

Emma Suikkanen

# PUUKERROSTALON KUIVA RAKENTAMISTAPA

Kandidaatintutkielma  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Markku Karjalainen  
Teemu Hirvilammi  
Huhtikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Emma Suikkanen: Puukerrostalon kuiva rakentamistapa – Dry construction of a wooden apartment building  
Tampereen yliopisto  
Arkkitehtuurin TkK-tutkinto-ohjelma  
Kandidaatintyö  
Huhtikuu 2022

---

Ilmastonmuutos ja rakentamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat johtaneet ympäristöystävällisempien rakennusmateriaalien ja rakenneratkaisujen valintaan. Päästöjen vähentämiseen on vastattu lisääntyneellä puun käytöllä rakennusmateriaalina, käyttämällä sitä runkomateriaalina kerrostaloissa ja julkisissa rakennuksissa. Suomen haastavat ilmasto-olosuhteet, sekä ilmastonmuutoksen vaikutus lisääntyneen sateen määrään aiheuttaa haasteita kosteuden muutoksiin reagoivalle huokoiselle rakennusmateriaalille, jolloin kosteudenhallinnan merkitys rakennushankkeissa korostuu.

Työssä tutkitaan, miten puukerrostaloja rakennetaan kuivana Suomen ilmasto-olosuhteissa. Ongelman selvittämiseksi työssä vastataan kysymyksiin: millainen puu on rakennusmateriaalina, mitkä ovat puurakentamisen kosteusriskit työmaalla, sekä mitkä ovat teollisen puurakentamisen erityispiirteet kosteudenhallinnan näkökulmasta. Työtä on lähestytty selvittämällä mikä on teollisen puurakentamisen vaikutus työmaa-aikaiseen sääsuojaukseen. Työssä käsitellään teollista puurakentamista, eli massiivipuurakenteisten ja rankarakenteisten suur- ja tilaelementtien, sekä pilari-palkkijärjestelmällä toteutettavien puukerrostalojen rakentamista kuivana. Ongelmaa selvitettiin kirjallisuuskatsauksena.

Työssä saatiin selville puurakentamisen kosteudenhallinnan keinoja ja tapoja, joilla rakenteet voidaan työmaalla suojata sateelta. Helpoin tapa rakenteiden suojaamiseen on sääsuojateltan, julkisivusuojien tai suojapeitteiden avulla. Suojaamista ilman sääsuojatelttaa on myös tutkittu, sillä sääsuojateltan käyttö lisää merkittävästi rakennusprojektin kustannuksia. Erillisissä suojapeitteissä on haasteena saada ne tarpeeksi tiiviiksi. Teollisessa puurakenteiden esivalmistuksessa on olennaista, ettei kuivaketju katkea. Siksi rakenteiden suojaus myös kuljetuksen ajaksi on tärkeää.

Mikäli rakenne on päässyt kastumaan, tulee kastunut rakenne kuivata. Suhteellisen kosteuden mittauksilla varmistetaan, onko ilmanvaihto riittävä rakenteiden tehokkaalle kuivumiselle. Oikein suunniteltuna riittävän lämmityksen ja tuuletuksen tulisi varmistaa rakenteiden riittävä kuivuminen. Kuivumista voidaan myös nopeuttaa esimerkiksi puhaltimilla.

Avainsanat: puukerrostalo, teollinen puurakentaminen, teollinen esivalmistus, kosteudenhallinta, sääsuojaus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tausta.....	1
1.2 Tavoitteet.....	2
1.3 Menetelmät ja rajaukset .....	2
2. PUU RAKENNUSMATERIAALINA.....	3
2.1 Puun kosteusominaisuudet ja -käyttäytyminen.....	3
2.2 Puun lujuusominaisuudet .....	5
2.3 Puun vaurioituminen .....	6
3. TEOLLISEN ESIVALMISTUKSEN OMINAISPIIRTEITÄ .....	8
3.1 Rakennejärjestelmät teollisessa puurakentamisessa .....	8
3.2 Teollisen esivalmistuksen edut ja haasteet .....	12
4. PUUKERROSTALOJEN KOSTEUSOLOSUHTEIDEN HALLINTA.....	13
4.1 Puukerrostalon kosteusriskien hallinta .....	13
4.2 Sääsuojausten merkitys työmaalla .....	16
4.3 Rakenteiden kuivatus.....	25
5. POHDINTA JA YHTEENVETO .....	26
LÄHTEET .....	27
KUVALÄHTEET .....	30

# 1. JOHDANTO

Tarve hillitä rakentamisesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä on johtanut ympäristöystävällisempien rakennusmateriaalien ja rakenneratkaisujen valintaan, kuten lisääntyneeseen puun käyttöön runkomateriaalina kerrostaloissa ja julkisissa rakennuksissa. Suomen ilmasto-olosuhteet, sekä ilmastonmuutoksen vaikutus lisääntyneen sateen määrään aiheuttaa haasteita kosteuden muutoksiin reagoivalle rakennusmateriaalille, jolloin kosteudenhallinnan merkitys rakennushankkeissa korostuu.

## 1.1 Tausta

Rakentamisen ympäristövaikutuksiin kiinnitetään paljon huomiota ilmastonmuutoksen myötä, sillä kolmannes Suomen hiilidioksidipäästöistä aiheutuu rakentamisesta ja rakennuksista. (Ympäristöministeriö) Rakentamisessa pyritään löytämään vähähiilisempiä ja ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja, ja puukerrostalorakentamisella pyritään vastaamaan tähän tarpeeseen. (Hurmekoski 2015)

Puun käyttö rakennusmateriaalina on lisääntynyt ja kerrostalojen rakentaminen puurunkoisina on yleistynyt. Tehokkaan puurakentamisen takaamiseksi on kehitetty paljon erilaisia rakentamisen tapoja ja puurakenteisia komponentteja, joita voidaan esivalmistaa tehtaissa hyvin pitkälle. Kun suurin osa työstä voidaan tehdä kuivissa ja hallituissa tehdasolosuhteissa, on itse rakennusaika työmaalla lyhyempi perinteiseen rakentamiseen verrattuna. Teollinen puurakentaminen mahdollistaa nopean rakentamisen, mutta korostaa kuivan rakentamistavan tärkeyttä.

Suomen sääolosuhteet haastavat puurakentamista. Ilmastonmuutoksen myötä sateen määrä on lisääntynyt. Kosteudenhallinta ja puurakenteisten rakennusten rakentaminen kuivana on ollut paljon esillä viime aikoina. Suhteellisen uutena ja kehittyvänä rakentamisen tapana puukerrostalorakentaminen Suomen ilmasto-olosuhteissa on aiheuttanut huolta puukerrostalojen kuivana rakentamisesta. Huoli terveellisistä rakennuksista ja hyvästä sisäilmasta on saanut huomion kiinnittymään rakentamisen kosteudenhallintaan ja siihen, millainen vaikutus kosteudenhallinnalla ja kosteusteknisesti oikein toimivilla rakennuksilla on ihmisten terveyteen. Oikeanlainen kosteudenhallinta myös tukee kestävää rakentamista, sillä se vaikuttaa rakennuksen pitkäaikaiskestävyyteen.

## 1.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää, miten puukerrostaloja rakennetaan kuivana niin, että vesi ei pääse kastelemaan rakenteita ja vaurioittamaan niitä. Työtä on lähestytty selvittämällä mikä on teollisen puurakentamisen vaikutus työmaa-aikaiseen sääsuojaukseen. Ongelman selvittämiseksi työssä pyritään vastaamaan kysymyksiin: millainen puu on rakennusmateriaalina, ja mitkä ovat teollisen puurakentamisen erityispiirteet kosteudenhallinnan näkökulmasta? Olennaista puukerrostalojen rakentamisessa kuivana on kosteudenhallinta ja rakenteiden suojaaminen. Sitä pyritään avaamaan vastaamalla kysymyksiin: miten puurakenteet voidaan suojata kosteudelta rakentamisen aikana työmaalla, mikä on suojaamisen merkitys, sekä mitkä ovat puurakentamisen kosteusriskit työmaalla? Lisäksi työssä selvitetään, miten työmaan kosteusolosuhteita hallitaan ja mitä tehdään, jos sääsuojaus ei toimi ja rakenne pääsee kastumaan.

