä kokee noin +21 °C:n lämpötilan sisätiloissa mieluisimpana. Liian korkea sisäilman lämpötila aiheuttaa tunkkaisuutta ja ilmamäärä saattaa tuntua riittämättömältä. Liian matala sisäilman lämpötila on luonnollisesti myös suuri haittatekijä viihtyisyyden kannalta. Kylmyyden kokemuksiin vaikuttavat sisäilman lämpötilan lisäksi myös kylmät pinnat sekä ilman liike, eli vetoisuus. (Ympäristöopas 2016, 61.)

Vedon yleisimpiä syitä ovat rakenteissa esiintyvät ilmavuodot, puutteelliset tiivisteet ikkunoissa, liian suuret ilmavirrat, tuloilmaventtiilien huonot sijoittamiset tai kokonaan väärän malliset venttiilit (Valvira 2016).

On olemassa sisäilmastoluokitukset, jotka on tarkoitettu käytettäväksi määriteltäessä sisäilmastotavoitteita. Ne koskevat työ- ja asuintiloja. Kyseistä luokitusta käytetään erityisesti uusien rakennusten S1- ja S2-luokkien sisäilmastotavoitteiden asettamisessa, kun tavoitteena on määräystasoa parempi sisäilmasto. Sitä käytetään myös soveltaen korjausrakentamisessa. (Sisäilmastoluokitus 2018, 5.)

Sisäilmaluokkia on kolme (S1, S2 ja S3). Laatuluokassa S1 sisäilman laatu on todella hyvä eikä tiloissa esiinny aistittavia hajuja. Rakenteissa, jotka ovat yhteydessä sisäilmaan, ei ole ilman laatua heikentäviä epäpuhtauksia. Lämpötilat pysyvät mieluisina eikä vetoakaan ole ja tilan käyttäjä pystyy itse hallitsemaan lämpöoloja. Ääni- ja valaistusolosuhteetkin ovat erinomaiset. (Sisäilmastoluokitus 2018, 5.)

Laatuluokassa S2 ilman laatu on hyvä eikä häiritseviä hajuja esiinny. Rakenteissa, jotka ovat yhteydessä sisäilmaan, ei ole ilman laatua heikentäviä epäpuhtauksia. Lämpötilat pysyvät hyvällä tasolla eikä vetoa juurikaan havaita. Yliämpeneminen sallitaan kuumina kesäpäivinä. Tilojen ääni- ja valaistusolosuhteet ovat hyvällä tasolla. (Sisäilmastoluokitus 2018, 5.)

Laatuluokka S3 vastaa tyydyttävää sisäilmastoa, jossa vaaditaan, että tilojen olosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset säädökset sekä terveysuojelulain mukaan asetetut vähimmäisvaatimukset. (Sisäilmastoluokitus 2018, 5.)

3 Aineisto ja menetelmät

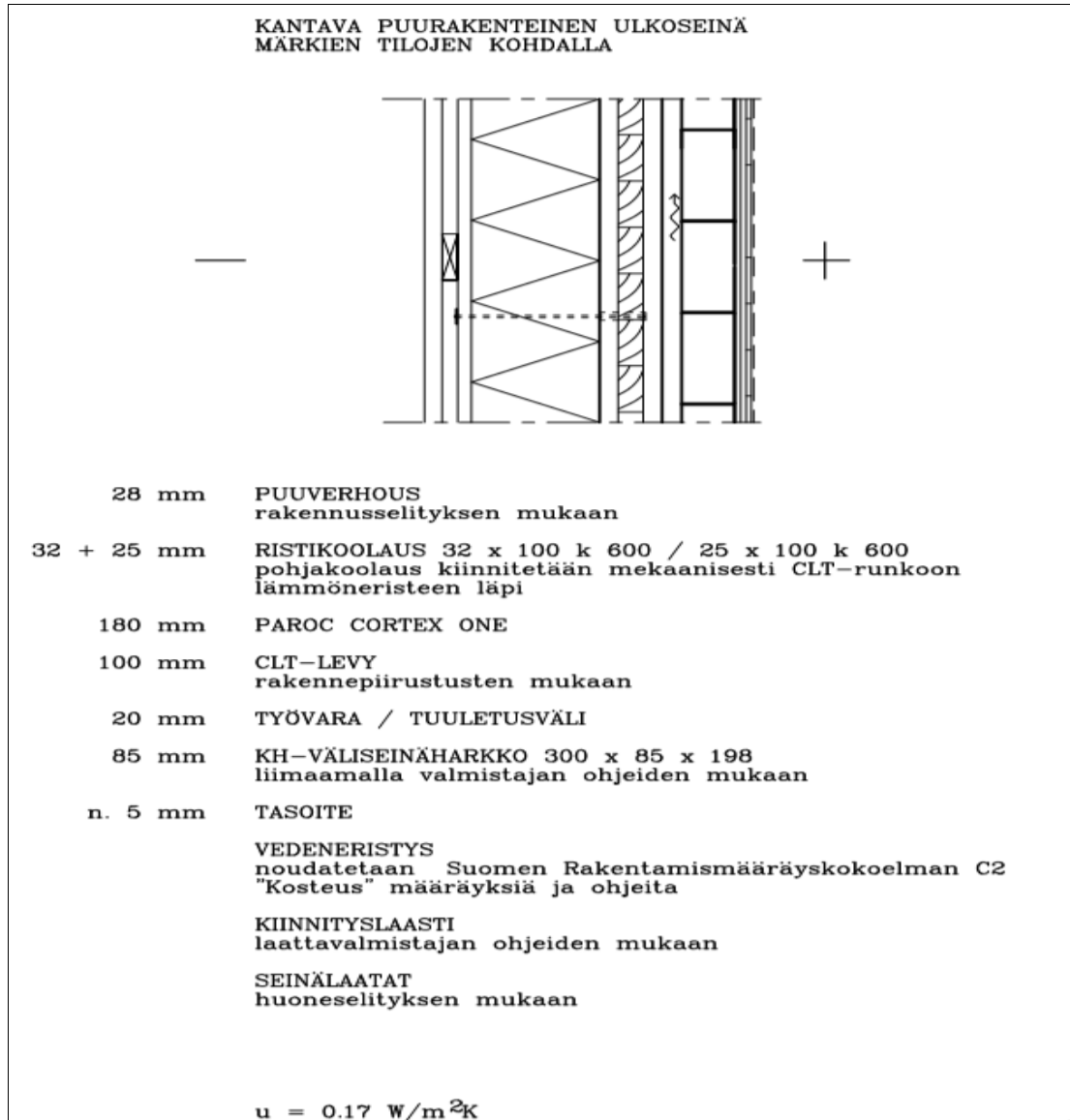
3.1 Kohteen kuvaus

3.1.1 Yleistä

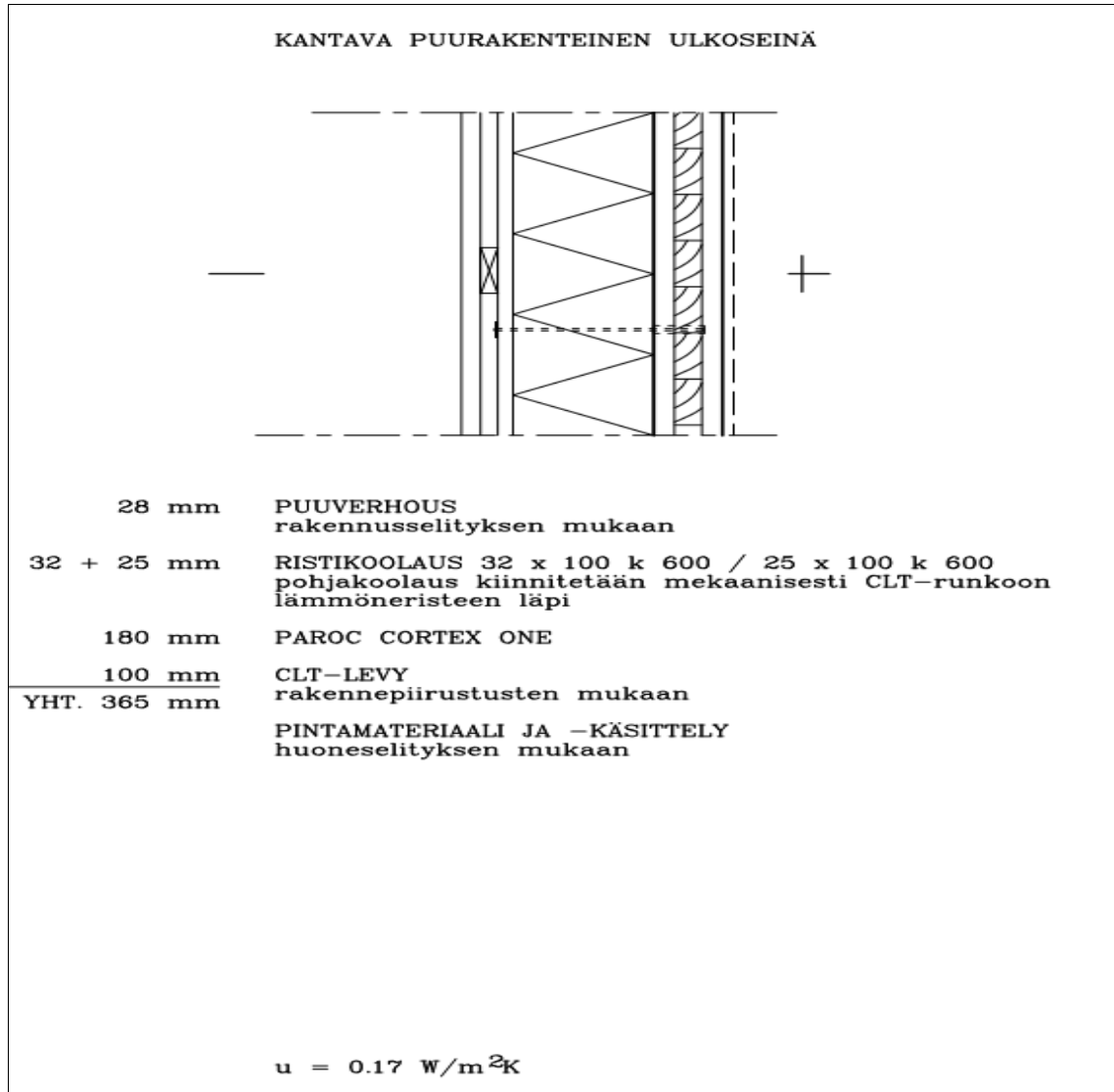
Kohde sijaitsee Joensuussa vanhan Hukanhaudan päiväkodin vieressä Jakokunnantie 3:ssa. Päiväkodin kantavat seinärungot ovat pääasiassa rakennettu CLT-elementeistä. Välipohjissa on käytetty ontelolaattaa, yläpohjat ja vesikattorakenteet ovat puurakenteisia ja alapohjissa on käytetty teräsbetonilaattaa.

Päiväkodin rakennuttajana toimi Joensuun kaupungin Tilakeskus ja päiväkodin toteuttajana oli Rakennustoimisto K. Tervo Oy. Rakentaminen aloitettiin elokuussa 2017 ja kohde valmistui lokakuussa 2018. (Hakkarainen 2018.)

Koska tämän työn tutkimukset liittyivät pääasiassa CLT-seinäelementteihin, on alla kuvat suunnitelluista CLT-rakenteista (kuva 5 ja 6). Lisäksi kohteesta on valokuva etupihalta maaliskuulta 2019 (kuva 7).



Kuva 5. Kantava puurakenteinen ulkoseinä märkätilojen kohdalla yleensä (Kuva: Insinööritoimisto Kantelinen Oy 2017).



Kuva 6. Kantava puurakenteinen ulkoseinä kuivissa tiloissa yleensä (Kuva: Insinööritoimisto Kantelinen Oy 2017).



Kuva 7. Hukanhaudan päiväkoti 22.3.2019.

3.1.2 Kohteen IV-järjestelmä

Hukanhaudan päiväkodissa on tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä, jolla pyritään mahdollisimman energiatehokkaiisiin tuloksiin. Vaikka puumateriaalien käytöllä on mahdollisuus säästää energiakustannuksissa, tässä kohteessa se ei ole keskeinen tavoite. Ilmanvaihto asetettiin vastaanottotarkastuksen jälkeen tehostuskäytölle vuoden ajaksi 1/1-ilmavirralla 24/7. Tehostetun ajan jälkeen IV-ohjaus muutetaan ns. käyttöajan ilmanvaihdon ohjaukseen. Käyttöaikana rakennuksessa toimii tällöin lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuteen perustuva TE/CO₂-ohjaus ja käyttöajan ulkopuolella käytössä on minimi-ilmanvaihto. Rakennuksessa ei ole käytetty ilmankostuttimia. Ilmavaihtokanavat on puhdistettu (tai tarkistettu puhtaus) ennen rakennuksen käyttöönottoa ja painesuhteita kohteessa seurataan jatkuvasti. (Joensuun Tilakeskus 2019.)

Kohteen Ultra-ilmamääräsäätimissä on ollut paljon ongelmia, eikä niitä ole vielä tähänkään mennessä saatu täysin korjattua. Tulo- tai poistoilman säädinpellit eivät aina asetu haluttuihin asentoihin. Molempien säätimet on asetettu niin, että niiden pitäisi aueta esimerkiksi 60 % suhteessa ääriasentoon, mutta jostain syystä erityisesti tuloilman säädinpellit eivät pysähdy haluttuun asentoon, vaan avautuvat väkisin ääriasentoon. Tämä on aiheuttanut tiloihin ylipainetta, mutta myös alipainetta on esiintynyt silloin, kun poistoilmansäädin avautuu liikaa. Kun tulo- ja poistoilman säädinpeltien asennot poikkeavat toisistaan yli 20 %-yksikköä, tuntee tämän jo vaikutusalueella liiallisena yli- tai alipaineisuutena. (Ryhänen 2019.)

Päiväkodin suunnitteluperusteena oli sisäilmaluokka S2 (Sorsa ja Pajander 2018, 7). Laatu luokassa S2 ilman laatu on hyvä eikä häiritseviä hajuja esiinny. Rakenteissa, jotka ovat yhteydessä sisäilmaan, ei ole ilman laatua heikentäviä epäpuhauksia. Lämpötilat pysyvät hyvällä tasolla eikä vetoa juurikaan havaita. Yliämpeneminen sallitaan kuumina kesäpäivinä. Tilojen ääni ja valaistusolosuhteet ovat hyvällä tasolla. (Sisäilmastoluokitus 2018, s. 5.)

3.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyössä tutkimustyökaluina toimivat SiMap-anturit, pintakosteusmittari, piikkimittari, rakotulkki ja mittanauha. Kokemuksia ja tuntemuksia sisäilmasta ja tilojen viihtyvyydestä selvitettiin kyselylomakkeiden avulla päiväkodin henkilökunnalta. Kirjallisen kyselyn lisäksi haastateltiin päiväkodin johtajaa suullisesti käyttäen kyselylomaketta haastattelun runkona. Alla olevissa luvuissa on kerrottu tarkemmin tutkimukseen liittyvistä menetelmistä ja työvälineistä.