## 1.3 Menetelmät ja rajaukset

Työn aihe on rajattu puukerrostalorakentamisen kosteudenhallintaan Suomessa. Työssä keskitytään siihen, miten puukerrostalon sääsuojaus voidaan toteuttaa rakentamisen aikana työmaalla, eli siitä hetkestä, kun elementit saapuvat tehtaalta työmaalle siihen hetkeen asti, kunnes rakennus on valmis. Työssä käsitellään teollista puurakentamista, eli massiivipuurakenteisten ja rankarakenteisten suur- ja tilaelementtien, sekä pilari-palkki-järjestelmällä toteutettavien puukerrostalojen rakentamista kuivana. Kosteusriskien hallintaa käsitellään koko ketjun ajalta eli valmistuksesta kuljetukseen ja asennukseen, mutta työssä keskitytään varsinkin asennusvaiheeseen. Hirsirakenteiset ja paikalla rakennetut puukerrostalot on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena.

Työn toisessa luvussa käsitellään puun materiaaliominaisuuksia sekä puun vaurioitumista. Kolmannessa luvussa syvennytään teolliseen puurakentamiseen eli käsitellään puukerrostalorakentamisen rakennejärjestelmiä sekä esivalmistuksen etuja ja haasteita. Neljäs luku keskittyy kuivana rakentamiseen. Siinä käsitellään työmaan kosteusriskit ja niiden hallinta, sääsuojat, sekä niiden merkitys kosteudenhallinnan kannalta. Viimeisenä käsitellään kastuneen rakenteen kuivatus.

## 2. PUU RAKENNUSMATERIAALINA

Puu on monipuolinen rakennusmateriaali sen erilaisten teknisten ja esteettisten ominaisuuksien vuoksi. Se on kaunis ja lämmin materiaali, joten sitä käytetään paljon pinnoitteena julkisivuissa ja sisätiloissa. Puulla on suhteellisen huono lämmönjohtavuus, joten se eristää hyvin lämpöä (Metsä Group b). Puun käyttäminen sisätilojen pintamateriaalina parantaa myös sisäilman laatua (Salonvaara 2004).

Puun lujuusominaisuuksien vuoksi sitä voidaan käyttää rakennejärjestelmissä kantavina rakenteina eri tavoin, kuten pilari-palkkijärjestelmänä sekä esivalmistettuina rankarunkoisina tai massiivipuisina suurelementteinä ja tilaelementteinä (Puuinfo 2020h). Puu on myös paikallisesti saatavaa, kierrätettävää ja uusiutuvaa, ja se sitoo itseensä hiilidioksidia, mikä tekee siitä ympäristöystävällisen rakennusmateriaalin (Metsä Group a).

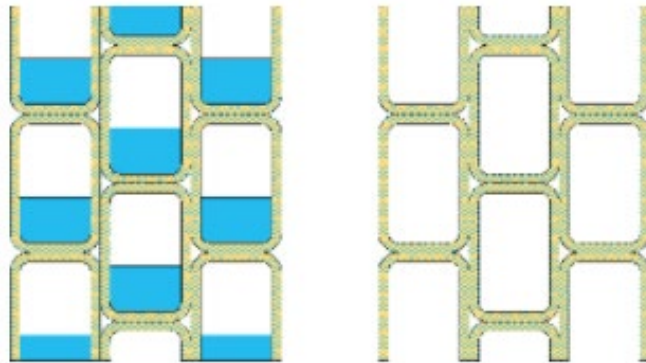
Huonona puolena puulla on sen huokoinen pinta, jonka kautta puu imee itseensä kosteutta ja on näin altis homeen kasvulle ja lahottajasienille (Puuinfo 2020b). Puu on luja, mutta pehmeä materiaali, joten sitä on helppo työstää. Se on kevyttä ja teollisen puurakentamisen myötä rakentaminen on nopeaa. Kevyitä puurakennustuotteita on myös edullisempi kuljettaa, esimerkiksi betonituotteisiin verrattuna. Kuorma jaksaa kantaa kerralla enemmän keveitä puusta valmistettuja tuotteita kuin vastaavanlaisia betonituotteita. (Metsä Group b)

### 2.1 Puun kosteusominaisuudet ja -käyttäytyminen

Puu on huokoinen materiaali, joten se pystyy sitomaan ja luovuttamaan kosteutta ympäröivästä ilmasta, kun ilman suhteellinen kosteus kasvaa tai pienenee. Puu pyrkii aina tasapainokosteuteen sitä ympäröivän ilmankosteuden kanssa. (Puuinfo 2020b)

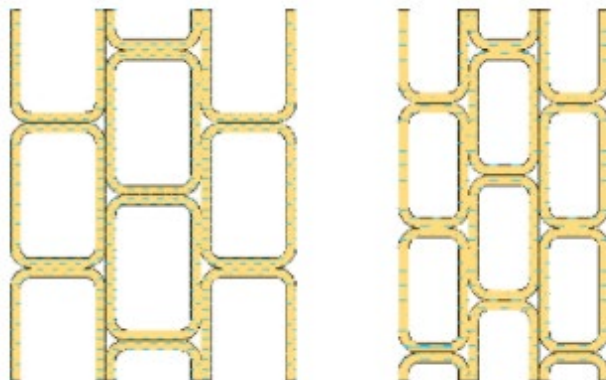
Puun kosteuspitoisuus on veden painon suhde puun kuivapainoon prosentteina. Tuoreella havupuulla kosteuspitoisuus on 30 %, jolloin soluseinämät ovat täysin kyllästyneet ja vapaa vesi on poistunut soluonteloista (kuva 1). Eri käyttötarkoituksiin tarkoitetuille puutuotteille on eri kosteuspitoisuuksia, joita pystytään muuttamaan tarpeen ja kohteen mukaan kuivattamalla puutavaraa erilaisilla menetelmillä. Esimerkiksi rungolle, ulko- ja sisäverhoukselle, sekä lattialaudoille on kosteuspitoisuussuosituksen, joista puun kosteuspitoisuudet eivät saisi paljoa vaihdella. Koska puu pyrkii aina tasapainokosteuteen ympäristön kanssa, on puun kosteuspitoisuudesta pidettävä huolta aina varastoinnista,

kuljetukseen ja asentukseen saakka. Normaalisti puun kosteuspitoisuus on 8–25 % välillä. Kun puun kosteuspitoisuus ylittää 20 %, tuholaisten, lahottajasierien ja homehtumisen riski kasvaa sekä lujuus- ja jäykkyysominaisuudet heikkenevät. (Puuinfo, 2020b)



**Kuva 1.** Vasemmalla on puu, jonka soluseinämät ja soluontelot ovat täyttyneet vedellä. Oikealla on puu, jonka soluseinämät ovat täysin kyllästyneet ja vapaa vesi on poistunut soluonteloista. Puu on saavuttanut syiden kyllästymispisteen (Puuinfo 2020b).

Puun kosteusominaisuudet ovat erilaiset pitkittäis- ja poikittaissuunnassa. Kosteuspitoisuuden vaihtelut saavat puun laajenemaan ja kutistumaan, ja näin aiheuttavat puussa muodonmuutoksia poikittaissuunnassa eli kohtisuorassa syitä vastaan (kuva 2). Pitkittäissuunnassa eli syiden suuntaisesti muutokset ovat puolestaan vähäisiä. Tämä perustuu veden poistumiseen soluonteloista. Kutistumisesta johtuvat muodonmuutokset aiheuttavat sisäisiä jännityksiä, jotka saavat puun halkeamaan ja sahatavaran kieroutumaan. Puun kosteuskäyttäytyminen riippuu puulajista, koska suhteellisen kosteuden vaihtelu vaikuttaa esimerkiksi mäntyyn nopeammin kuin kuuseen. Puun kosteuden muutoksia voidaan hidastaa esimerkiksi pintakäsittelyiden avulla. (Puuinfo 2020b)

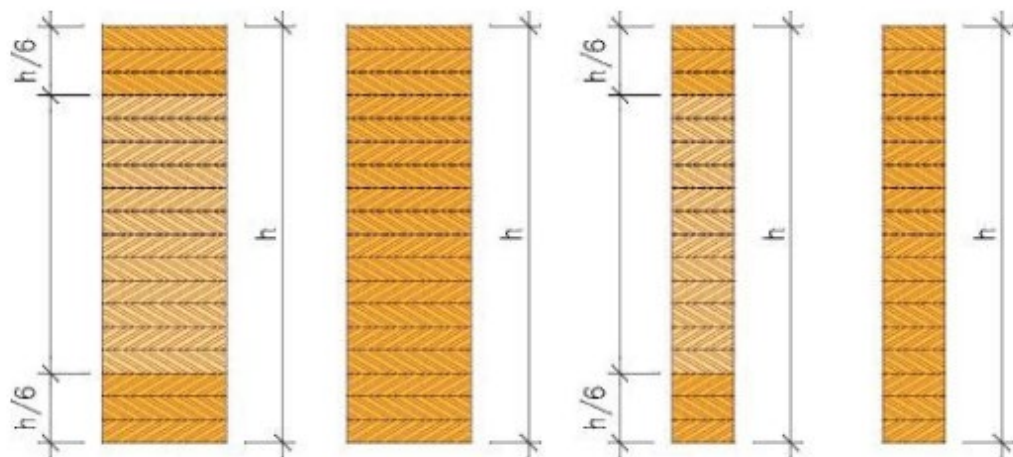


**Kuva 2.** Vasemmalla on kostea puu, jonka soluseinämät ovat kyllästyneet vedellä. Oikealla on soluseinämien kuivumisen seurauksena poikittaissuunnassa kutistunut puu. (Puuinfo 2020b)

## 2.2 Puun lujuusominaisuudet

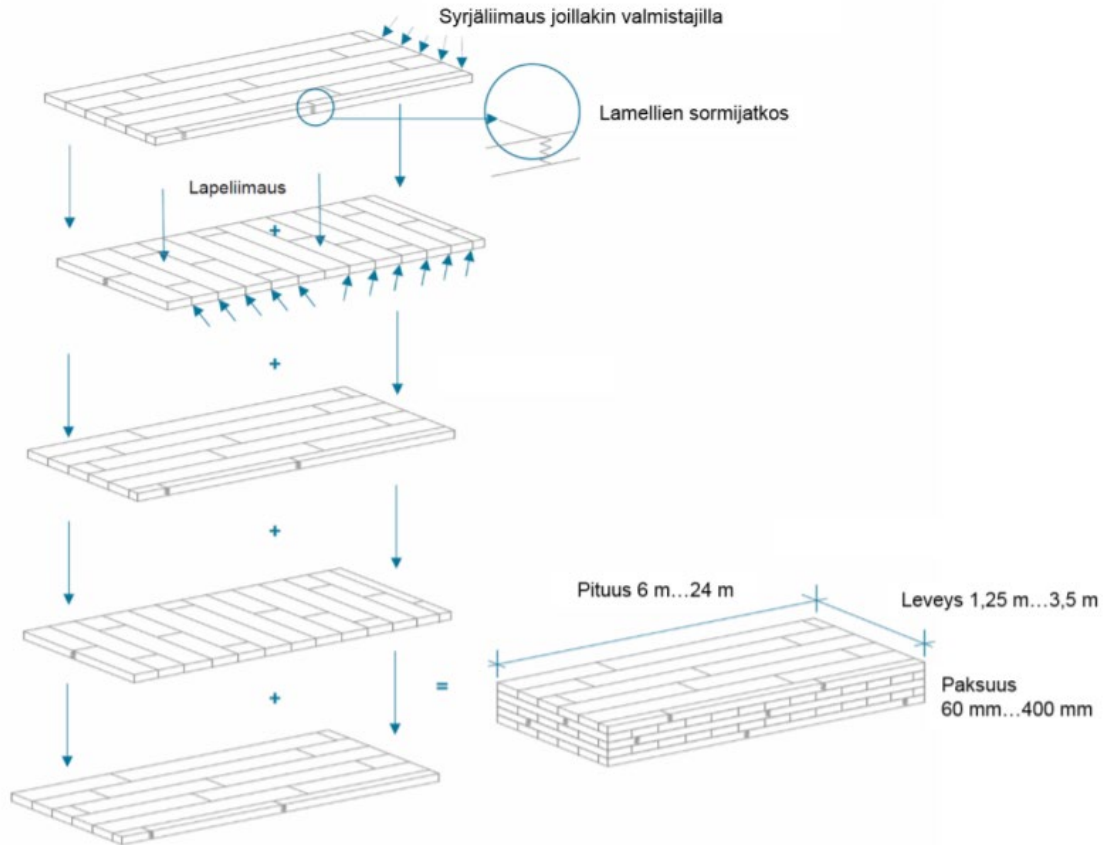
Puun lujuusominaisuuksien vuoksi puuta voidaan käyttää kantavissa rakenteissa. Puun kosteuspitoisuus vaikuttaa puun jäykkyyks- ja lujuusominaisuuksiin, sillä kuiva puu on märkää puuta lujempaa. Tämä perustuu puun soluseinämässä olevan veden poistumiseen puusta, jolloin puu kutistuu eli tiivistyy, ja puun tiivistyessä puun lujuus kasvaa. Mitä tiheämpi puu, sitä lujempaa, kimmoisampaa ja kulutuskestävämpää se on. Tiheyttä arvioitaessa tulee aina huomioida puun kosteustila ilmoittamalla massan ja tilavuuden mittauksen aikana vallinnut kosteustila. Puun tiheys mitataan usein kosteuden ollessa 15 %, jolloin tiheys ilmoitetaan ilmakeivätiheytenä. Yleisimmät rakentamisessa käytettävät puulajit Suomessa ovat koivu, mänty ja kuusi. Näistä kuusi ja mänty ovat lujuusominaisuuksiltaan samanlaiset, mutta koivu on tihein ja lujin. Puun lujuusominaisuudet ovat erilaiset sen mukaan mistä suunnasta sitä kuormitetaan. Puu on lujempaa syiden suunnassa kuin kohtisuoraa syitä vastaan. (Puuinfo 2020c)

Puutavaraa liimaamalla yhteen, saadaan tehtyä lujia rakentamisessa käytettäviä insinööripuutuotteita, kuten liimapuuta ja CLT:tä (engl. Cross Laminated Timber), joilla on hyvät rakenteelliset lujuusominaisuudet. Liimapuun toiminta perustuu syiden pituussuunnassa päällekkäin liimattuihin sahatavaralamelleihin (kuva 3) (Puutuoteteollisuus 2021b). CLT-levyt puolestaan koostuvat ristikkäin liimatuista puulevykerroksista (kuva 4). Tällainen ristiin liimattu rakenne aiheuttaa levyyn pystysuunnassa kohdistuvien kuormien jakautumisen lamellien suuntaisesti (Stora Enso 2016). Näin saadaan luja ja jäykkä puutuote, jolla painumat ovat vähäisiä (Puuinfo 2020h).