3.2.1 Jatkuvatoimiset lämpötila- ja kosteusmittaukset

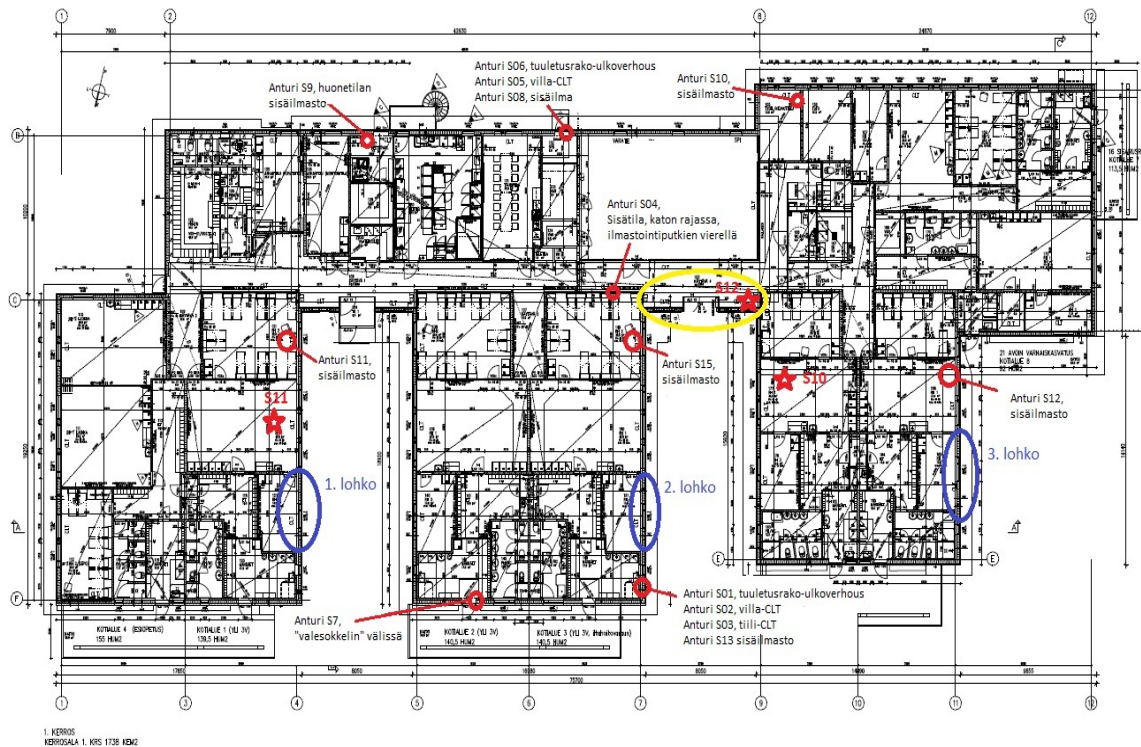
Ulkoseinien eri rakennekerrokseen asennettiin jo rakennusvaiheessa Si-Tecno Oy:n kehittälemät suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mittaavat SiMap-anturit. Nämä jätettiin rakennuksen valmistumisen jälkeenkin paikoilleen, jotta niiden

avulla pystyisi seuraamaan käyttöönoton aikaisia olosuhteita. Kohteeseen asennettiin yhteensä 14 anturia eri puolille rakennusta eri rakennekerrosten väliin. Etäluettavat anturit lähettivät dataa lähetinkeskukselle, joka oli sijoitettuna keskelle rakennusta niin, että signaali antureilta ylsi kaikilta antureilta päätelaitteelle. Lähetinkeskus tallensi kaikilta antureilta tulevan datan pilvipalveluun, mistä olosuhteita oli helppo seurata. Henri Hakkarainen on käsitellyt opinnäytetyössään ”CLT-rakentamisen työaikainen kosteudenhallinta ja seuranta” kattavasti järjestelmän toimintaperiaatteet ja selventänyt, miten rakentamisen aikana hän hyödynsi järjestelmän mittaamia tuloksia. Myös SiMapin nettisivuilta löytyy paljon tietoa toimintaperiaatteista ja tietoa heidän erilaisista kattavista mittausjärjestelmistään.

Tässä työssä hyödynnettiin viittä eri anturia. Lohkojen 1, 2 ja 3 sekä aulan suhteellisia kosteuksia ja lämpötiloja seurattiin HUM-kosteusanturien avulla ja ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta seurattiin EXTHUM-kosteusanturin avulla. Tässä työssä ei siis tarkasteltu rakenteiden sisäistä kosteus- ja lämpötilakäyttäytymistä, vaan tiedot lohkojen sisälämpötiloista ja sisäilman suhteellisista kosteuksista sekä ulkoilman vastaavista olosuhteista olivat tutkimuksien kannalta tärkeitä.

Järjestelmän toiminnassa oli paljon ongelmia syksyllä 2018, kun lähes kaikista antureista loppui virta paristoista ja osa antureista oli kadonnut niille merkityistä paikoista. Oletettavasti anturit olivat kadonneet rakennusvaiheessa. Antureihin tilattiin uusia paristoja ja jouduttiin muutama uusi anturikin tilaamaan, jotta kaikkiin lohkoihin saatiin toimivat anturit. Joulukuun puolessa välissä kaikkiin lohkoihin saatiin toimivat anturit, joten tämän takia kaikista lohkoista ei saanut olosuhetietoja tätä aiemmin. Helmikuun 17. päivänä 2019 oletettavasti nettiyhteys lähetinkeskukselta häiriintyi eikä pilvipalvelusta saanut sen jälkeisiä tietoja enää tähän työhön mukaan.

Kuvasta 8 näkyvät antureiden sijainnit. Kuvaan on merkitty punaisella tähdellä nykyiset sijainnit antureille, jotka siirrettiin joulukuussa 2018. Anturi S12 sijoitettiin aulaan, koska seinissä oli tuulikaappien ympärillä erityisen paljon havaittavissa halkeamia CLT:n pintalamellisissa. Anturilla haluttiin tarkkailla, olisiko kyseisten seinien lähellä olosuhteet erityisen huonot.



Kuva 8. Antureiden paikat merkattu punaisella. Uudet antureiden sijainnit merkitty tähdellä. Sinisellä merkitty alueet, joihin CLT:n kosteus- ja halkeamatutkimukset keskittyivät. Keltaisella merkitty alue aulasta, jota tarkasteltiin visuaalisesti. (Pohjakuva: Insinööritoimisto Kantelinen Oy. 2017.)

3.2.2 Seinäpinnan halkeamien mittaaminen

Halkeilun tutkimusmenetelmän idea saatiin Emil Janssonin tekemästä diplomityöstä Aalto-yliopistolle vuonna 2015. Aiheena hänellä oli "CLT-rakennuskomponentin halkeilun hallinta urittamalla ja toiminta pientalon sisäilmastossa". CLT-rakenteisten koekappaleiden halkeamamittauksissaan hän määritteli halkeaman alku- ja päätepisteen silmämääräisesti mahdollisimmat tarkasti. Halkeamaksi katsottiin kaikki vähintään 0,05 mm leveät halkeamat. Syitä vastaan kohtisuoraan esiintyneet halkeamat hän jätti huomioimatta, joita esiintyy monesti esimerkiksi oksien kohdalla. Hiukan vinoista halkeamista mitattiin todellinen pituus ja jyrkemmistä vinoista halkeamista mitattiin koekappaleen sivun suuntainen pituus lamellin syysuunnassa. Pituusmittaamisessa käytettiin muoviivainta ja halkeaman leveys mitattiin rakotulkin avulla, jonka mittaustoleranssi

oli 0,05 mm ... 1,00 mm. Yhtä millimetriä suuremmat halkeamat hän kirjasi tuloksiin yhden millimetrin levyisinä, koska muuten niillä olisi ollut liian suuri painoarvo tulosten vertailussa. Työssä mainitaan, että CLT:n kuivumishalkeilu eroaa normaalista sahatavarakappaleen halkeilukäyttäytymisestä, jolloin on perusteltua muokata CLT:lle omanlainen tyyli tarkastella halkeilua. (Emil Jansson 2015.)

Tässä työssä käytettiin paljon samaa tekniikkaa halkeamien tarkastelussa, mitä Jansson käytti työssään. Mittausalueita oli yhteensä kuusi kappaletta, jokaisesta lohkoista kaksi 2,7 m²:n aluetta. Jokaisen lohkon huoneet olivat lähes samanlaisia, mistä mittausalueet otettiin. Kuvassa 8 on sinisellä ympyröity mittausalueiden paikat, joista seurattiin halkeamamittausten lisäksi myös kosteuksia pintakosteusmittarilla ja piikkimittarilla. Keltaisella merkittyä aluetta aulasta tarkasteltiin vain visuaalisesti sen jälkeen, kun siinä havaittiin normaalia enemmän halkeilua. Tulososion (4.3) halkeamataulukoissa esiintyvät "v" tai "o" kirjaimet lohkojen perässä tarkoittavat vasenta tai oikeaa puolta seinästä. Katsomissuunta on huoneiden ikkunanvastaiselta seinältä ja vasen puoli tarkoittaa ikkunan vasemmanpuoleista seinää, oikea puoli vastaavasti ikkunan oikeanpuoleista seinää.

Lohkoista mitattiin ensimmäisen kerran halkeamat 15. - 16.11.2018 ja toisen kerran 15. ja 22.03.2019. Tarkoituksena oli mittauksien avulla saada havaittua talven aikana tapahtuvat mahdolliset muutokset halkeilussa tarkemmin, mitä pelkällä silmällä pystyy havaitsemaan. Tulososiosta huomaa, että muutoksia tapahtuikin paljon.

Jokaisen mittausalueen leveys oli viereisestä seinänurkasta ikkunaan päin 1000 mm ja korkeus seinälle nostetun lattiamaton yläreunasta kattoon asti 2700 mm. Halkeamien alku- ja päätepiste arvioitiin silmämääräisesti ja mitattiin mittanauhan avulla sen kokonaispituus. Rakotulkin avulla mitattiin jokaisen halkeaman leveys (0,05 mm ... 1,00 mm). Halkeamaksi luettiin kaikki vähintään 0,05 mm leveät halkeamat. Yli millimetrin levyiset halkeamat laskettiin yhden millimetrin levyisinä, jotta niiden painoarvo ei nousisi liian suureksi tuloksia vertaillaessa. Vinojen halkeamien pituus laskettiin lamellien syysuunnassa. Syitä vastaan kohtisuoria halkeamia ei huomioitu, joita esiintyi hyvin vähän.

Pinta-alat halkeamille laskettiin sen kokonaispituus kerrottuna halkeaman leveimmällä kohdalla. Mikäli useampi halkeama sijaitsi samassa kohtaa syysuunnassa alle 30 cm etäisyydellä toisistaan, laskettiin halkeama yhtenä halkeamana. Usein tällaisia esiintyi saumakohdissa, joissa lähes saman levyistä halkeamaa kulki lattiasta kattoon, mutta muutamissa kohdissa se hetkellisesti umpeutui. Kevään mittauksissa lähes kaikki kyseiset halkeamat olivatkin yhtyneet yhdeksi ja samaksi, pääsääntöisesti yli millimetrin paksuiseksi halkeamaksi.

3.2.3 CLT:n kosteudenseuranta

CLT-elementtien kosteuspitoisuuksia seurattiin pääasiassa pintakosteusmittarilla. Mittarina toimi Exotek MC-100S (kuva 9). Kyseistä tuotetta ei nykyään enää valmisteta, mutta sen korvannut malli on Exotek MC-160SA, joka on lähes samanlainen kuin mittauksissa käytetty mallikin. Sen avulla pystyi pintaa rikkomatta määrittelemään CLT:n kosteuden painoprosentteina n. 5 cm syvyydeltä, eikä ohut pinnoite puun päälläkään vaikuttanut tarkkuuteen. Tarkkuus puun kosteuden mittaamisessa painoprosentteina oli valmistajan mukaan $\pm 1\%$. (Humitec Oy. 2019.)

Hukanhaudan päiväkodin CLT:n pinnalla on käytetty pääasiassa pinnoitteena Teknosin hirsivahaa TM-T3073 (kuultava valkoinen). Käytävillä ja liikuntasalissa osa CLT:n pinnoista on pinnoitettu Teknosin hirsivahalla TM-T3019 (vaaleanruskea). Puupinnoilla ei ole tavoiteltu säästöä energiakustannuksissa. (Joensuun Tilakeskus 2019.)

Tämän työn kosteudenseurannan tutkimuksiin sisältyvien seinien pinnoitteena oli edellä mainittu kuultava valkoinen pinnoite. Sen avulla pinnasta saadaan vahainen vettä ja likaa hylkivä pinta, mutta samanaikaisesti se myös hengittää hyvin. Puupinta ei menetä kyseisen pinnoitteen vaikutuksesta luonnollista värisävyään. Tuotteella on rakennusmateriaalien päästöluokitusten M1-tunnus, kuten on myös Hoiskon toimittamilla CLT-elementeilläkin. (Teknos Oy. 2017.)

Pintakosteusmittarissa oli mahdollisuus tallentaa kosteuspitoisuuksia muistiin ja lopuksi se laski muistissa olevien kosteusprosenttien (p-%) keskiarvon. Mittauksissa hyödynnettiin tätä toimintoa ja kustakin seinäotannasta otettiin jokaisella mittauskerralla kymmenen kappaletta satunnaisesti kosteustuloksia painoprosentteina ja niiden keskiarvo kirjattiin lopulliseksi tulokseksi.

Pintakosteusmittarit ovat kehittyneet niin, että niillä pystytään määrittelemään puun kosteus painoprosentteina. Luotettavuuden takaavat nykyaikaiset digitaaliset ja analogiset osat. Mittareihin on muistiin tallennettu materiaalien tiedot ja muistista voi valita halutun materiaalin ja sen myötä laite pystyy tunnistamaan materiaalin kosteuden painoprosentteina. Painoprosentti ilmoittaa, montako prosenttia vettä aineessa on verrattuna kuivapainoon. Pintakosteusmittari mittaa puolipallon muotoisen kosteusalueen ja sen halkaisija on mittarin elektrodien väli. (Pietiko Oy. 2019.)

Pintakosteusmittarilla mitattujen kosteuksien lisäksi kohteesta mitattiin kertaalleen kosteudet piikkimittarilla (kuva 10) jokaisesta lohokosta tarkasteltavien halkeamamittausalueiden läheisyydestä. Piikkimittarin toiminta perustuu kahden puuhun lyötävän metallipiikin välisen konduktanssin mittaamiseen ja se antaa kosteuden yleensä painoprosentteina. Sen luotettavuus on yleensä parempi kuin pintakosteusmittarin. Tämän takia haluttiinkin kertaalleen katsoa antavatko molemmat mittarit samansuuntaisia arvoja ja tuloksista voidaankin huomata, että kosteuspitoisuudet molemmilla mittareilla mitatessa olivat samaa luokkaa. On hyvä muistaa, että molemmat menetelmät ovat kuitenkin suuntaa antavia menetelmiä eikä tulokset ole aivan absoluuttisen tarkkoja. Täysin absoluuttisten arvojen laskemiseen täytyisi käyttää esimerkiksi kuivatus-punnitusmenetelmää. Kyseisessä menetelmässä tutkittavasta materiaalista otetaan näyte, joka punnitaan sen ollessa vielä kostea. Punnituksen jälkeen näyte kuivataan ja kuivatuksen jälkeen punnitaan uudelleen. Kuivaamattoman ja kuivatun näytteen punnitustulosten erotuksesta saadaan määriteltyä materiaalin absoluuttinen kosteus. (Ympäristöopas 2016, 56 - 57.)