**Kuva 3.** Erilaisten liimapuutuotteiden poikkileikkauksia (Puuinfo 2020k).



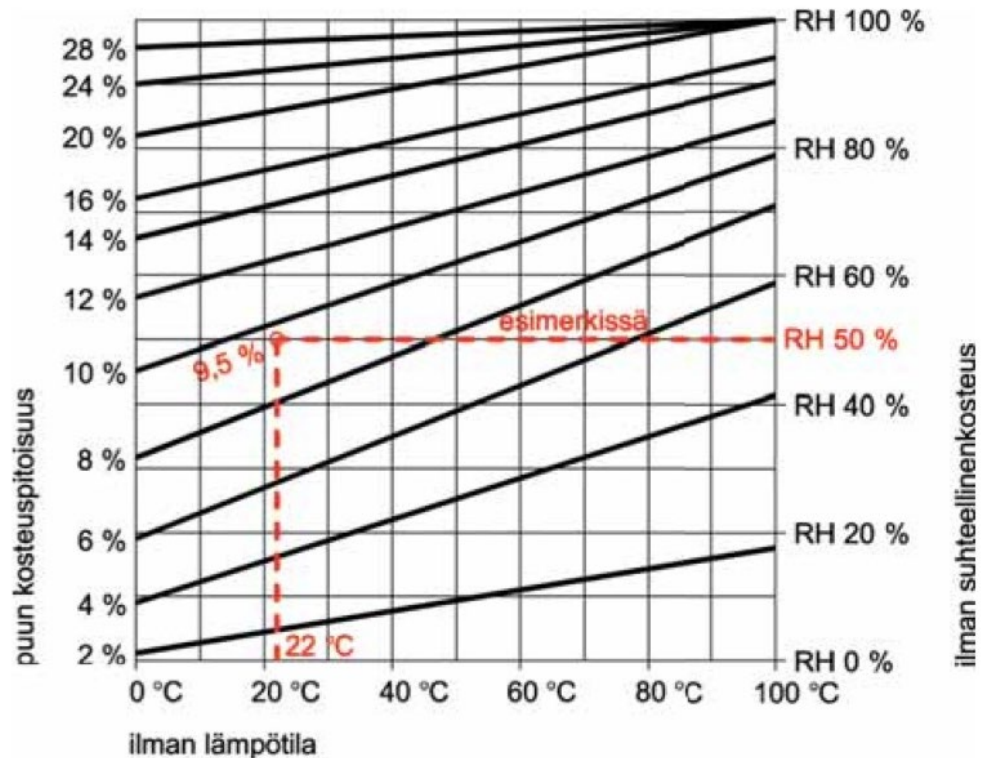


**Kuva 4.** CLT-levyn kerroksellisuus (Lahtela 2018, 6).

## 2.3 Puun vaurioituminen

Puun altistuessa pitkään liialliselle kosteudelle, kosteusvaurioiden riski kasvaa. Vaurioitumien alkaa siis tapahtua, kun puun ja sen ympäristön kosteus- ja lämpöolosuhteet ovat suotuisat homeen ja lahottajasienten kasvuille. Vaurioituminen voi lopulta johtaa sisäilmaongelmiin ja omaisuusvahinkoihin. (Puutuoteteollisuus 2021a) Mikäli puun epäillään vaurioituneen, voidaan vaurioituminen todeta tutkimuksilla ja mittauksilla (Valvira 2016).

Homeen ja lahottajasienten kasvuun vaikuttaa puun korkea kosteuspitoisuus, korkea suhteellinen ilmankosteus, sekä lämpötilan nousu (kuva 5). Suotuisat kasvuolosuhteet saavutetaan, kun puun kosteuspitoisuus on pitkään yli 20 prosenttia. Kun ilman suhteellinen kosteus RH on 80–90 %, alkaa puu homehtua. Yli 90 %:n suhteellinen kosteus puolestaan aiheuttaa puun lahoamisen. Homehtuminen ja lahoaminen vaativat tapahtuakseen myös + 0 - +40 °C lämpötilan, sekä ravinteita ja happea puusta ja ympäröivästä ilmasta. (Puuinfo 2019) Mitä lämpimämpi ympäristö on, sitä nopeammin kasvu tapahtuu (Sisäilmayhdistys 2008).



**Kuva 5.** Ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta riippuva puun kosteuspitoisuutta kuvaava tasapainokosteuskäyrä (Puuinfo 2020b).

Homevaurion voi tunnistaa tunkkaisen hajun, erilaisten oireiden kuten allergisten reaktioiden tai silmin havaittavan rihmaston perusteella (Puuinfo 2020b). Usein homeetta voi olla vaikeaa tunnistaa paljaalla silmällä, sillä rihmasto voi olla väritöntä ja siksi hankala havaita. (Siikanen 2016) Mikäli puussa on liikaa kosteutta voi rappaus- tai maalipinta hilseillä ja puu tummua. Homeetta esiintyy vain puun pinnalla, eikä se näin vaikuta puun lujuusominaisuuksiin. (Puuinfo 2020b)

Puun pinta voi myös sinistyä, jota saatetaan usein luulla homeeksi. Sinistyminen on puun värjäytymistä, ja sitä aiheuttaa sinistäjäsieni. Sinistäjäsienen itiöt voivat levitä puun pinnalta myös syvälle puuhun, mutta eivät vaikuta puun lujuusominaisuuksiin. Sinistymistä esiintyy erityisesti varastoiduissa havupuissa. (Puuinfo 2019)

Lahottajasienet vaikuttavat puun lujuuteen. Ne heikentävät puun ominaisuuksia, sillä lahoaminen pääsee vaikuttamaan koko puuhun. Lahon vaikutuksesta puu alkaa hajoamaan. Hajoamistapaan vaikuttaa lahotyyppi, joita ovat ruskolaho, valkolaho ja katkolaho. (Oulun kaupunki)

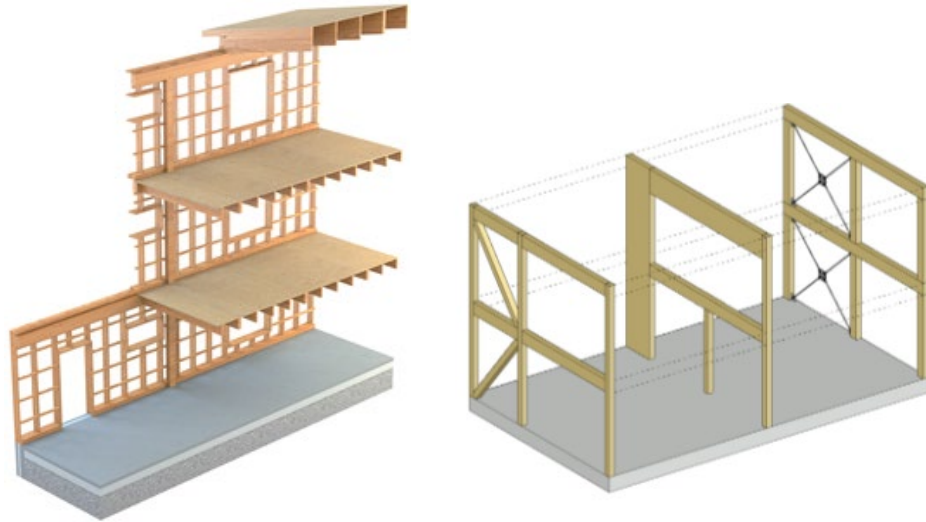
### **3. TEOLLISEN ESIVALMISTUKSEN OMINAIS-PIIRTEITÄ**

Puun keveys on mahdollistanut puurakenteiden teollisen esivalmistuksen (Metsä Group b). Teollisella puurakentamisella tarkoitetaan siis rakentamisessa käytettävien puuelementtien esivalmistamista tehtaissa, josta ne kuljetetaan asentamista vaille valmiina työmaalle (Sipiläinen 2020, 12). Rakentamisessa tarvittavat elementit voidaan näin tehdä valmiiksi työmaan sijaan kuivissa sisätiloissa, jolloin rakentaminen saadaan tehtyä hallitusti ja laadukkaasti. Tämä myös nopeuttaa rakennusprosessia työmaalla, kun valmiit elementit tulee vain kuljettaa työmaalle, nostaa paikoilleen, asentaa ja viimeistellä. (Metsä Group b)

#### **3.1 Rakennejärjestelmät teollisessa puurakentamisessa**

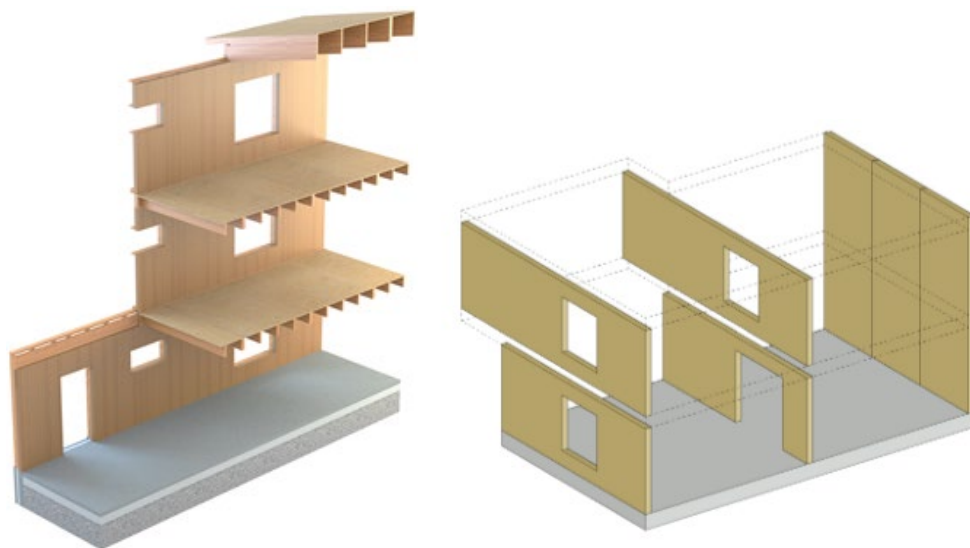
Puukerrostalo on kerrostalo, jonka kantavat rakenteet ovat suurimmaksi osaksi puuta (Puuinfo 2020f). Puukerrostalorakentamisessa rakennejärjestelmät jaetaan pilari-palkki-järjestelmään sekä kantavat seinät -järjestelmään. Yleisimmät rakennejärjestelmät puukerrostalorakentamisessa ovat kantavat seinät -järjestelmään kuuluvat esivalmistetut ranka- tai massiivipuulevyrakenteiset suurelementit sekä tilaelementit. Nämä valmistetaan tehtaissa säältä suojassa ja tuodaan suoraan tehtaalta työmaalle. (Puuinfo 2020h)