Kuva 9. Pintakosteusmittari MC-100S

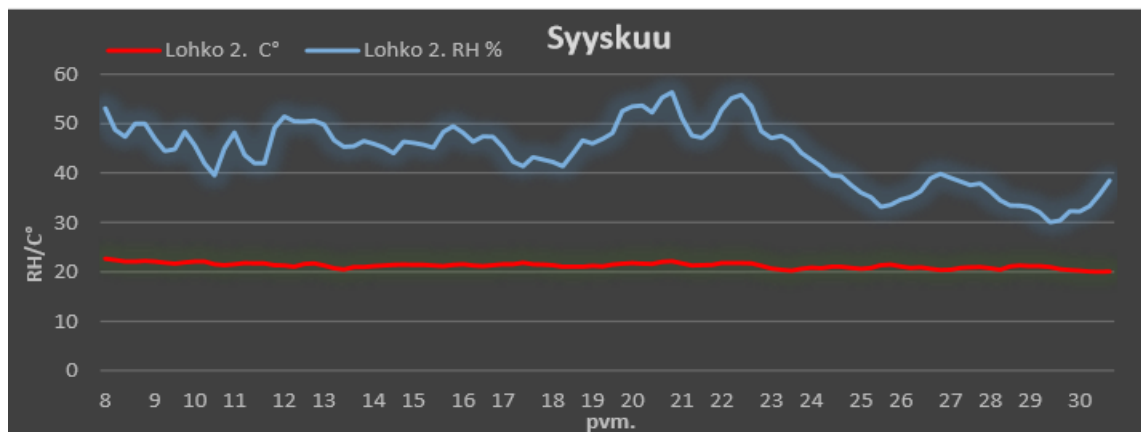


Kuva 10. Piikkimittari

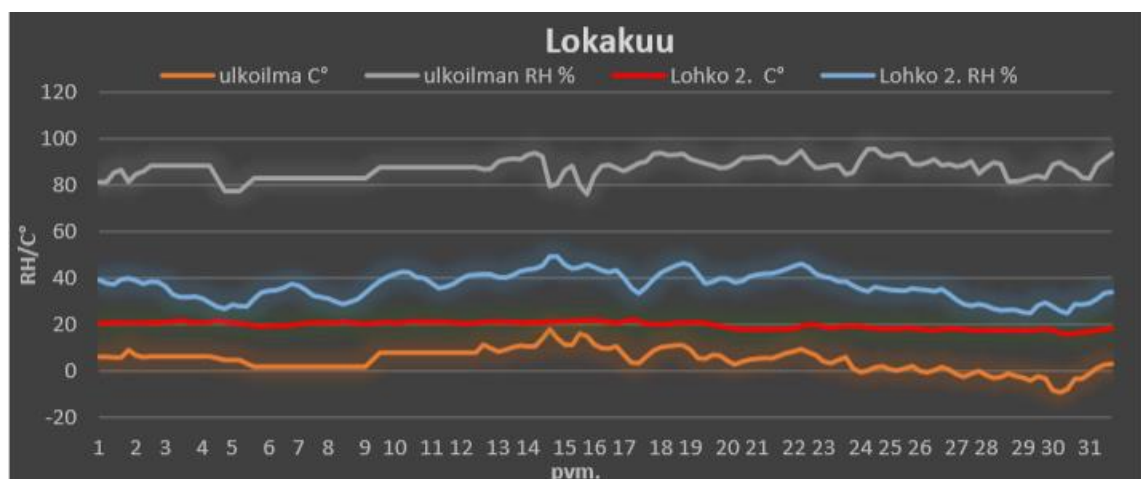
4 Tulokset ja tulosten tarkastelu

4.1 Antureiden tulokset ja niiden tarkastelu

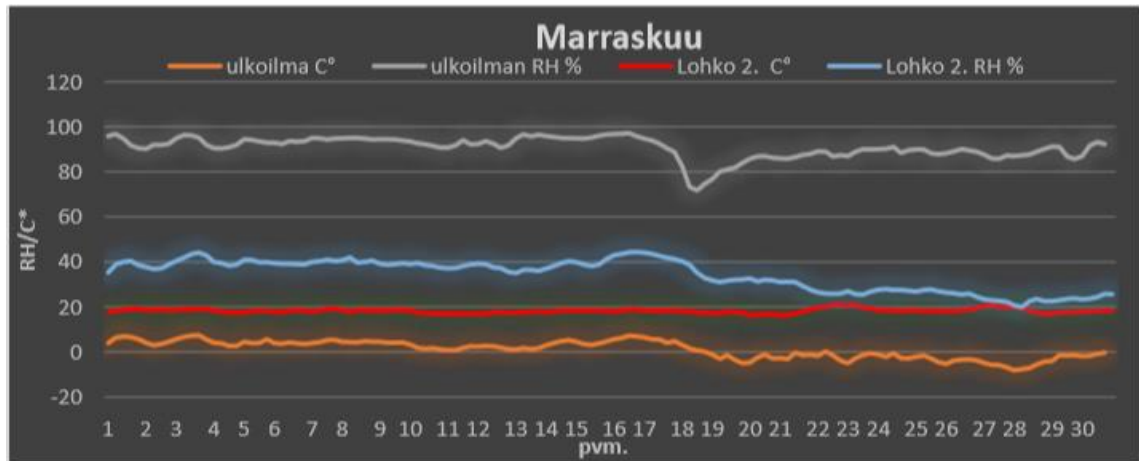
Alle on koottu lohkon 1 SiMap-antureiden mittaustuloksia sisäilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta (kuvat 15 - 17). Näiden lisäksi tarkasteltavaksi otettiin lohkon 2 vastaavat kaaviot syksyn 2018 osalta, koska sieltä sai syksyn osalta kattavimmat tulokset (kuvat 11 - 14). Antureiden toiminnassa oli ongelmia erityisesti syksyllä ja kaikki data pimeni helmikuussa 2019, minkä vuoksi helmikuun puolen välin jälkeen ei tuloksia ollut enää saatavilla. Liitteessä 2 on esitetty kaikkien lohkojen vastaavat tulokset. Lohkojen välillä ei lämpötiloissa ja sisäilman suhteellisissa kosteuksissa ollut juurikaan eroja.



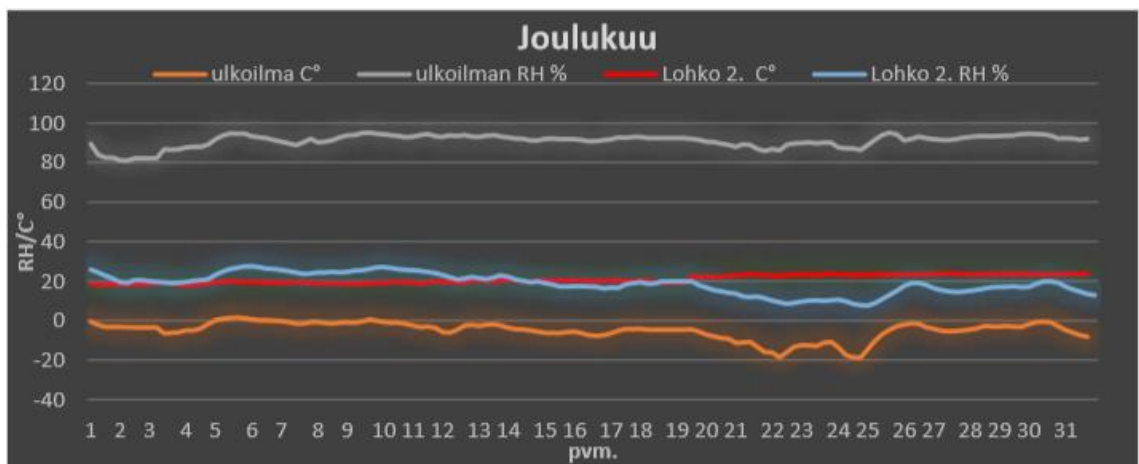
Kuva 11. Lohkon 2 sisäilman RH% ja lämpötila syyskuulta 2018.



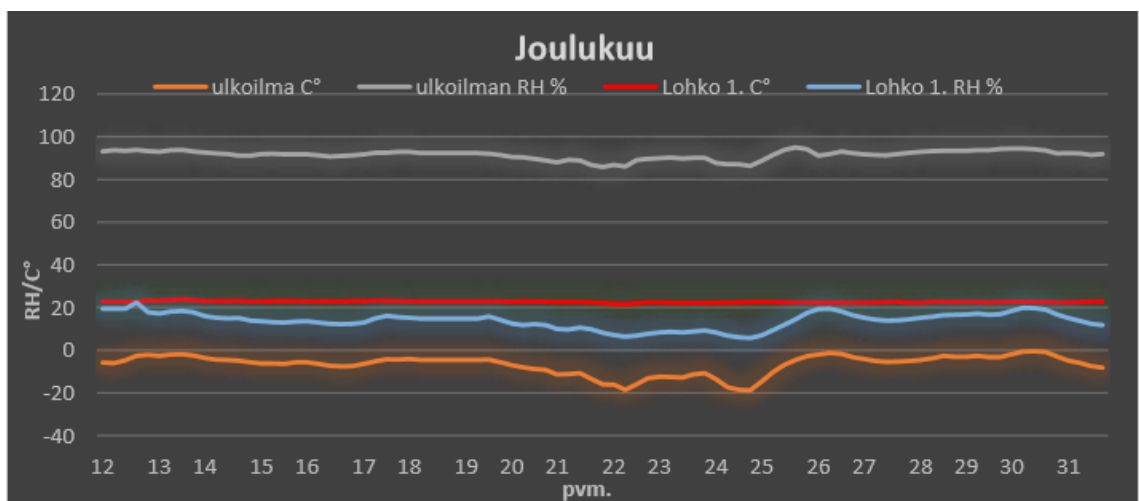
Kuva 12. Lohkon 2 RH% ja lämpötila sisällä sekä ulkona lokakuussa 2018.



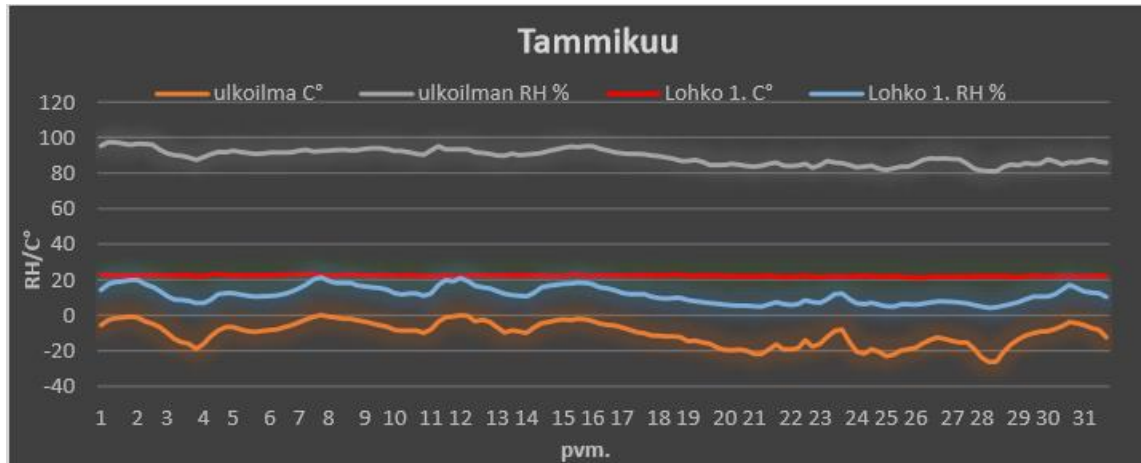
Kuva 13. Lohkon 2 RH% ja lämpötila sisällä sekä ulkona marraskuussa 2018.



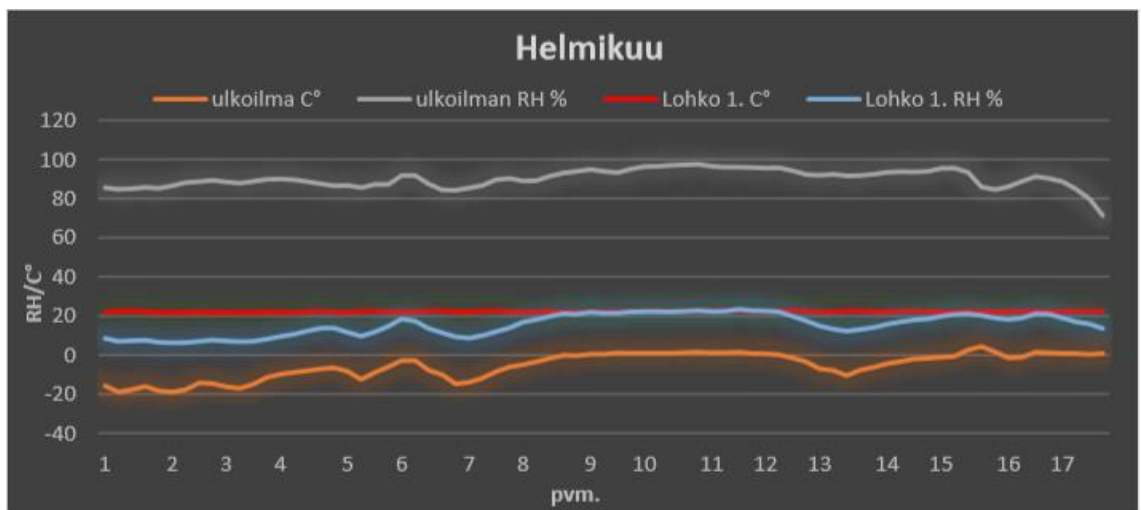
Kuva 14. Lohkon 2 RH% ja lämpötila sisällä sekä ulkona joulukuussa 2018.



Kuva 15. Lohkon 1 RH% ja lämpötila sisällä sekä ulkona joulukuussa 2018.



Kuva 16. Lohkon 1 RH% ja lämpötila sisällä sekä ulkona tammikuussa 2019.



Kuva 17. Lohkon 1 RH% ja lämpötila sisällä ja ulkona helmikuussa 2019.

Syyskuu oli ensimmäinen kuukausi, mistä sensoreiden keräämää dataa alkoi kerätyä. Ulkoilman lämpötila-anturi alkoi kuitenkin toimia vasta lokakuussa, joten syyskuulta ei ole tietoja ulkoilman lämpötilasta eikä suhteellisesta kosteudesta.

Syyskuussa sisäilman suhteellinen kosteus kuitenkin pysyi 30 - 56 %:n välillä, mistä voitiin päätellä, että ulkoilma oli vielä lämmintä. Syyskuun osalta sisäilman RH% ja lämpötila pysyivät hyvällä tasolla tiloissa olevien ihmisten sekä CLT:n kannalta. Sisäilman lämpötila pysyi 20 - 23 °C:n välillä. Korkeimmat sisäilman RH%:t ajoittuivat hetkiin, jolloin ulkona oli sateisia päiviä ja alimmat RH%:t hetkiin, jolloin oli kuivempia päiviä. (kuva 11)

Lokakuussa sää jo hieman kylmeni, joka näkyi heti myös sisäilman RH%:ssa ja hieman myös lämpötilassa. Sisäilman RH% pysytteli 25 - 49 %:n välillä. Lämpötila sisällä kävi pariin otteeseen alle 20 °C:ssa. Alimmillaan se kävi jopa 16 °C:ssa. Samaan aikaan oli lokakuun kylmin hetki myös ulkona (n. - 9 °C). Vaikka sää kylmenikin kuun loppua kohti, pysyi ulkoilman RH% samalla tasolla. Vaikka ilman kylmetessä suhteellinen kosteus pysyykin korkealla, on sen todellinen vesimäärä pienempi. Tämän myötä, kun kylmä ulkoilma lämmitetään ja tuodaan lämpimään sisäilmaan, joka pystyy sitomaan itseensä enemmän kosteutta, samainen absoluuttinen kosteusmäärä on suhteellisenä kosteutena huomattavasti pienempi. Tämän huomion pystyi tekemään lokakuun tuloksista (kuva 12). Myös muiden kuukausien tuloksista pystyttiin havaitsemaan, että ulkoilman lämpötila ja sisäilman RH% muodostivat hyvin samanmuotoisia kuvioita samanaikaisesti. Tämä johtuu edelleen siitä, että ulkoilman kylmetessä, sen absoluuttinen kosteusmäärä pienenee ja sisäilmaan tullessa se näkyy RH%:n laskuna. Pääsääntöisesti, kun ulkona oli sateisempia päiviä, ei ulkolämpötilakaan pudonnut erityisen alhaiseksi.

Marraskuun alussa sää ulkona oli leutoa ja kosteaa, minkä pystyi havaitsemaan myös tuloksista. Lämpötila ulkona pysyi kuun puoliväliin asti 0 - 7,5 °C:n välillä ja RH% ulkona pysytteli 90 - 97 % välillä. Tämän myötä myös sisäilman RH% pysyi hyvällä tasolla. Lämpötila sisällä pysytteli koko kuukauden 17 - 20 °C:n välillä, mikä oli hieman lokakuuta alhaisempi. 18. päivä lämpötila hieman laski ja silloin oli kuiva päivä myös ulkona, minkä pystyi havaitsemaan myös rajusta ulkoilman RH%:n laskusta kyseseinä päivänä. Loppukuukausi olikin jo hieman kylmempää ja kuivempaa. Sisäilman RH% laski sen takia 40 %:sta 20 - 30 %:n välille. (kuva 13)

Joulukuussa ilma kylmeni ja ilman suhteellinen kosteus laski entisestään ja tuloksista voitiinkin huomata sisäilman RH%:n pudonneen jo alle 20 %:n kuun puolenvälin jälkeen. Alimmillaan sisäilman RH% kävi 1. lohkoissa jopa alle 6 %:ssa, kun ulkona oli lähes 20 °C pakkasta (kuva 15). Lohkossa 2 sisäilman RH% kävi samaan aikaan alimmillaan 7,5 %:ssa (kuva 14), eli pieniä eroja lohkojen välillä oli myös havaittavissa. Lämpötilat sisällä pysyivät molemmissa lohkoissa 20 - 23 °C:n välillä, mikä viittasi siihen, että lämmitystä marraskuulta oli tehostettu.

Tammikuussa lämpötila ulkona pysytteli -0:n- ja -26 °C:n välillä. Vaikka RH% ulkona oli korkea, kylmää ulkoilmaa lämmittäessä sen RH% putosi hyvin alhaiseksi. Tästä syystä noin 21 °C:n sisäilmassa RH% oli suurimmaksi osaksi alle 10 %. Alimmillaan 1. lohkoissa se oli tammikuun kovimmilla pakkasilla, jopa 4,5 % (kuva 16).

Helmikuun alussa pakkaset jatkuivat ja sen myötä sisäilman suhteellinen kosteus pysyi alle 10 %:ssa. Ensimmäisen viikon jälkeen sää lauhtui ja tästä syystä myös sisäilman suhteellinen kosteus nousi yli 10 %:iin. (kuva 17)

Antureiden tuloksia ei ollut enää saatavilla helmikuun 17. päivä jälkeen, joten pidemmälle tätä tarkastelua ei voitu jatkaa. Oletettavaa kuitenkin on, kuten helmikuun lopusta huomattiin, että ulkolämpötilan noustessa sisäilman suhteellinen kosteus ei enää helposti mene alle 10 %. Kevät on kuitenkin syksyä kuivempaa aikaa, joten vaikka lämpötila ulkona kasvaa, ei sen suhteellinen kosteus nouse syksyn tasolle eikä sen takia sisäilman suhteellinen kosteuskaan nouse samalle tasolle kuin syksyllä. Aivan helmikuun lopulta voitiinkin huomata, että ulkolämpötilan noustessa sen RH% laski ja tästä syystä myös sisäilman RH% kääntyi laskuun. Lumien sulaminen kuitenkin kostuttaa muutoin kuivaa ulkoilmaa, jonka avulla vältetään talvella vallinneet äärimmäisen kuivat sisäilman olosuhteet.

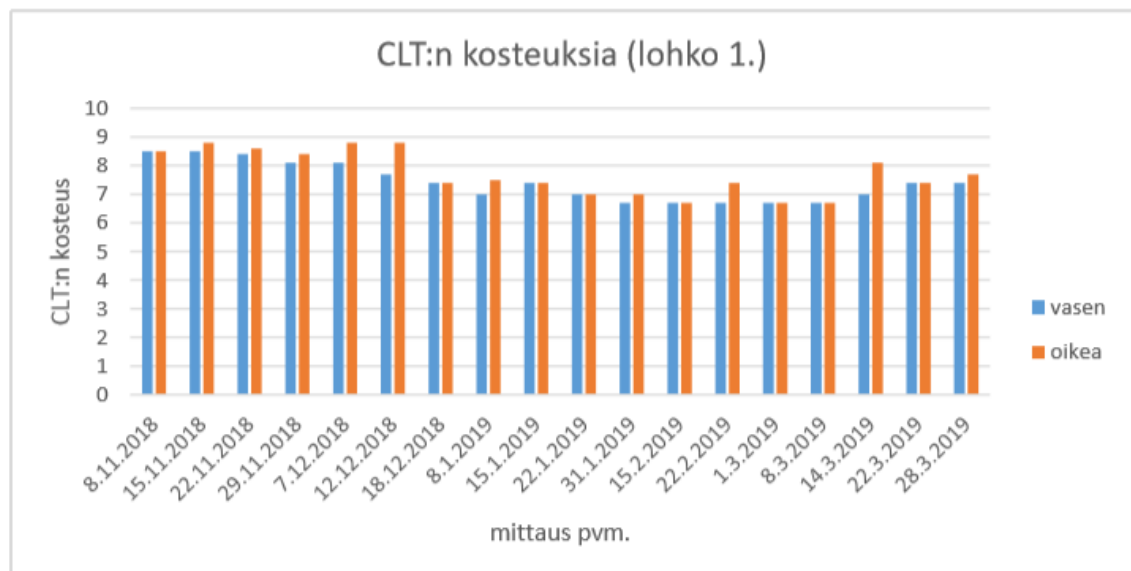
4.2 CLT:n kosteus seuranta

CLT:n kosteus pitoisuuksia mitattiin marraskuun 2018 – maaliskuun 2019 välisenä aikana. Mittauskertoja kertyi yhteensä 18 kappaletta. Mittaukset otettiin samoista kohdista mistä halkeamamittaukset tehtiin. Lisäksi aulan, lohkojen 2 ja 3 välisen tuulikaapin viereisiä CLT:n kosteus pitoisuuksia alettiin seurata joulukuusta eteenpäin, kun niihin näytti silmämääräisesti muodostuvan paljon halkeamia. Olosuhteet eivät kuitenkaan olleet muista tiloista poikkeavia, joten mitään erityisempää syytä näille halkeamille ei löydetty. Alle on koottu kaikista

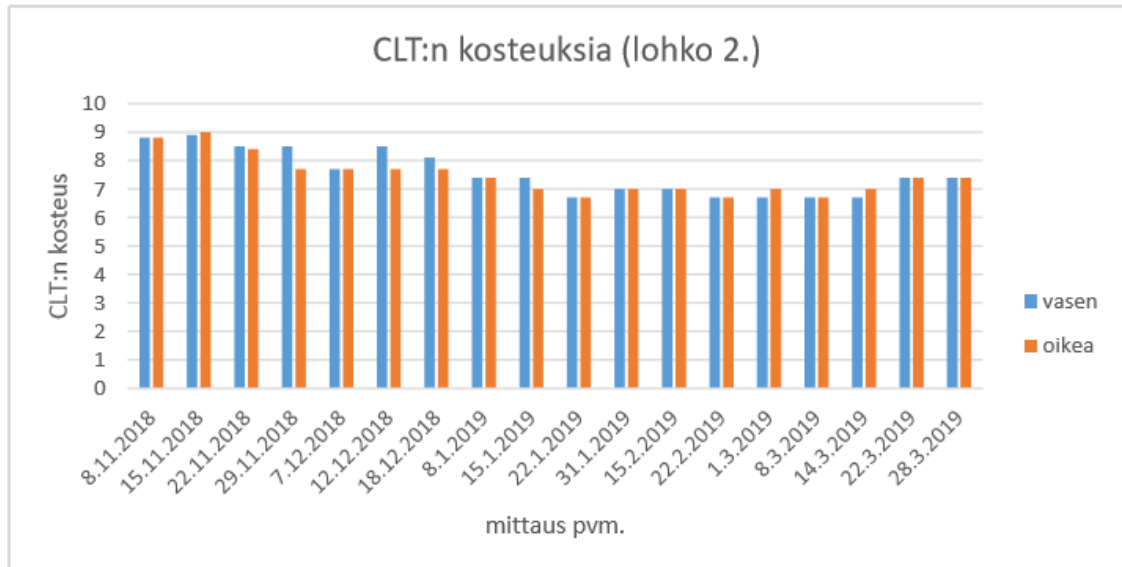
lohkoista mittaustulokset (kuvat 18 - 21), mistä näkee jokaisen mittauskerran tulokset. CLT:n kosteudet kuvataan painoprosentteina. Kuvien 18 - 20 tekstit "vasen" ja "oikea" tarkoittavat lohkojen mittausalueita, mistä CLT:n pintalamellien halkeamiakin tarkasteltiin. Näiden sijainnista on tarkemmin kerrottu tämän työn luvussa 3.2.2.

Kaikkien tilojen CLT:n kosteuden muutokset noudattavat samaa kaavaa. Syksyllä kosteudet pysyivät pääsääntöisesti 8 - 9 p-%:n välissä ja kovimmilla pakkasjaksoilla talvella kosteudet laskivat alimmillaan lähelle 6 p-%.

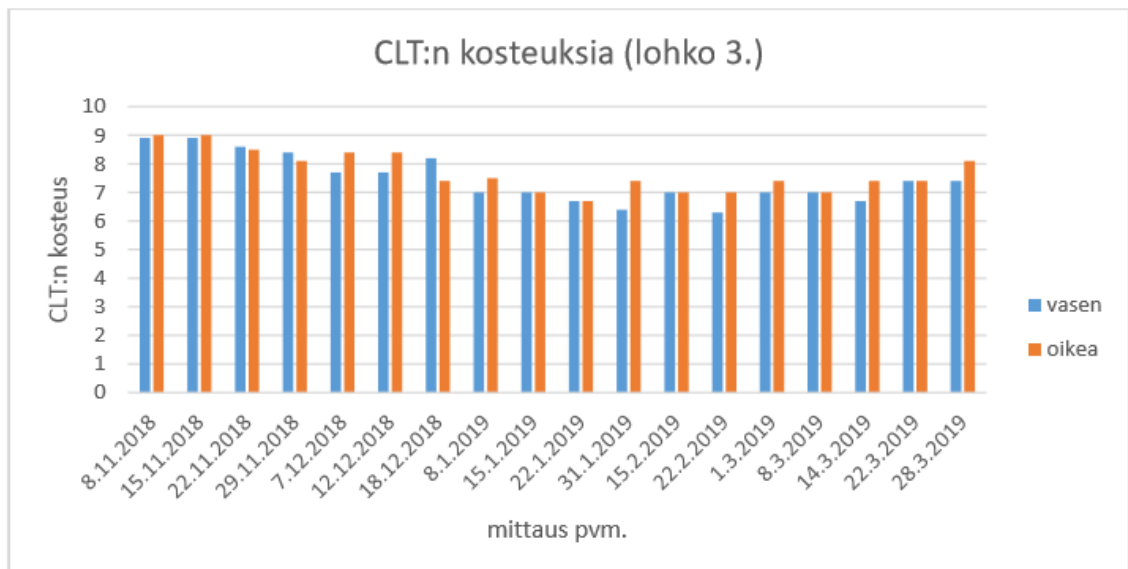
Piikkimittarilla tehtiin mittaukset kertaalleen 18.12.2019. jokaisesta lohkoista. Lohkossa 3 tulos oli 7,5 p-%, 2. lohkoissa 8 p-% ja 1. lohkoissa 8,1 p-%. Tulokset olivat samaa luokkaa, mitä saatiin tiloista pintakosteusmittarilla.



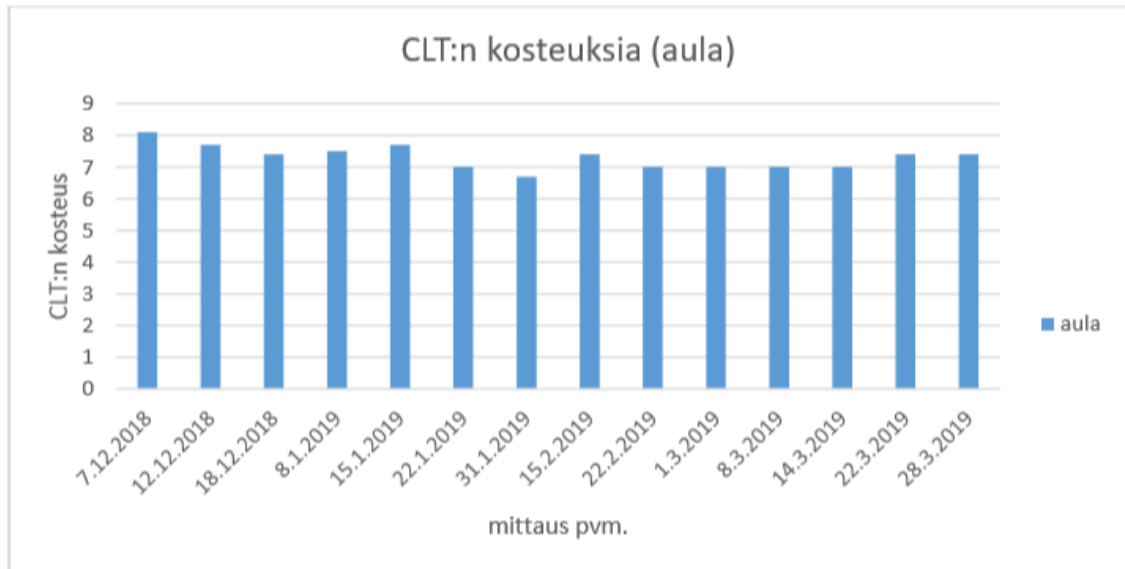
Kuva 18. Lohkon 1 CLT:n mitattuja kosteuspitoisuuksia (p-%) pintakosteusmittarilla. Tekstit "vasen" ja "oikea" tarkoittavat lohkojen mittausalueita, mistä CLT:n pintalamellien halkeamiakin tarkasteltiin. Näiden sijainnista on tarkemmin kerrottu tämän työn luvussa 3.2.2.



Kuva 19. Lohkon 2 CLT:n mitattuja kosteuspitoisuuksia (p-%) pintakosteusmittarilla. Tekstit "vasen" ja "oikea" tarkoittavat lohkojen mittausalueita, mistä CLT:n pintalamellien halkeamiakin tarkasteltiin. Näiden sijainnista on tarkemmin kerrottu tämän työn luvussa 3.2.2.



Kuva 20. Lohkon 3 CLT:n mitattuja kosteuspitoisuuksia (p-%) pintakosteusmittarilla. Tekstit "vasen" ja "oikea" tarkoittavat lohkojen mittausalueita, mistä CLT:n pintalamellien halkeamiakin tarkasteltiin. Näiden sijainnista on tarkemmin kerrottu tämän työn luvussa 3.2.2.



Kuva 21. Aulan CLT-elementtiseinien kosteuspitoisuuksia (p-%) mitattuna pinta kosteusmittarilla.

4.3 Halkeamat CLT:ssä

Tähän on koottu kolmen eri lohkon (lohko 1, 2 ja 3) tulokset halkeamista ja tarkasteltu niitä. Luvussa 3.2.2 "Seinäpinnan halkeamien mittaus" on kerrottu tarkemmin, missä seinien mittausalueet sijaitsevat ja miten mittaus toteutettiin.

Lohkoista mitattiin ensimmäisen kerran halkeamat 15. - 16.11.2018 ja toisen kerran 15. ja 22.03.2019. Ohessa on taulukot (taulukko 1 - 6) mittausalueiden tuloksista sekä muutama kuva niistä (kuvat 22 - 25). Taulukoissa esiintyvät kirjaimet "v" tai "o" lohkojen perässä kertovat mittausalueiden sijainnin lasten leikkihuoneissa, missä mittaukset tehtiin. "V" tarkoittaa vasenta puolta ja "o" oikeaa puolta. Luvussa 3.2.2 havainnollistetaan tarkemmin, missä kyseiset mittauskohdat sijaitsevat. Liitteessä 1 on esitetty kaikki kuvat molemmilta mittauskerroilta, joista muutoksia pystyy havaitsemaan visuaalisesti.

Taulukko 1. Halkeamat 3. lohkossa, v = vasen, o = oikea 15.11.2018.

Yhteenveto 15.11.2018	Kaikki halkeamat		Halkeamat saumoissa	
	Lohko 3 v	Lohko 3 o	Lohko 3 v	Lohko 3 o
Otannan pinta-alat (m ²)	2,7	2,7	2,7	2,7
Halkeamien pituus yhteensä (m)	16,690	15,905	11,515	9,405
Halkeamien määrä (kpl)	19	23	14	13
Halkeaminen pinta-ala (m ²)	0,0122	0,0111	0,0083	0,0075
Halk. suhde otannan pinta-alaan (%)	0,45	0,41	0,31	0,28

Taulukko 2. Halkeamat 3. lohkossa, v = vasen, o = oikea 15.03.2019.