Pilari-palkkijärjestelmällä toteutettavan puukerrostalon runko koostuu pilareista ja palkkeista (kuva 6), jotka on valmistettu kerto- tai liimapuusta. Ylä- ja välipohjat sekä ulkoseinät asennetaan näiden pilareiden ja palkkien varaan. Jäykistys tapahtuu mastopilareilla tai vinositeillä jäykkien liitosten avulla. Ulkoseinät voidaan tällöin toteuttaa keveinä suurelementteinä. Tällainen järjestelmä mahdollistaa muuntojoustavan rakennuksen, jossa on paljon vaihtoehtoja erilaisille tilaratkaisuille ja aukotuksille. (Puuinfo 2020h)



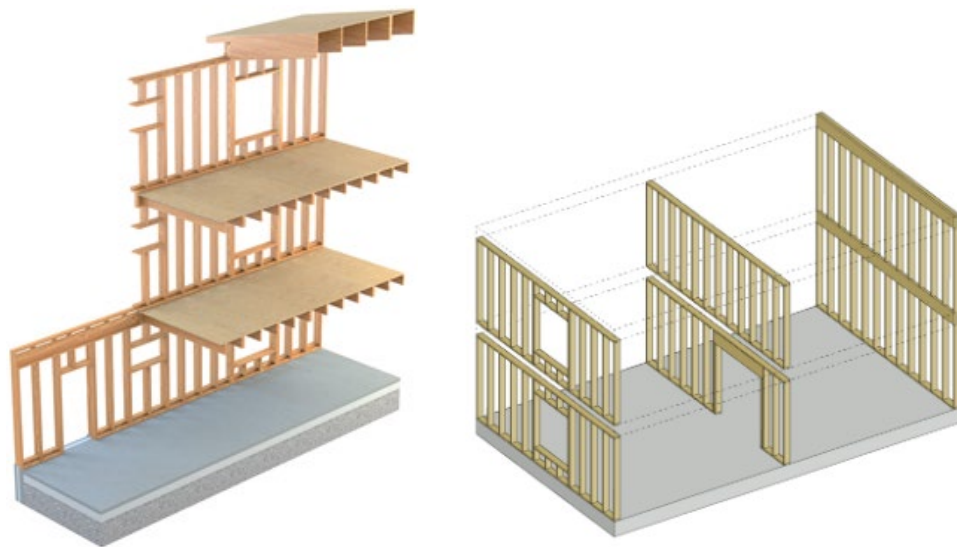
**Kuva 6.** Pilari-palkkijärjestelmällä toteutetun puukerrostalon rakenne (vas.) (Puuinfo 2020h). Oikealla on esitettyä rungon jäykistys (Puuinfo 2020i).

Kantavat seinät -järjestelmällä toteutettava puukerrostalo voidaan tehdä massiivipuisilla tai rankarakenteisilla suurelementeillä. Massiivipuiset suurelementit CLT-tekniikalla koostuvat ristiinliimatuista puukerroksista (kuva 7). Levyä käytetään välipohjissa ja seinissä, ja se itsessään on kantava ja jäykistävä. CLT-tekniikkaa käytettäessä suunnitteluun tulee kiinnittää paljon huomiota, sillä aukotukset ja liitokset tehdään tehtaalla levyihin jo valmiiksi. Joustavat aukotukset välipohjissa ja seinissä ovat mahdollisia CLT:tä käytettäessä kuten myös ulokerakenteet. Elementtejä saa myös tilattua eri valmistusasteissa, jolloin elementin mukana voi tulla myös ovet ja ikkunat, sekä eristeet ja pintamateriaalit. (Puuinfo 2020h)



**Kuva 7.** Kantavat seinät -järjestelmään kuuluva puukerrostalo massiivipuulevyrakenteisista suurelementeistä (vas.) (Puuinfo 2020h), (oik.) (Puuinfo 2020j).

Kaikista yleisin tapa toteuttaa puukerrostalo, on rankarakenteisilla suurelementeillä, jossa seinän runko muodostuu kerto- tai liimapuusta (kuva 8). Ulkoseinät, sekä osa väliseinistä, kuten huoneistojen seinät toimivat kantavina linjoina. (Puuinfo 2020h) Kantavat seinät toimivat usein myös jäykistävinä rakenteina runkoon kiinnitettävien jäykistävien levyjen avulla (Puuinfo 2020d). Välipohjana niissä toimii esimerkiksi kotelo- tai ripplaatta, massiivipuulevy tai rankarakenteinen palkkivälipohja (Puuinfo 2020h). Muuntojoustavuus ei ole aivan yhtä hyvää rankarunkoa käytettäessä, sillä seinien tulee olla päällekkäin eri kerroksissa kuormien ja jäykistysten vuoksi. Myös ulokkeilla ja aukotuksien sijainneilla ja koilla on tiettyjä ehtoja. (Puuinfo 2020d)



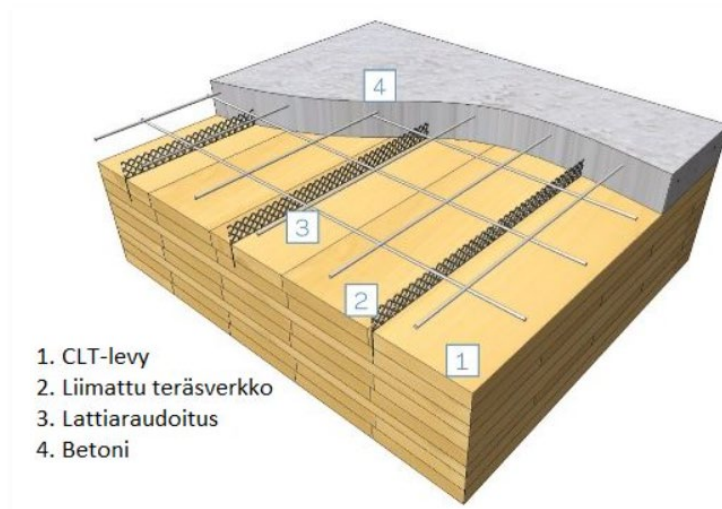
**Kuva 8.** Kantavat seinät-järjestelmään kuuluva puukerrostalo rankarunkoisista suurelementeistä (vas.) (Puuinfo 2020h) (oik.) (Puuinfo 2020d)

Tilaelementtirakentaminen on kaikista pisimmälle vietyä teollista puurakentamista. Siinä rakennus muodostuu tehtaalla rakennetuista valmiista moduuleista, tilayksiköistä (kuva 9). Tilaelementti koostuu seinistä, lattiasta ja katosta, sekä valmiiksi asennetuista ikkunoista, LVIS-varusteista ja mahdollisista kiintokalusteista. Sen kantava runko voidaan tehdä pilari-palkkijärjestelmällä, kehärakenteella tai suurelementeillä, jotka voidaan valmistaa rankarakenteisina tai massiivipuurakenteisina. (Puuinfo 2020h)



**Kuva 9.** Kantavat seinät-järjestelmään kuuluva massiivipuulevyrakenteinen tilaelementti (vas.) (Puuinfo 2020h) ja rankarakenteinen tilaelementti (oik.) (Kauppalehti 2019).

Eri runkojärjestelmillä toimivat puukerrostalot ovat usein hybridirakenteisia, jolloin rakennetyypit ja -ratkaisut on optimoitu vastaamaan tarpeeseen kohteen tavoitteiden ja ominaispiirteiden mukaan (Puuinfo 2020h). Esimerkiksi maanvaraiset rakenteet kuten perustukset tehdään betonirakenteisina (Kyssi 2013, 52). Myös liittorakenteet ovat tyypillisiä puukerrostalohankkeissa, esimerkiksi betonin ja puun liittorakenne on hyvin yleinen (kuva 10). Se mahdollistaa pidemmät jännevälit, sekä paremman askeläänieristyksen välipohjissa. Pidemmät jännevälit mahdollistavat myös muuntojoustavan tilan, jolloin rakennuksesta saadaan pitkäaikaiskestävä. (Poikajärvi 2017) Myös eri runkojärjestelmiä ja materiaaleja voidaan yhdistellä, mutta niissä tulee kiinnittää huomio liittymäkohtiin (Puuinfo 2020g). Materiaaleja yhdistämällä on näin mahdollista saada kustannuksiltaan optimaalisin ja teknisesti toimivin ratkaisu (Poikajärvi 2017).