Yhteenveto 15.03.2019	Kaikki halkeamat		Halkeamat saumoissa	
	Lohko 3 v	Lohko 3 o	Lohko 3 v	Lohko 3 o
Otannan pinta-alat (m ²)	2,7	2,7	2,7	2,7
Halkeamien pituus yhteensä (m)	21,380	25,245	16,44	17,015
Halkeamien määrä (kpl)	17	21	11	11
Halkeaminen pinta-ala (m ²)	0,0193	0,0217	0,0157	0,0167
Halk. suhde otannan pinta-alaan (%)	0,72	0,80	0,58	0,62

Taulukko 3. Halkeamat 2. lohkossa, v = vasen, o = oikea 15.11.2018.

Yhteenveto 15.11.2018	Kaikki halkeamat		Halkeamat saumoissa	
	Lohko 2 v	Lohko 2 o	Lohko 2 v	Lohko 2 o
Otannan pinta-alat (m ²)	2,7	2,7	2,7	2,7
Halkeamien pituus yhteensä (m)	7,790	9415	4940	6035
Halkeamien määrä (kpl)	14	23	9	16
Halkeaminen pinta-ala (m ²)	0,0024	0,0021	0,0018	0,0014
Halk. suhde otannan pinta-alaan (%)	0,09	0,08	0,07	0,05

Taulukko 4. Halkeamat 2. lohkossa, v = vasen, o = oikea 22.03.2019.

Yhteenveto 22.03.2019	Kaikki halkeamat		Halkeamat saumoissa	
	Lohko 2 v	Lohko 2 o	Lohko 2 v	Lohko 2 o
Otannan pinta-alat (m ²)	2,7	2,7	2,7	2,7
Halkeamien pituus yhteensä (m)	18,440	22,75	13,45	17,79
Halkeamien määrä (kpl)	20	18	13	10
Halkeaminen pinta-ala (m ²)	0,0100	0,0118	0,0078	0,0098
Halk. suhde otannan pinta-alaan (%)	0,37	0,44	0,29	0,36

Taulukko 5. Halkeamat 1. lohkoissa, v = vasen, o = oikea 16.11.2018.

Yhteenveto 16.11.2018	Kaikki halkeamat		Halkeamat saumoissa	
	Lohko 1 v	Lohko 1 o	Lohko 1 v	Lohko 1 o
Otannan pinta-alat (m ²)	2,7	2,7	2,7	2,7
Halkeamien pituus yhteensä (m)	10,805	12,69	7,305	9,29
Halkeamien määrä (kpl)	18	17	9	11
Halkeaminen pinta-ala (m ²)	0,0050	0,0081	0,0036	0,0063
Halk. suhde otannan pinta-alaan (%)	0,19	0,30	0,13	0,23

Taulukko 6. Halkeamat 1. lohkoissa, v = vasen, o = oikea 22.03.2019.

Yhteenveto 22.03.2019	Kaikki halkeamat		Halkeamat saumoissa	
	Lohko 1 v	Lohko 1 o	Lohko 1 v	Lohko 1 o
Otannan pinta-alat (m ²)	2,7	2,7	2,7	2,7
Halkeamien pituus yhteensä (m)	23,090	26,765	15,16	20,91
Halkeamien määrä (kpl)	17	18	10	11
Halkeaminen pinta-ala (m ²)	0,0195	0,0221	0,0134	0,0183
Halk. suhde otannan pinta-alaan (%)	0,72	0,82	0,50	0,68



Kuva 22. Lohkon 1 oikea puoli 16.11.2018.



Kuva 23. Lohkon 1 oikea puoli 22.03.2019.



Kuva 24. Lähikuva 1. lohkon CLT:n halkeilusta 22.03.2019.



Kuva 25. Lähikuva lohkon 2 CLT:n halkeilusta 22.03.2019.

Marraskuussa lohkossa 3 oli silmämääräisestikin eniten halkeamia mittausalueilla. Tämä johtui siitä, että lohkoa oli lämmitetty rakennusvaiheessa liian nopeasti, mikä aiheutti liian nopean CLT:n kuivumisen ja sen myötä elementti halkeili normaalia enemmän (Hakkarainen 2018). Lohkon 2 mittausalueilla oli silmämääräisesti vähiten halkeilua ja lohkossa 1 taas hiukan lohkoa 2 enemmän. Havaittavissa oli selkeästi, että suurin osa halkeamista sijaitsivat CLT-elementtien liimasaumoissa tai niiden tuntumassa.

Marraskuun halkeamamittaukset myös osoittivat saman asian, mitä jo silmälläkin pystyi havaitsemaan. Lohkossa 3 vasemman puolen mittausalueella 68 % halkeamista sijaitsivat saumakohdissa tai sen tuntumassa. Oikean puolen mittaus-

alueella suhde oli suunnilleen sama. Vertaillessa saman mittausalueen marraskuun ja maaliskuun tuloksia, havaittiin halkeamien pinta-alan kasvaneen 37 % vasemman puolen mittausalueella ja 49 % oikean puolen mittausalueella. Suurin osa halkeamien kasvusta ilmeni liimasaumakohdissa, jotka talven mittaan avautuivat silmin nähden suuresti. Tämä samainen ilmiö havaittiin kaikkien lohkojen mittausalueilla, jonka voi havaita tulostaulukoista.

Halkeamien osuus saumakohdissa tai sen tuntumassa olivat esimerkiksi lohkon 3 maaliskuun molemmilla mittausalueilla noin 80 %. Uusia halkeamia saumojen ulkopuolelle tuli hyvin vähän. Päähavainto oli, että vanhat halkeamat kasvoivat pituussuunnassa paljon. Saumojen kohdalla halkeamien paksuuskin kasvoi merkittävästi. Pintalamellien keskiosan sydänpuussa oli marraskuussa havaittavissa kaikissa lohkoissa hyvin ohkaisia halkeamia, jotka olivat talven aikana hieman kasvaneet pituus- ja leveysuunnassa, mutta niiden osa halkeilusta pysyi silti olemattomana.

Lohkon 2 mittausalueilla oli marraskuussa vähiten halkeamia suhteessa mittausalueen pinta-alaan verrattuna muiden lohkojen mittauksiin. Samainen ilmiö on kuitenkin huomattavissa myös tässä lohkoissa, mikä oli esimerkiksi 3. lohkoissa. Halkeamien määrä saumoissa tai sen tuntumassa oli suuri. Vaikka maaliskuusakin 2. lohkoissa oli halkeamien pinta-ala pienin suhteessa muiden lohkojen mittauksiin, kasvoi halkeamien pinta-ala eniten suhteessa sen marraskuun tuloksiin. Vasemman puolen mittausalueella halkeamien pinta-ala kasvoi 76 % ja oikean puolen mittausalueella 82 %. Vastaava kasvu oli esimerkiksi 3. lohkoissa vasemmalla puolella 37 % ja oikealla puolella 49 %.

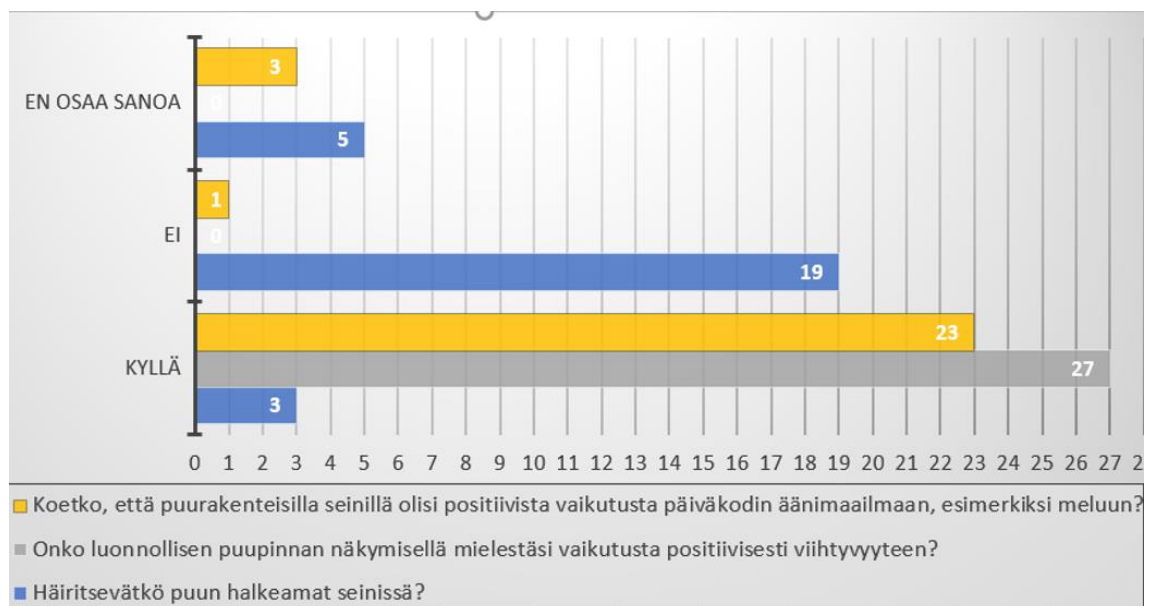
Lohkoissa 1 oli marraskuussa halkeamia toiseksi eniten vertaillessa lohkojen välisiä eroja. Saumoissa tai sen tuntumassa sijaitsevia halkeamia oli tämänkin lohkon mittausalueilla suuri määrä. Silmämääräisesti tässä lohkoissa tapahtuivat suurimmat muutokset halkeamien kasvussa, vaikka prosentuaalisesti 2. lohkoissa tapahtuikin suurimmat muutokset. Halkeamien pinta-ala kasvoi samalle tasolle 3. lohkon kanssa. Halkeamien pinta-ala kasvoi suhteessa sen ensimmäiseen otokseen vasemmalla puolella 74 % ja oikealla puolella 63 %. Muutokset olivat lähes yhtä suuria kuin 2. lohkoissa ja kun halkeamat olivat jo alustavasti huomattavasti

suurempia tämän lohkon mittausalueilla, oli muutos silmämääräisesti huomattavin. Luvun alkupuolella olevista 1. lohkon oikean puolen mittausaluekuvista (kuva 22 ja 23) voi havaita hyvin talven aikana tapahtuneet muutokset. Kuten alussa mainittiin, kaikki kuvat molemmilta mittauskerroilta löytyvät liitteestä 1.

Kuvasta 24 ja 25 pystyy saumahalkeamien lisäksi havaitsemaan myös aiemmin mainitut sydänpuun halkeamat. Suurin osa lamellien keskellä sijaitsevista halkeamista olivat kuvan 25 mukaisia, mutta paikoitellen halkeamat olivat selkeästi suurempia, kuten kuvassa 24.

4.4 Henkilökunnan kokemukset sisäolosuhteista

Uuden päiväkodin henkilökunnalta saatiin monipuolista tietoa koetuista sisäolosuhteista. Kyselylomakkeet jaettiin henkilökunnalle maaliskuun puolessa välissä, johonka oli aikaa vastailta noin kaksi viikkoa. Henkilökuntaa päiväkodissa on noin 35 ja kyselyyn vastasi 27 henkilöä. Alle on koottu taulukot kysymyksistä ja vastauksista (kuvat 26 - 31) ja tarkasteltu niitä. Myös päiväkodin johtajan ajatuksia on koottu tähän yhteyteen.

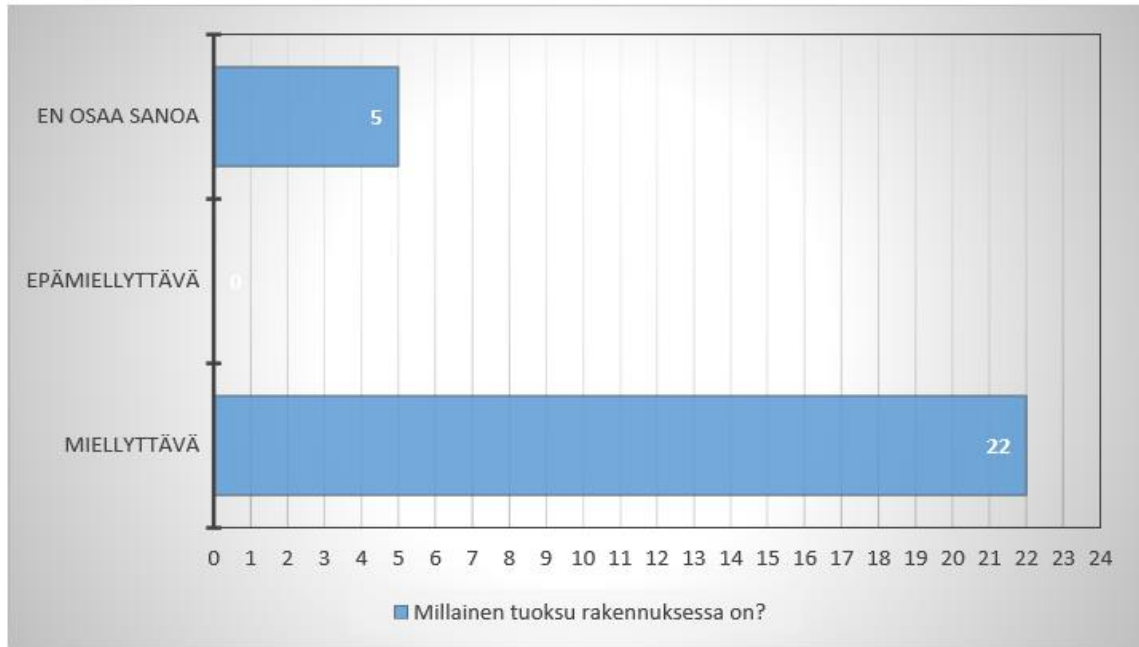


Kuva 26. Kyselytulokset näkyvistä puupinnoista rakennuksessa.

Vastaajista 85 % koki puurakenteisilla seinillä olevan positiivista vaikutusta päiväkodin äänimaailmaan, erityisesti meluun. Muutamat eivät osanneet sanoa ja ainoastaan yksi oli sitä mieltä, että sillä ei ole vaikutusta. Kuten kyselyt osoittavat, CLT:n näkyviin jätetty sisäpinta miellyttää kaikkia kyselyyn vastanneita. Vastaajista 70 % eivät näe CLT:n halkeamia häiritsevinä. Vastaajista 19 % eivät osanneet sanoa ja 11 % oli sitä mieltä, että ne häiritsevät. (kuva 26)

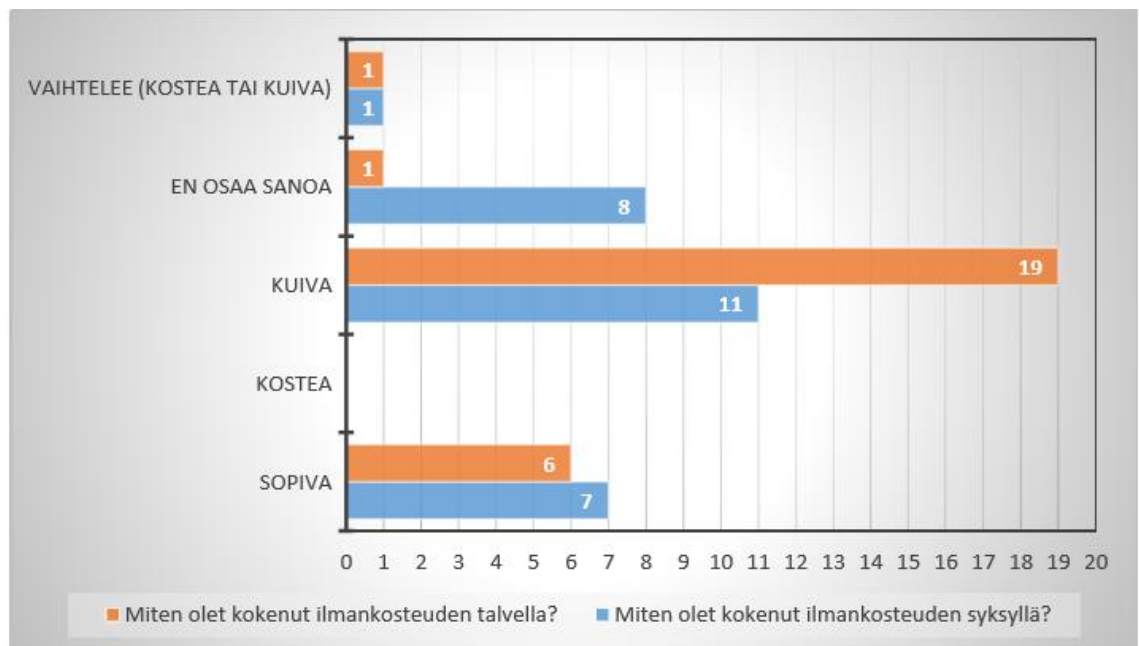
Päiväkodin johtaja koki näkyvän puupinnan todella mieluisana ja hän kertoi, että se on päiväkodin ehdoton timantti. Hän korosti sen olevan hyvin vahvasti viihtyvyyteen vaikuttava tekijä. Näkyvää puupintaa kuvattiin muun muassa lempeänä ja lämpimänä, klinisyyden sekä laitosmaisuuuden poistavana tekijänä. Myös vierailijoilta on tullut positiivista palautetta paljon. Päiväkodissa on käynyt vierailijoita jopa New Yorkista asti. Hekin ovat ihastelleet näkyviin jätettyä puupintaa.