**Kuva 10.** Esimerkki puun ja betonin liittorakenteesta välipohjassa (Poikajärvi 2017).

Puuelementtirakentamisen helpottamiseksi Finnish Wood Research on tehnyt kaikille avoimen RunkoPES puuelementtistandardin, josta löytyy ratkaisutapoja eri rakennejärjestelmien rakenteille ja liittymille. Sitä voidaan käyttää asuntotuotannossa niin pientaloissa kuin kerrostaloissa. Pääasiassa sieltä löytyy sovellettavissa olevia standardoituja rakenneratkaisuja suurelementeille, mutta myös tilaelementeille ja ei-kantaville rakenteille. RunkoPES-aineiston avulla puurakennuskohteiden suunnittelu helpottuu, kun rakenteille on olemassa valmiit sovellettavissa olevat ratkaisutavat. Tämä lisää puurakentamisen laatua. (Puuinfo 2020e)

### **3.2 Teollisen esivalmistuksen edut ja haasteet**

Puurakenteiden teollisella esivalmistuksella on niin etuja kuin haasteita. Esivalmisteisia rakennusosia käytettäessä suunnitteluun tulee panostaa laadukkaan lopputuloksen takaamiseksi. Puusta valmistetut elementit ovat keveitä ja työstettäviä, mikä edesauttaa niiden teollista esivalmistusta, sillä keveiden elementtien kuljetus ja nostaminen on helppoa. (Metsä Group b) Puusta valmistetut elementit aiheuttavat haasteita puun kosteusominaisuuksien vuoksi, sillä Suomen ilmaston kosteusolosuhteet voivat vaurioittaa puuta. Haasteena on riittävä kosteustekninen suunnittelu ja kosteusolosuhteiden hallinta. (Puuinfo 2020b)

Teollisen esivalmistuksen merkittävin hyöty on sen lyhyt rakentamisaika. Se myös parantaa rakentamisen laatua, kun rakentaminen on nopeaa, hallittua ja modulaarista. (Metsä Group b) Teollinen puurakentaminen tuottaa vähemmän materiaalihukkaa, parantaa rakentamisen tuottavuutta ja työturvallisuutta, sillä olosuhteiden hallinta on helpompaa sisätiloissa kuin ulkona työmaalla (Lehto Group 2021).

Haasteena esivalmistetuilla puurakenteilla on riittävän tarkka ja systemaattinen suunnittelu. Suunnittelu on hyvin tarkkaa ja siihen joudutaan panostamaan ja käyttämään paljon aikaa laadukkaan lopputuloksen ja sujuvan rakentamisen takaamiseksi. Esivalmistetut suur- ja tilaelementit nostetaan ja asennetaan kuljetusajoneuvosta paikalleen suoraan, ilman erillistä työmaa-aikaista varastointia. Tästä syystä toimitukset, asennustyöt, nosturin työt ja elementtien asennusjärjestys tulee suunnitella ja valmistella etukäteen, jotta rakentaminen tapahtuu hallitusti ja laadukkaasti. (Metsä Group b)

## 4. PUUKERROSTALOJEN KOSTEUSOLOSUHTEIDEN HALLINTA

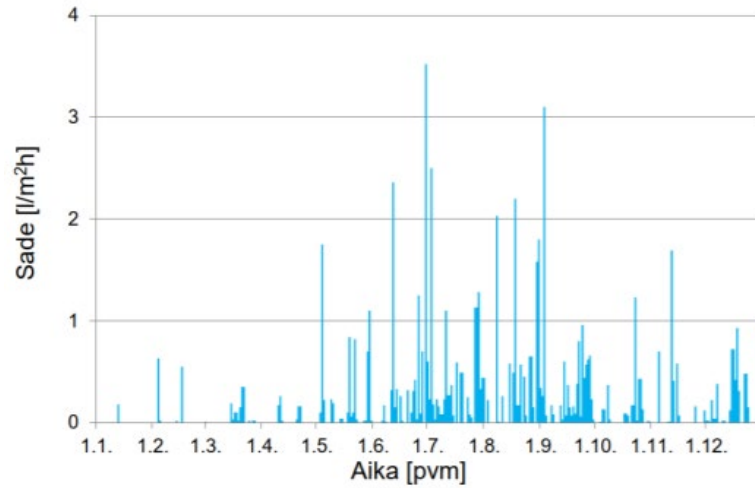
Suomen ilmasto-olosuhteet ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat lisääntyneet vesisateet aiheuttavat tarpeen rakennusten sääsuojaukselle. Puun kosteudensitomiskyvyn vuoksi puukerrostalojen kosteudenhallinta on tärkeää, terveellisten asuntojen takaamiseksi. Maankäyttö- ja rakennuslaissa on säädös rakennuksen terveellisyydestä, jonka mukaan ympäristöministeriö on antanut asetuksen rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. (Ympäristöministeriö 2020)

Rakennuksen kosteudenhallinta edellyttää laadukasta suunnittelua. Kosteusteknisesti vaativissa rakennushankkeissa, kuten puurakenteisissa kohteissa, suunnittelu on merkittävässä roolissa. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota siihen, että rakennuksen ja rakenteiden suunnitteluratkaisut ovat kosteusteknisesti oikeita ja turvallisia, ja että rakentamisvaiheen kosteussuojaus ja kuivattaminen tapahtuu hallitusti. Myös rakennuksen tarkoituksenmukainen käyttö ja ylläpito on tärkeä osa rakennuksen kosteudenhallintaa. (Åström 2020)

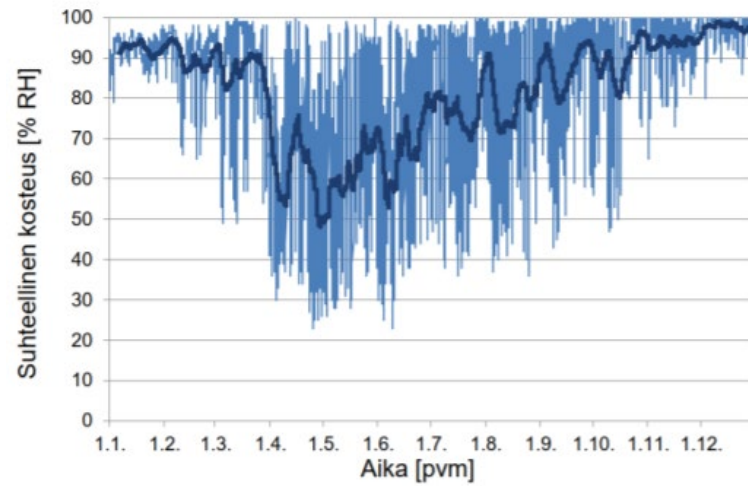
### 4.1 Puukerrostalon kosteusriskien hallinta

Kosteusteknisesti laadukkaan rakennuksen kosteudenhallintaan tulee kiinnittää huomiota koko rakentamisen ketjun ajan suunnittelusta komponenttien valmistamiseen tehtaalla, niiden kuljetukseen ja asennukseen osaksi rakennusta. Kosteusriskien hallintaan ja kosteusteknisen toiminnan seurantaan tulee panostaa rakennusvaiheessa työmaalla, jolloin rakenteilla on suuri riski altistua sateelle ja korkealle ilman suhteelliselle kosteudelle. Sademäärä ja suhteellinen kosteus vaihtelevat vuodenajan mukaan (kuvat 11 ja 12). Myös lämpötila on tärkeä osa olosuhdehallintaa (kuva 13). Kosteudelle alttiit materiaalit ja rakenteet suojataan kosteudelta kosteusriskien välttämiseksi. (Talorakennusteollisuus ry 2016) Kosteudenhallinnan tavoitteena on estää veden, höyryn, jään ja lunen pääsy rakenteisiin. Työmaa-aikaisella olosuhteiden seurannalla voidaan välttää rakenteiden kastuminen ja vaurioituminen. (Åström 2020, 97)