Halkeamat CLT-elementeissä eivät päiväkodin johtajalle tulleet yllätyksenä, koska siitä oli puhuttu ja sen mahdollisuus tiedettiin, mutta sen runsaus on hie-man yllättänyt. Loppujen lopuksi ne eivät kuitenkaan liikaa ole häirinneet eikä niiden olemassaoloa aina edes muista. Myös äänimaailman haastateltava koki todella miellyttävänä, mihin toki vaikuttaa puun lisäksi monet muutkin seikat. CLT:n halkeilu oli aiheuttanut kovaäänistä paukahtelua, mikä oli erityisesti lepo- huoneissa säilyttänyt lapsia. Lapsille oli jouduttu selittämään mistä nämä kovat paukahdukset johtuivat.



Kuva 27. Kyselytulokset koetuista tuoksuista rakennuksessa.

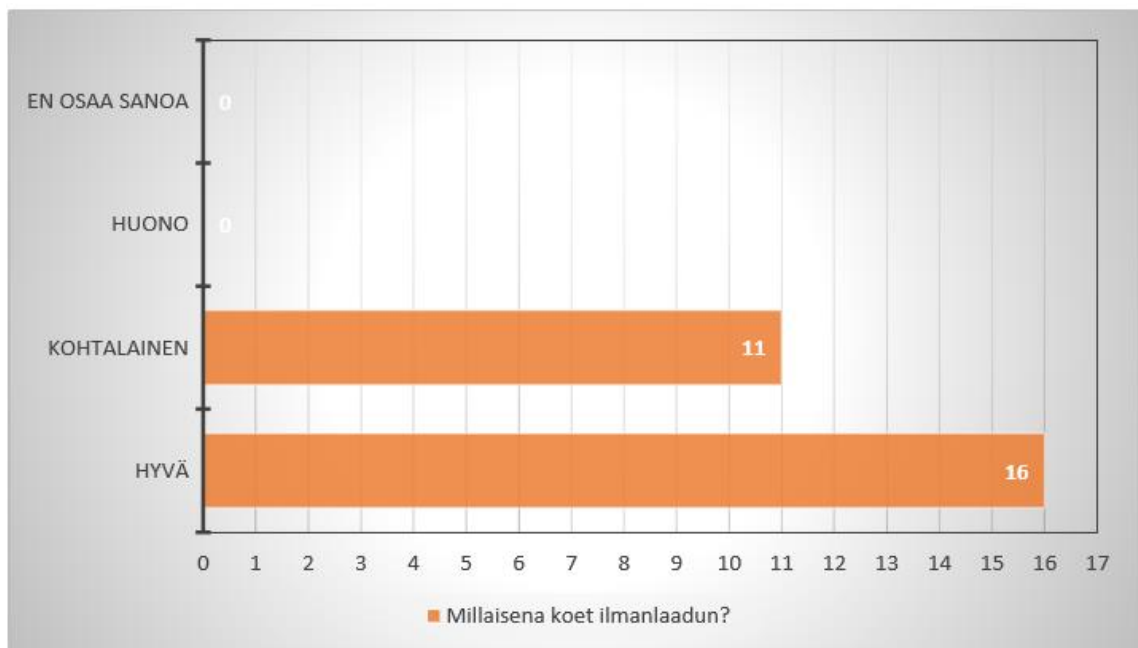
Vastaajista 81 % koki tuoksun rakennuksessa miellyttävänä ja loput 19 % eivät osanneet sanoa (kuva 27). Päiväkodin johtaja koki myös tuoksun miellyttävänä.



Kuva 28. Kyselytulokset koetuista ilmankosteuksista rakennuksessa.

Vastaajista 70 % koki sisäilman kuivana talvella. Syksyllä tätä mieltä olivat 41 % vastaajista. Kosteana ilmaa ei pidetty syksyllä eikä talvella. Sopivana ilmankosteuden koki talvella 22 % ja syksyllä 26 %. Syksyn osalta 30 % vastaajista eivät osanneet sanoa kokemuksistaan mitään ja talvella ainoastaan 4 % vastaajista ei osannut sanoa kokemuksistaan koetun ilmankosteuden suhteen. Vastaajista 4 % koki ilmankosteuden kosteana tai kuivana molempina vuodenaikoina. Näihin ai-lahteleiviin kokemuksiin vaikuttivat tilojen väliset koetut olosuhde-erot. (kuva 28)

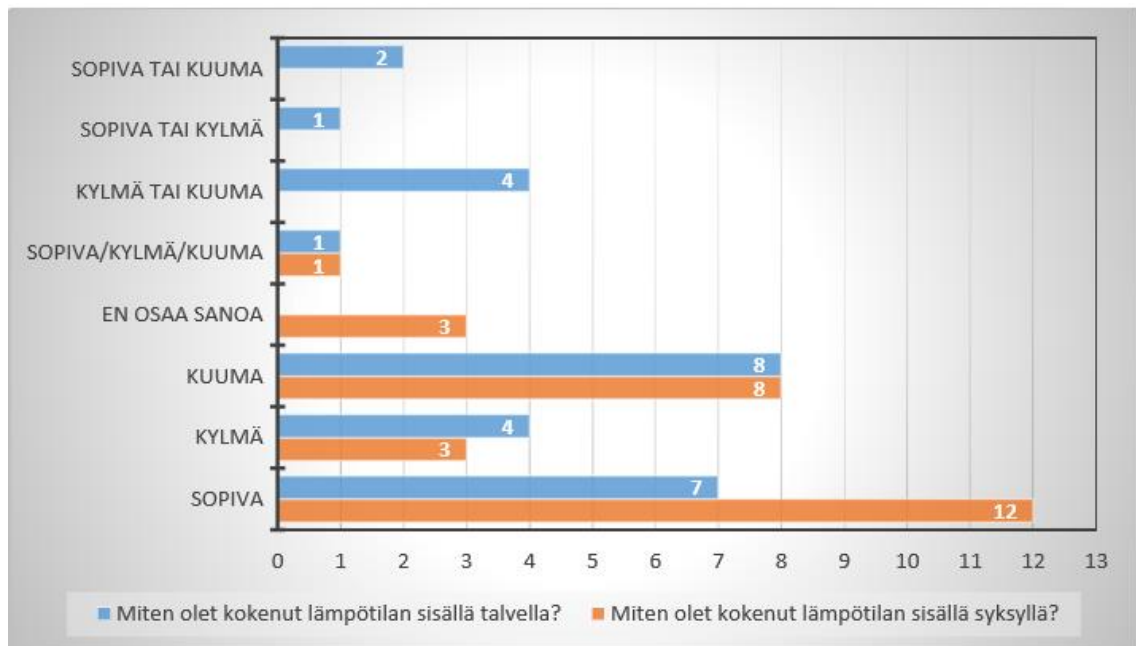
Haastattelussakin esille tuli nämä sisäilman kuivuuden tuntemukset etenkin talvella. Henkilökunnasta osa on kokenut oireilua siitä syystä, esimerkiksi silmien ja limakalvojen kuivuutta.



Kuva 29. Kyselytulokset koetusta ilmanlaadusta rakennuksessa.

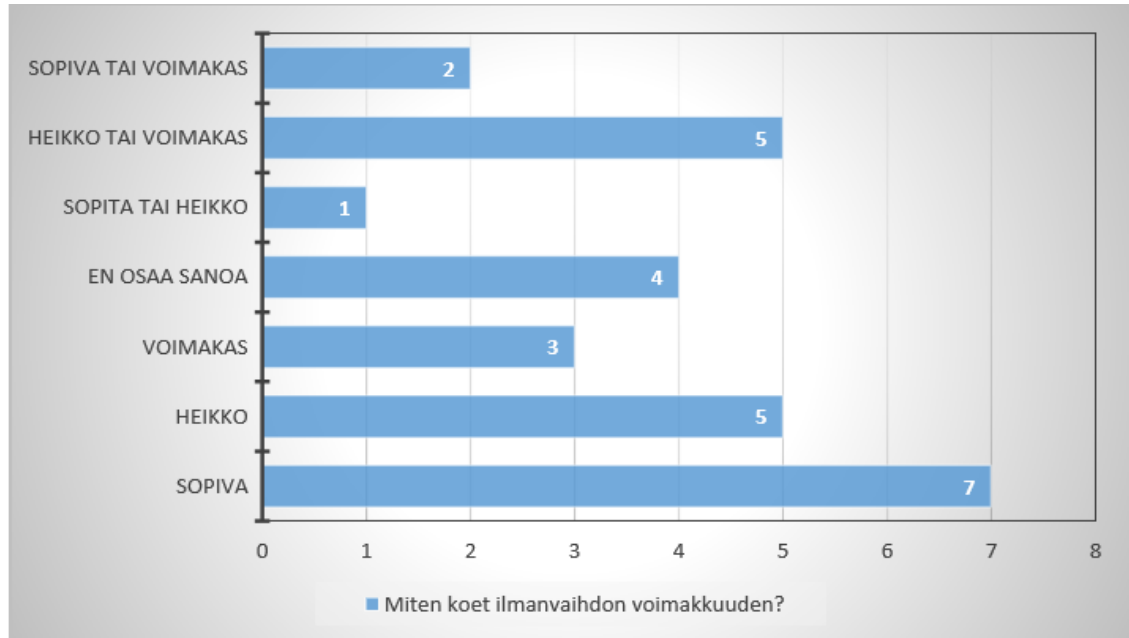
Kyselyyn vastanneista 59 % koki ilmanlaadun hyvänä. Loput 41 % kokivat ilmanlaadun kohtalaisena. Suurin osa piti siis ilmanlaatua hyvänä, mutta melko suuri osa koki ilmanlaadun myös kohtalaisena. Tämä hajonta johtuu siitä, että eri tiloissa ilmanlaatu oli koettu erilaisena. Moni mainitsi, että erityisesti liikuntasalissa oli maanantaiaamuisin raskas ilma. (kuva 29)

Haastattelussa esille tulivat nämä ongelmat ilmanvaihdon suhteen, mikä on todennäköisesti aiheuttanut ilmanlaadussa vaihtelua.



Kuva 30. Kyselytulokset koetuista lämpötiloista rakennuksessa.

Koetuissa lämpötiloissa oli suuri mielipidehajonta. Syksyllä kuitenkin 44 % piti lämpötilaa sopivana. Talvella vastaava prosentti putosi 26 %:iin. Kuumana lämpötilaa piti sekä talvella että syksyllä 30 % vastaajista. Moni oli myös kokenut paljon vaihtelua olosuhteissa. Eri tilojen välillä oli näissäkin koettua eroja. Ilmanvaihtojärjestelmässä on ollut ongelmia säätöpelleissä, jotka ovat aiheuttaneet paljon yli- tai alipainetta tiloihin. Ikkunoiden ja ovien kohdilla oli usein koettu voimakasta vetoa, joka on todennäköisesti saanut ihmiset tuntemaan ilman kylmäksi. Vastaavasti välillä ilma on ollut raskasta ja seisovaa, jolloin ilma on koettu kuumana. Sisätilojen lämpötila on sisäilman lämpötila-antureiden mukaan kuitenkin lohkosta riippumatta pysynyt 20 °C:n tuntumassa, mikä on hyvä lämpötila kyseisiin tiloihin. (kuva 30)



Kuva 31. Kyselytulokset koetuista ilmanvaihdon voimakkuuksista rakennuksessa.

Kokemukset ilmanvaihdon voimakkuudesta ailahtelivat paljon (kuva 31), kuten myös koetuissa lämpötiloissa. Syy lienee tässäkin sama kuin koetuissa lämpötiloissa, eli tiloissa on syksyllä ja talvella ollut ongelmia ilmanvaihdon kanssa, mikä on aiheuttanut tiloihin yli- tai alipainetta.

Haastattelussakin tuli esille, että välillä ei ole voinut pitää tilojen ovia kiinni, koska on kuulunut kovaäänistä vinguntaa, mikä viittaisi siihen, että tilassa on ollut kova ylipaine. Haastateltava myös mainitsi, että tilojen välillä on ollut eroja. Ovissa on havaittu myös paljon halkeamia ja ne ovat paikoitellen hieman jopa kieroutuneet.

5 Johtopäätökset

CLT-rakenteisen seinän kosteusteknisessä toiminnassa oli hieman ongelmia rakennuksen käyttöönoton jälkeisenä ensimmäisenä syksynä ja talvena. Oletettavaa olikin, että talvella CLT kuivuu, mutta kovimmilla pakkasjaksoilla puun kosteus laski turhankin matalaksi. Syynä kuivumiselle oli matalat sisäilman kosteudet. Yleensäkin talvella sisäilman suhteellinen kosteus laskee alle 20 %:iin, mutta tehostettu ilmanvaihto, mikä on käytössä ensimmäisen vuoden ajan, pahensi sisäilman kuivumista. Päiväkodin Ultra-ilmamääräsäätimissä oli toimintahäiriöitä, jotka aiheuttivat tiloihin ali- tai ylipainetta. Näillä ongelmilla tuskin oli kuitenkaan suurta merkitystä CLT:n kosteuskäyttäytymiseen.

CLT-rakenteisten seinäpintojen halkeamissa tapahtui paljon muutoksia tarkastelujakson aikana. Päähavainto oli, että syksyllä 2018 mitatut halkeamat olivat talven aikana suurentuneet paljon, mutta uusia halkeamia ei juurikaan ollut muodostunut. Suurin osa halkeamista sijaitsi liimasaumojen tuntumassa. Pintalamellien keskiosassakin esiintyi vähän halkeamia, mutta niiden osuus halkeamien kokonaispinta-alasta oli melko pieni. Pihkavalumia mittausalueilta ei ollut havaittavissa.

Sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila eri lohkoissa pysyi samalla tasolla eri lohkojen välillä. Antureiden tuloksista näki selvästi, että kovimmilla pakkasjaksoilla sisäilman suhteellinen kosteus laski alimmillaan jopa noin 6 %:iin. Lämpötilat sisätiloissa pysyivät hyvin 20 °C:n tuntumassa. Syksyllä sisäilman kosteudet pysyivät hyvällä tasolla. Kevät on syksyä kuivempaa aikaa, joten vaikka lämpötila ulkona kasvaa, ei sen suhteellinen kosteus todennäköisesti nouse syksyn tasolle eikä sen takia sisäilman suhteellinen kosteuskaan nouse samalle tasolle kuin syksyllä. Lumien sulaminen kuitenkin kostuttaa muutoin kuivaa ulkoilmaa, jonka avulla vältetään todennäköisesti talvella vallinneet äärimmäisen kuivat olosuhteet. Alkusyksystä antureiden toiminnassa oli häiriöitä eikä sen takia jokaisesta lohkoista saatu tavoitelluilta ajanjaksolta olosuhdetietoja. Myös helmikuussa kaikkien antureiden signaali hävisi, eikä sen takia olosuhdetietoja enää myöhemmältä keväältä saatu.

Päiväkodin henkilökunta oli yksimielisesti sitä mieltä, että näkyvä puupinta seinissä on miellyttävä ja se vaikuttaa positiivisesti viihtyvyyteen. Halkeamatkaan seinissä ei suurinta osaa häirinnyt. Puupinnoilla koettiin myös olevan positiivista vaikutusta rakennuksen äänimaailmaan. Tuoksu rakennuksessa koettiin miellyttävänä. Suurin osa henkilökunnasta koki erityisesti talvella sisäilman kuivana. Sorsa ja Pajander (2018) raportoivat myös koetusta sisäilman kuivuudesta jo syksyllä 2018 ja moni aikuinen oli kokenut vetoa. Ilmanlaatu kuitenkin koettiin hyvänä tai kohtalaisena. Tilojen välillä koettiin eroja sisäolosuhteissa. Lämpötilat henkilökunta koki pääasiassa kuumana tai sopivana sekä syksyllä että talvella. Ilmanvaihdon voimakkuuden kokemuksissa tapahtui suurinta hajontaa, mutta kuitenkin suurin osa koki sen sopivana. Haastatellun päiväkodin johtajan kokemukset sisäolosuhteista puolsivat kyselyihin vastanneiden henkilökunnan enemmistön kokemuksia.

Tutkimustulokset sisäilman olosuhteista, seinäpintojen kosteuspitoisuudesta ja halkeamista sekä henkilökunnan kokemuksista olivat loogisesti kytköksissä toisiinsa. Sään kylmetessä ilma sisällä alkoi kuivumaan, minkä näkee hyvin antureiden mittaamista tuloksista. Samaan aikaan pintakosteusmittarilla mitatut puun kosteudet sen painoprosentteina laskivat noin kahdella prosentilla. Alimmillaan pintakosteusmittarilla mitattu puun kosteus oli noin 6 p-% ja syksyllä se pysyi vielä 8 - 9 p-%:n välillä. Talven kuivana aikana myös halkeamat CLT-rakenteisissa seinäpinnoissa lisääntyivät runsaasti. Olosuhdekyselyistäkin voi tulkita, että talvella henkilökunta koki sisäilman kuivana. Todennäköisesti seuraavalla lämmityskaudella olosuhteita ei koeta yhtä kuivina, kun ilmanvaihto saadaan asettaa jatkuvalta täysteholta tarpeenmukaiseksi.

Tutkimustulosten luotettavuus oli riittävällä tasolla tämän tutkimuksen johtopäätöksiin, mutta tuloksia ei silti voi yleistää kovin laajasti muihin puurakennuksiin. Rakotulkilla tehtävien halkeilujen mitoituksesta ei saanut aivan absoluuttisen tarkkaa tulosta, mutta mahdollisimman tarkalla työllä pystyi havaitsemaan muutokset halkeamien määrissä ja erityisesti halkeamien pinta-alojen muutokset suhteessa mittausalueen pinta-alaan.

Pintakosteusmittarin luotettavuus oli tarpeeksi luotettava näihin tutkimuksiin, joissa ei ollut tarkoituskaan saada aivan absoluuttisen tarkkoja arvoja. MC-100S kosteusmittarin mittatarkkuus puun kosteusprosenttia mitattaessa on ± 1 %. Pintaa rikkomaton kosteuden määrittäminen onnistuu 5 cm:n syvyydeltä. (Humitec Oy. 2019.) Kohteesta mitattiin myös kertaalleen piikkimittarilla kosteuksia ja voitiin todeta, että kosteusprosentit olivat samaa luokkaa molemmilla kosteusmittareilla mitattuina.

Si-Tehno Oy on SiMAP-antureiden valmistaja. Se on helsinkiläinen kiinteistöteknologia-alan yritys, joka on toiminut jo yli 30 vuotta. Sen asiakkaita ovat muun muassa suuret telekommunikaatioalan yritykset, teollisuuden laitteiden valmistajat ja viranomaiset. Voidaan siis olettaa, että antureiden luotettavuus oli hyvällä tasolla. (SiMAP Oy. 2019.)

6 Pohdinta

Kokonaisuudessaan opinnäytetyöni onnistui mielestäni hyvin. Päättävöitteena oli saada tietoa siitä, miten CLT soveltuu päiväkotiiin näkyvänä pintana seinissä. Tiedossa oli, että CLT tulee halkeilemaan erityisesti kuivana talviaikana, mutta sen määrän suuruus hieman yllätti. Suurin osa henkilökunnasta ei kuitenkaan kokenut halkeamia häiritsevinä, mikä oli hyvä asia.

Henkilökunta koki yksimielisesti näkyvät puupinnat miellyttävinä. Yleisestikin puu materiaalina rakennuksessa koetaan nykypäivänä positiivisena. Paljon puhutaan esimerkiksi sen positiivisista terveysvaikutuksista, mutta on hyvä muistaa, että tutkimuksiin perustuvaa tietoa näistä on hyvin niukasti. Kun puurakentaminen on nyt voimakkaasti yleistymässä, olisi mielestäni tärkeää panostaa sen terveysvaikutusten tutkimuksiin, jotta yleisesti mediassakin esillä olleille olettamuksille ja väitteille saataisiin tutkittua tietopohjaa.

Voisi tehdä esimerkiksi pidempiaikaisen vertailututkimuksen CLT-rakenteisen ja betonirakenteisen päiväkodin tai koulun välillä, jossa tutkittaisiin käyttäjien kokemuksia sisäolosuhteista sekä myös terveysvaikutuksista. Terveysvaikutuksia voisi vertailla sekä oirekyselyillä että objektiivisesti terveydenhuollon rekisterien avulla. Lisää empiiristä tutkimustietoa tarvittaisiin myös puupintojen ja puusta haihtuvien VOC-yhdisteiden antibakteerisista vaikutuksista.

Halkeamien runsas lisääntyminen syksyn ja talven aika herätti kysymyksen, olisiko sen voinut välttää jollakin tapaa. Olisiko päiväkotiiin kannattanut asentaa jonkinlainen ilmankostutinjärjestelmä, jolla olisi voinut välttää talvella äärimmäisen kuivan sisäilman? Yleensä julkisissa rakennuksissa ei ole käytössä sellaisia. Ilmeisesti ajatellaan, että olisi riski liian suurelle kosteustuotolle. Olisiko tämä kuitenkin ongelma tällaisissa tiloissa, missä on paljon näkyvää lähes luonnollista puupintaa? Puu tasoittaisi kosteuseroja tehokkaasti. Kun kosteutta ilmassa olisi liikaa, sitoisi puu liiallisen kosteuden itseensä ja puolestaan ilman ollessa kuivaa, luovuttaisi se kosteuttaan ympäröivään ilmaan.

Opinnäytetyö ajoittui päiväkodin käyttöönoton alusta (lokakuu 2018) kevääseen 2019. Tutkimuksia olisi voinut jatkaa pidempäänkin ja olisi mielenkiintoista tietää, miten halkeamat tulevaisuudessa kehittyvät. Todennäköisesti halkeamat hieman puristuvat umpeen sään lämmitessä. Se, mille tasolle halkeamien määrä asetuu, nähdään todennäköisesti vasta kolmannen lämmityskauden jälkeen. Kun ilmanvaihtoa ei enää ensimmäisen vuoden jälkeen tarvitse käyttää täysteholla 24/7, vältetään tulevaisuudessa todennäköisesti yhtä kuivat sisäilman olosuhteet ja sen myötä CLT:n kosteuspitoisuudetkin pysyvät lähempänä niille suotavaa kosteutta, joka on 8 - 10 p-%.

Sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta olisi hyvä seurata myös jatkossa antureiden avulla. Näiden lisäksi vastaavanlaisissa kohteissa olisi mielenkiintoista seurata paine-eroja ja melutasoja.

Lähteet

- Asumisterveysohje. 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/71398/Opp200301.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 20.4.2019.
- Hakkarainen, H. 2018. CLT-rakentamisen työaikainen kosteudenhallinta ja -seuranta. Karelia-ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201805097436> 14.4.2019.
- Harju, T. & Juntunen, H. 2018. Julkisen puurakentamisen kehittäminen Lapissa. Opinnäytetyö. Lapin AMK.
- Hoisko CLT Finland Oy. 2019. Hoisko CLT-rakentaminen. <http://www.hoisko.fi/fi/rakentaminen/clt-rakentaminen/> 10.2.2019.
- Hoisko CLT Finland Oy. 2016. Hoisko CLT pintavalikoima. <http://www.hoisko.fi/wp-content/uploads/2016/11/Pintavalikoima.pdf> 20.4.2019.
- Humitec Oy. 2019. Rakennekosteusmittari MC-160SA. Kosteuden kartoitus kaikista rakennusmateriaaleista. <http://www.humitec.fi/wp-content/uploads/2017/12/MC-160SA-esite.pdf> 10.2.2019.
- Jansson, E. 2015. CLT-rakennuskomponentin halkeilun hallinta urittamalla ja toiminta pientalon sisäilmastossa. Aalto-yliopisto. Kemian tekniikan korkeakoulu. Puunjalostustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201506303428> 10.2.2019.
- Joensuun Tilakeskus. 2019. Kyselyä Hukanhaudan päiväkodin IV-järjestelmästä jne. janne.pasanen@edu.karelia.fi. 12.3.2019.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2018. Tutkimus- ja kehitystoiminta. <https://www.karelia.fi/puurakentaminen/tutkimus/> 10.2.2019.
- Kiinteistölehti 2018. Puurakentamisen odotetaan kaksinkertaistuvan lähivuosina <https://www.kiinteistolehti.fi/puurakentamisen-odotetaan-kaksinkertaistuvan-lahivuosina/#> 10.2.2019.
- Kokko, E. 2004. Sisäilman kosteusolojen parantaminen puurakenteilla. Wood Focus Oy.
- Muilu-Mäkelä, R., Haavisto, M. & Uusitalo, J. 2014. Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä. – Kirjallisuuskatsaus. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp320.htm>. 10.2.2019.
- Paloniitty Oy. 2018. CLT rakenteiset rakennukset <http://www.paloniitty.fi/page.php?sivu=18> 10.2.2019.

- Pekkanen, J. & Lampi, J. 2015. Rakennusten kosteus- ja homevauriot ja terveys. Duodecim 2015;131:1749–55. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015112519211> 26.4.2019.
- Pietiko Oy. 2019. Ilmankosteus ja rakennekosteus. <https://www.pietiko.fi/mit-taustietoa/ilmankosteus-ja-rakennekosteus> 14.4.2019.
- Puuinfo Oy. 2019a. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. 10.2.2019.
- Puuinfo Oy. 2019b. Lämpötekniisiä ominaisuuksia. <https://www.puuinfo.fi/node/1499> 10.2.2019.
- Puuinfo Oy. 2019c. Puupintojen vaikutukset lämmöntasaajana. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-sis%C3%A4tiloissa/puupintojen-vaikutukset-%C3%A4mm%C3%B6ntasaajana> 10.2.2019.
- Puuinfo Oy. 2019d. Puu sisäilman kosteuden tasaajana. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-sis%C3%A4tiloissa/puu-sis%C3%A4ilman-kosteuden-tasaajana> 10.2.2019.
- Puuinfo Oy. 2019e. Tutkittua tietoa männyn ja kuusen terveysvaikutuksista. <https://www.puuinfo.fi/tutkittua-tietoa-mannyn-ja-kuusen-antibakteerisuudesta> 26.4.2019.
- RT 21-11289. 2017. Puutavara, jatkojalosteet, RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 14.4.2019. <https://karelia.finna.fi/>, RT-kortisto.
- Ryhänen, A. 2019. Hukanhaudan päiväkodin kiinteistöhoitaja. Joensuun kaupunki. Puhelu 21.3.2019.
- Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- SiMAP Oy. 2019. Si-Tecno Oy. <https://simap.fi/yritys/> 10.2.2019.
- Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira. 2016. Oleskelutilojen lämpötila ja ilmavaihto. Valvira. https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveysdensuojelu/asumisterveys/fysikaaliset_olosuhteet 14.4.2019.
- Sorsa, K. & Pajander, R. 2018. Vertaileva sisäilmatutkimus kolmessa uudisrakenteisessa päiväkodissa Joensuussa. Karelia-ammattikorkeakoulu. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018121321390> 14.4.2019.
- Teknos Oy. 2017. Tuoteseloste. Hirsivaha. https://www.teknos.com/globalassets/inriver/resources/fi_0791-00_1.pdf 20.4.2019.

Vainio-Kaila, T. 2017. Antibacterial properties of Scots pine and Norway spruce. Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATIONS 179/2017. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/28650> 26.4.2019.

Vatanen, M., Sirkka, A., Pirttinen, V. & Ahoranta, T. 2017. CLT-rakentamisen nykytila ja tulevaisuus Suomessa. Haastattelututkimus 2016. Lapin AMKIN julkaisuja. Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 2/2017.

Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 1. Lohkon 3 oikea puoli 15.11.2018.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 2. Lohkon 3 oikea puoli 15.3.2019.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 3. Lohkon 3 vasen puoli 15.11.2018.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 4. Lohkon 3 vasen puoli 15.3.2019.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 5. Lohkon 2 oikea puoli 16.11.2018.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 6. Lohkon 2 oikea puoli 22.3.2019.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 7. Lohkon 2 vasen puoli 16.11.2018.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 8. Lohkon 2 vasen puoli 22.3.2019.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 9. Lohkon 1 oikea puoli 16.11.2018.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



Kuva 10. Lohkon 1 oikea puoli 22.03.2019.

Kuvat halkeamista mittausalueilla



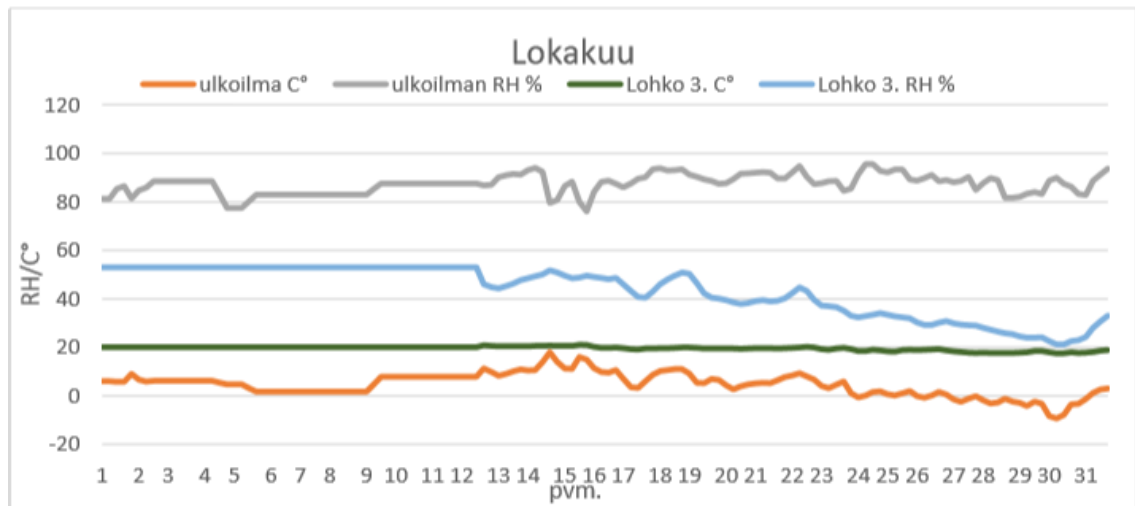
Kuva 11. Lohkon 1 vasen puoli 16.11.2018.