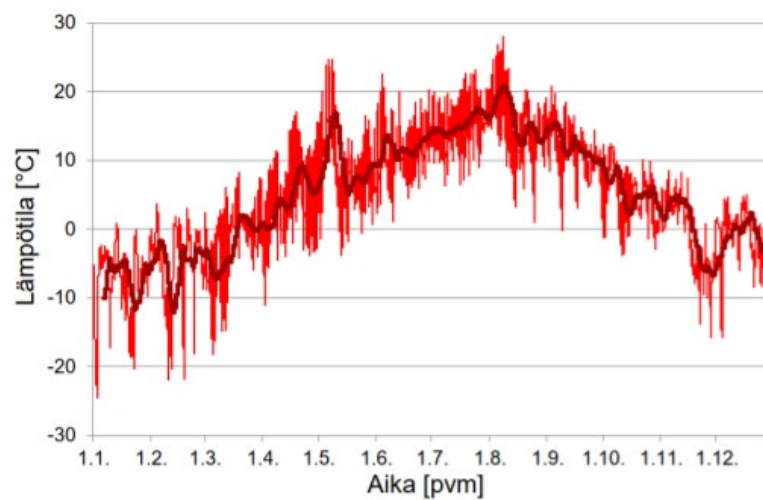




**Kuva 11.** Sademäärän vaihtelut eri vuodenaikoina (Vinha 2013, 390).



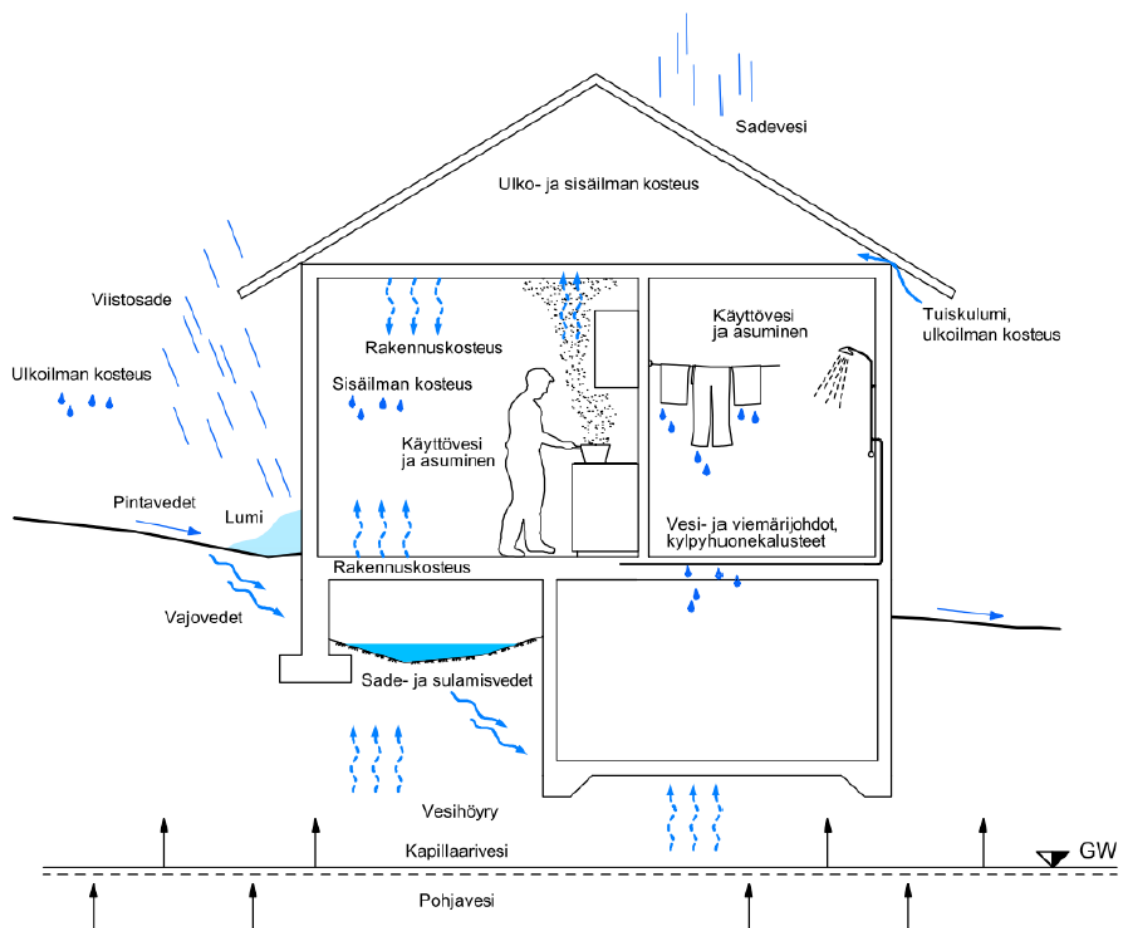
**Kuva 12.** Suhteellisen kosteuden vaihtelut eri vuodenaikoina (Vinha 2013, 389).



**Kuva 13.** Lämpötilan vaihtelut vaikuttavat rakennuksen olosuhdehallintaan (Vinha 2013, 389).

Rakennusten kosteusongelmille on monia syitä. Niihin vaikuttavat niin ilmasto-olosuhteet, kuin ihmisen toiminta. Ongelmat voivat esimerkiksi johtua suunnitteluvirheistä, rakentamisen aikana sattuneista virheistä, kuten puutteista rakentamisen laadussa tai työmaan puutteellisesta kosteudenhallinnasta, tai käyttö- ja kunnossapitovirheistä. Usein näihin ongelmiin johtaa tiedon tai asenteen puute rakentamisprosessin eri vaiheissa, ja kosteusvaurio syntyy näiden tekijöiden summana. (Seppälä 2013)

Kosteutta voi kertyä rakenteisiin usealla eri tavalla (kuva 14). On rakennuksen ulkopuolisia kosteuslähteitä, kuten sade, lumi, ilmankosteus ja maaperän kosteus, sekä rakennuksen sisäpuolisia kosteuslähteitä kuten suihku, putkistovuodot ja rakennekosteus. Rakennekosteutta voi syntyä rakenteeseen esimerkiksi rakennusmateriaalin valmistamiseen käytetystä vedestä, lumi- ja vesisateesta sekä työmaan vedenkäytöstä tai rakennuksen käytön aikaisesta vedestä. (Åström 2020, 97–99)



**Kuva 14.** Rakennuksen kosteuslähteitä (Åström 2020, 97).

Kosteusriskejä voidaan ennaltaehkäistä rakentamisen kosteusolosuhteiden hallinnalla. Koko rakennusprosessin aikana esiintyvien kosteusvaurioiden riskien vähentämiseksi on kehitetty kosteudenhallinnan toimintamalli Kuivaketju10, joka perustuu merkittävimpien kosteusriskien minimoimiseen. Sillä saadaan poistettua 80 % kosteusvaurioista seuraavista kustannuksista. (Seppälä) Rakentamisen kuivaketjulla tarkoitetaan rakennusosien pitämistä kuivana tehtaalta osaksi rakennusta. Voidaan ajatella, että se vastaa periaatteeltaan elintarvikkeiden kylmäketjua. (Seppälä 2013)

Kosteudenhallintasuunnitelmalla pyritään estämään kosteusriskit, sekä varautumaan mahdollisiin riskeihin toimenpideohjeilla. Se sisältää ohjeet rakenteiden kuivaukselle, mittauksille, kastuneiden rakenneosien hyväksymiseksi uudelleen käytettäviksi sekä taloudelliset vastuurajat mikäli rakenne on pääsyt kastumaan. (Talonrakennusteollisuus ry 2016)

Kosteudenhallinta rakentamisessa ulottuu suunnittelusta rakennuksen käyttöön. Tärkeää on, että rakennus suunnitellaan kosteusteknisesti oikein ja turvallisesti, rakennus suojataan rakentamisen aikana, rakenteet kuivatetaan, ja että rakennusta käytetään ja huolletaan oikein. (Puuinfo 2020a)