Kuvat halkeamista mittausalueilla

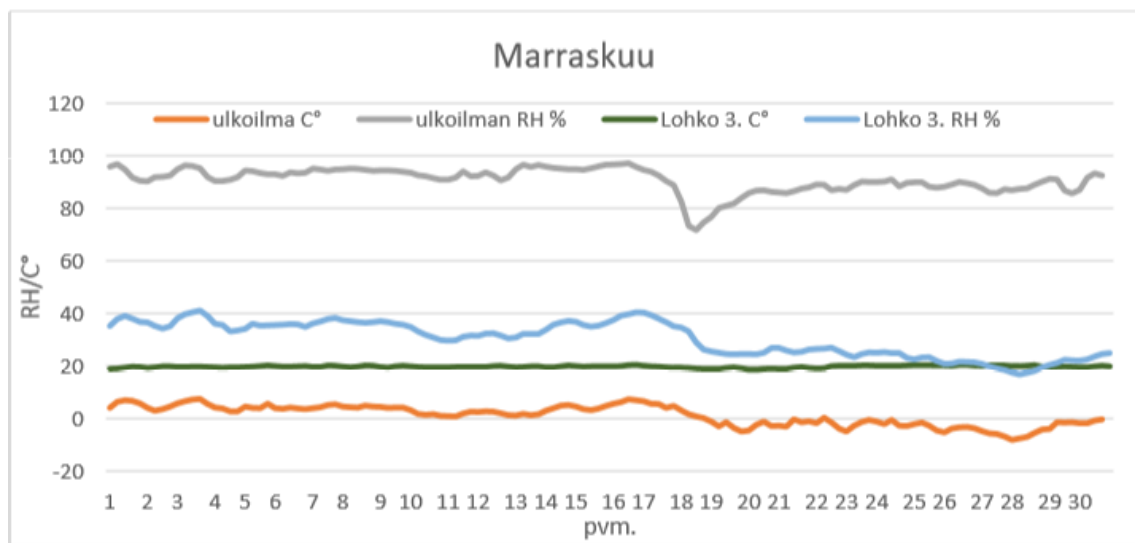


Kuva 12. Lohkon 1 vasen puoli 22.03.2019.

SiMap-antureiden tuloksia

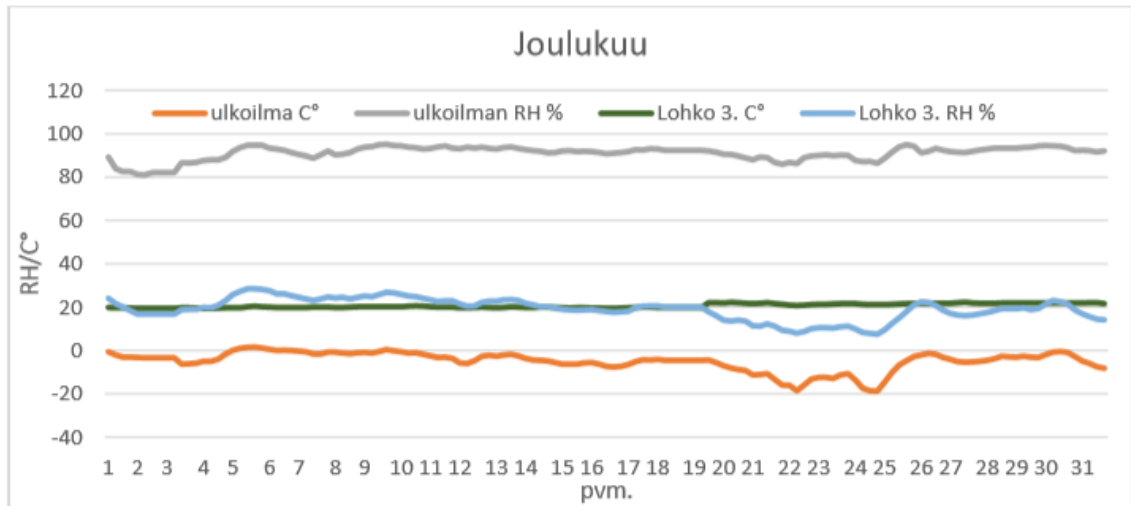


Kuva 1. Lohkon 3 tuloksia lokakuulta 2018.

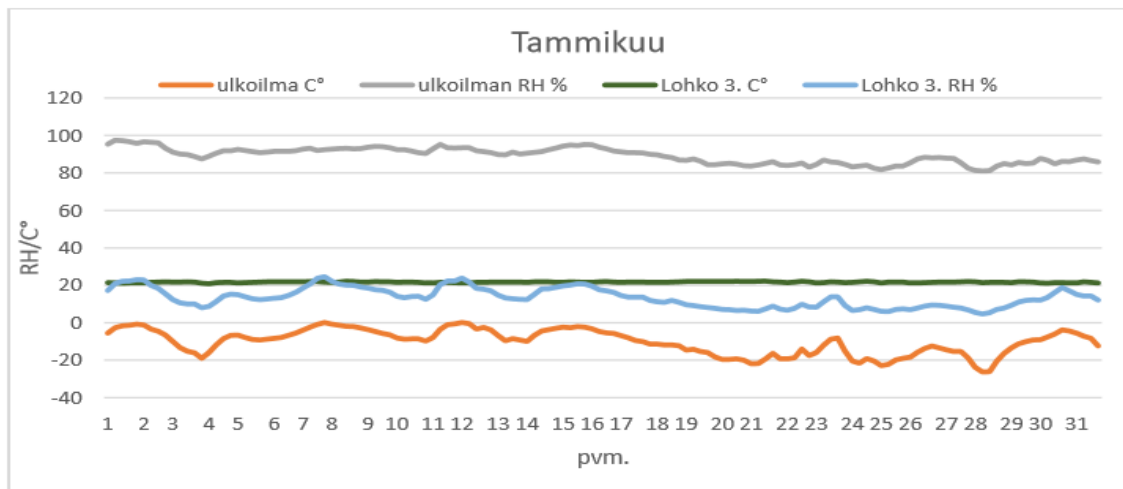


Kuva 2. Lohkon 3 tuloksia marraskuulta 2018.

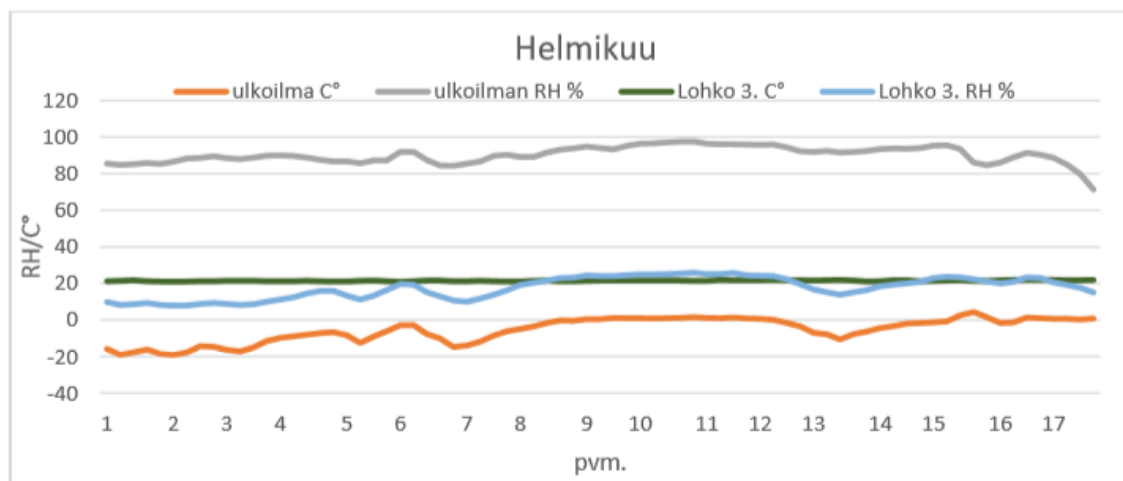
SiMap-antureiden tuloksia



Kuva 3. Lohkon 3 tuloksia joulukuulta 2018.

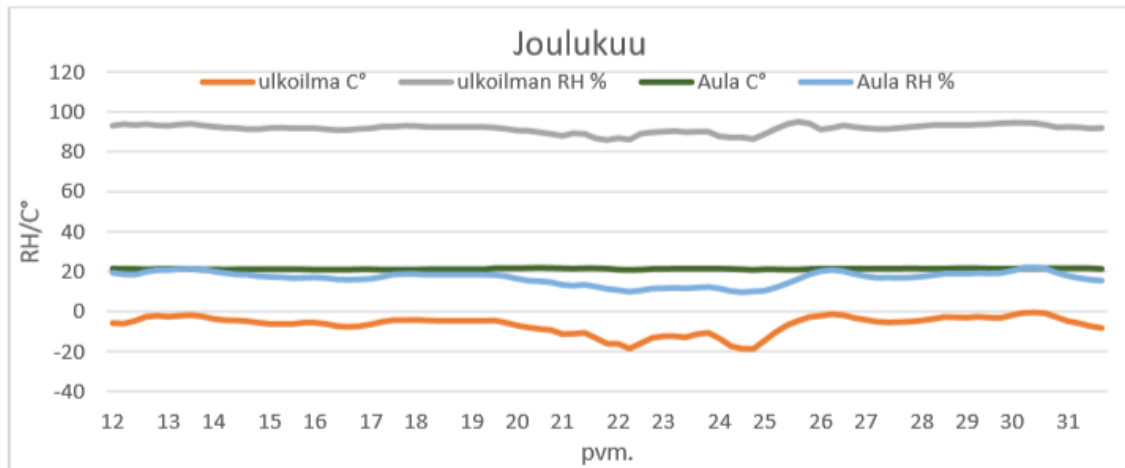


Kuva 4. Lohkon 3 tuloksia tammikuulta 2019.

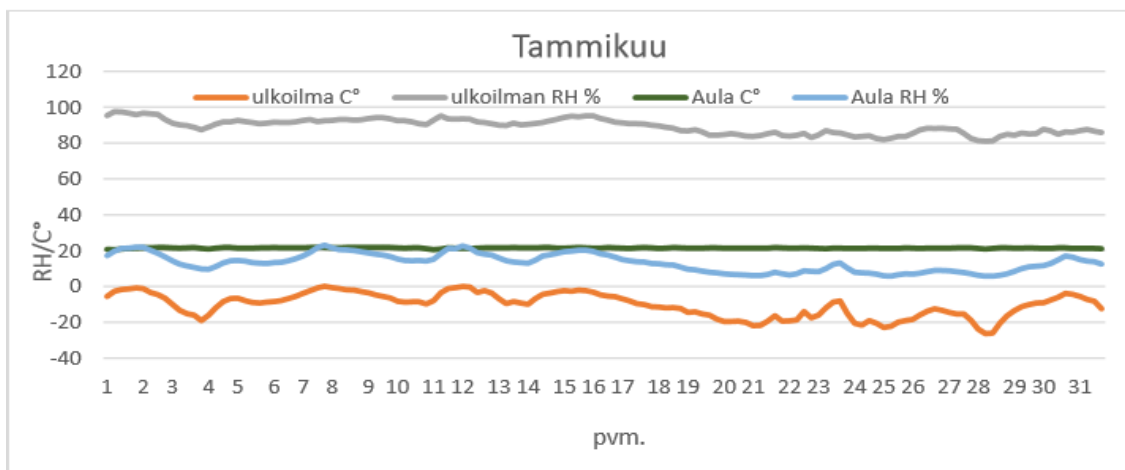


Kuva 5. Lohkon 3 tuloksia helmikuulta 2019.

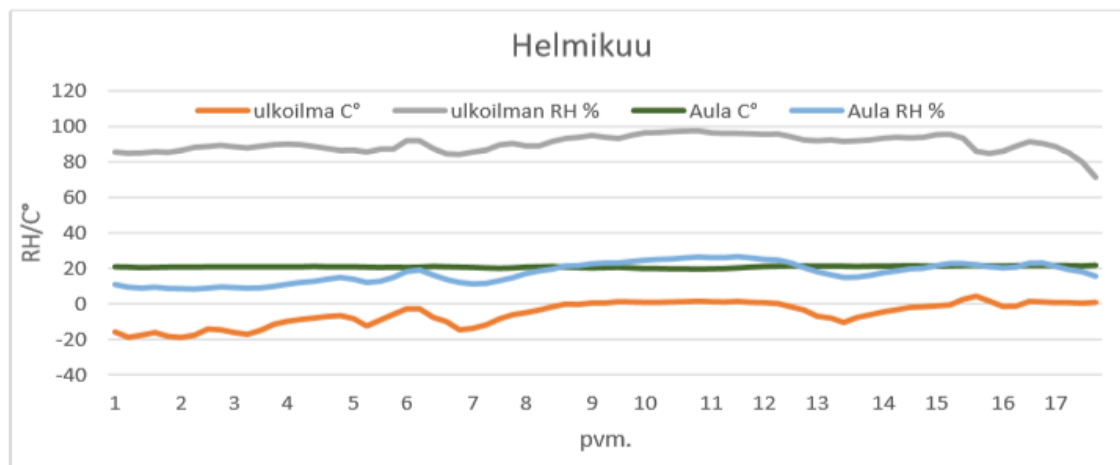
SiMap-antureiden tuloksia



Kuva 6. Aulan tuloksia joulukuulta 2018.

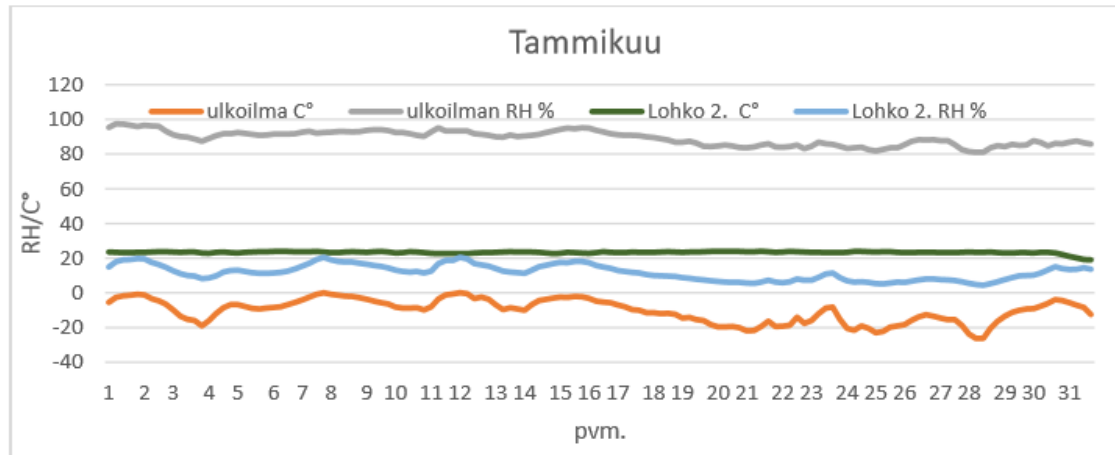


Kuva 7. Aulan tuloksia tammikuulta 2019.

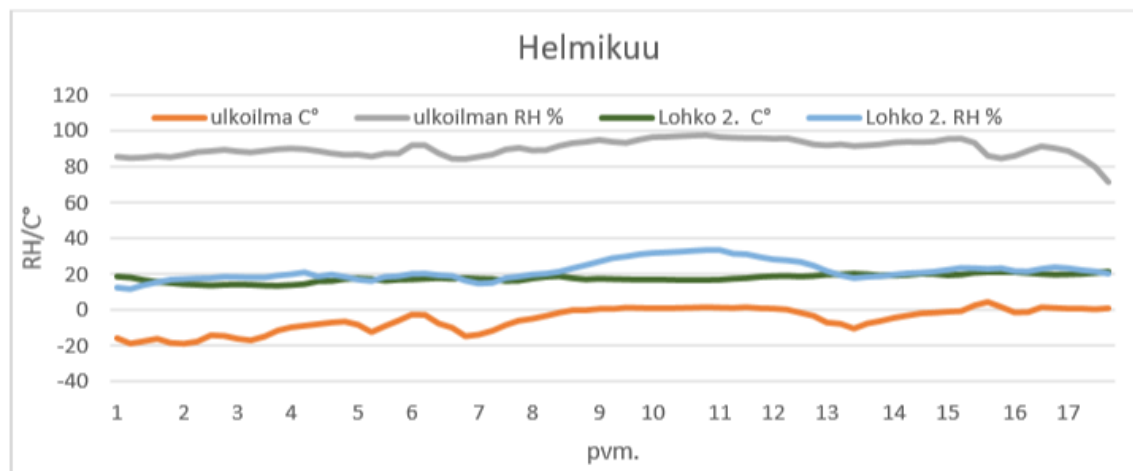


Kuva 8. Aulan tuloksia helmikuulta 2019

SiMap-antureiden tuloksia



Kuva 9. Lohkon 2 tuloksia tammikuulta 2019.



Kuva 10. Lohkon 2 tuloksia helmikuulta 2019.