## **4.2 Sääsuojauksen merkitys työmaalla**

Kuivana rakennettaessa on käytettävä sääsuojaa, mikäli vesikatto ja ulkovaippa ei pidä vettä. Kuiva rakentamistapa on tärkeä teollisessa puuelementtirakentamisessa. Suojaustapaa päätettäessä voidaan valita suojaustaso, eli käytetäänkö telttasuojaa suojaamaan koko rakennus vai rakenteellista suojausta, jolloin rakenteet ja materiaalit suojataan paikallisesti suojapeitteillä. (Talonrakennusteollisuus ry 2016) Sääsuojaukseen on olemassa erilaisia tapoja riippuen kohteesta ja sen ominaispiirteistä. Rakennus voidaan suojata suojapeitteillä (kuva 15), julkisivusuojilla (kuva 16) tai sääsuojateltalla (kuva 17). Suojapeitteet on tarkoitettu suojaamaan tilapäisesti, kun taas julkisivusuojia ja sääsuojia voidaan käyttää pidemmällä aikavälillä. (Talonrakennusteollisuus ry 2016) Puun ominaisuuksien vuoksi rakennettaessa esivalmistetuista puukomponenteista on tärkeää, että kuivaketju ei katkea. Tämä voidaan toteuttaa työmaan osalta rakennuksen huputtamisella eli telttasuojauksella tai suojakatolla. (Puuinfo 2020a)



**Kuva 15.** Rakenteiden suojaamisessa voidaan käyttää erilaisia suojapeitteitä. Kuvassa suojaamiseen on käytetty pressua (Kosteudenhallinta 2022).



**Kuva 16.** Rakennuksessa on käytetty suojauksena julkisivusuojia (Talonrakennusteollisuus ry 2016).



**Kuva 17.** Rakennus on huputettu sääsuojalla. Rakentaminen tapahtuu kokonaan suojan sisällä. (Talonrakennusteollisuus ry 2016)

Rakennusosien kosteudenhallinnasta pidetään huolta tuotantoprosessin alusta alkaen. Osat tuotetaan kuivissa sisätiloissa ja ne suojataan varastoinnin ja kuljetuksen ajaksi muoveilla, pressuilla, itseliimautuvalla mikrokuitukankaalla tai suojapeitteisellä rekalla (kuvat 18, 19 ja 20). Työmaalla varastointi ja rakentaminen hoidetaan myös suunnittelun aikana tuotetun kosteudenhallintasuunnitelman mukaan niin, että rakennusosien kastuminen saadaan estettyä ja rakenteet tuuletettua. Suojaustasot määräytyvät standardin SFS 5978 (SFS 5978 – Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksien kantavia rakennosia koskevat säännöt) mukaan. (Puuinfo 2020a)



**Kuva 18.** Suurelementit on suojattu kuljetuksen ajaksi (Puuinfo 2020a).



**Kuva 19.** Suojahuputettu tilaelementti (Puuinfo 2020a).



**Kuva 20.** Myös itse rekassa voi olla suojapeitteet (Puuinfo 2020a).

Massiivipuu- tai rankarakenteisia taselementtejä eli suurelementtejä paikalla rakennettaessa käytetään yleensä telttasuojausta (kuva 21). Elementit saadaan nostettua paikoilleen nosturiauton (kuva 22) tai teltassa olevan siltanosturin (kuvat 23 ja 24) avulla. Siirrettävää suojakattoa voidaan käyttää suurelementeistä rakennettaessa, mutta yleisimmin sitä käytetään tilaelementeistä rakennettaessa, jossa telttasuojauksen käyttäminen on vaikeaa elementtien painon ja nopean asentamisen vuoksi. Suojakattoa voidaan siirtää pois asennustyön edetessä ja asentaa takaisin työn päätyttyä. Katto voi siis olla vain väliaikainen suoja (kuva 25) tai rakennuksen oikea vesikatto (kuva 26), joka asennetaan viimein paikoilleen runkoasennustyön valmistuttua. (Puuinfo 2020a)



**Kuva 21.** Puukerrostaloa rakennetaan sääsuojateltan alla (Viljakainen 2017).



**Kuva 22.** Elementtejä nostetaan paikoilleen nosturiauton avulla (Välilä 2019).



**Kuva 23.** Sisäkuva suojateltasta, jossa elementit nostetaan paikoilleen siltanosturin avulla (Viljakainen 2017).



**Kuva 24.** Ulkopuolelta kuva teltasta, jossa käytetään siltanosturia apuna elementtien asentamisessa (Viljakainen 2017).



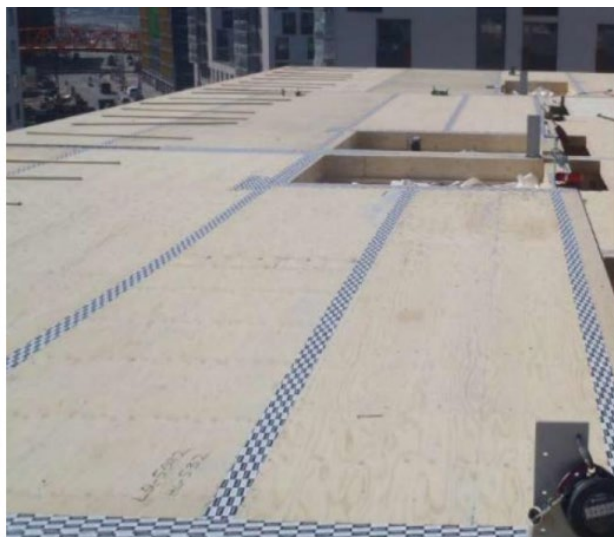


**Kuva 25.** Rakennuksen kastuminen on estetty väliaikaisella suojakatolla (Puuinfo 2020a).

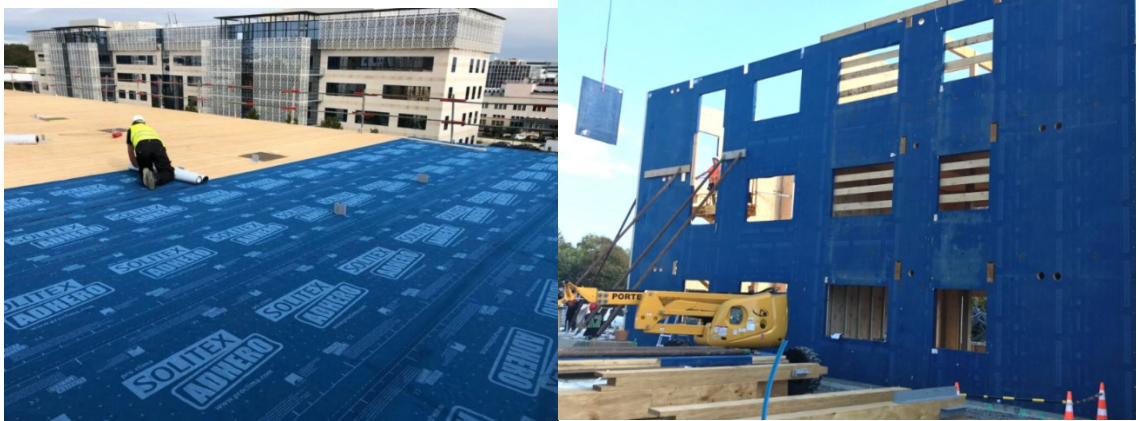


**Kuva 26.** Rakennuksen oikea vesikatto toimii rakennuksen sääsuojana (Puuinfo 2020a).

Rakennustyömaan kosteudenhallinnassa olennaista on rakennuksen suojaus, lämmitys ja kuivatus, eli rakennuksen olosuhdehallinta. Rakennuksen suojaus on helppo toteuttaa sääsuojateltan avulla, mutta taloudellisista syistä sen merkitystä ja vaihtoehtoisia suojaamisen keinoja on tutkittu. (Teriö 2017) Ongelmana erillisissä suojapeitteissä on saada niistä riittävän tiiviitä ja saumattomia. Varmin ja taloudellisin tapa rakennuksen suojaamiseen kosteudelta työmaalla on rakennuksen omien rakenteiden avulla. (Rakentamisen kosteudenhallinta 2020) Rakenteellista sääsuojaa käytettäessä sääsuojatelttaa ei välttämättä tarvita. Tällöin rakennuksen suojaamiseen hyödynnetään lopullisia vaippa- ja välipohjarakenteita. Rakentamisessa käytettävät puukomponentit tulee suunnitella kestämään asennuksen aikaisia kosteusrasituksia sekä suojaamaan rakennuksen muita rakenteita. Tämä voidaan saavuttaa asentamalla mineraalivillat vesikattotöiden valmistuttua. Esimerkiksi suurelementit voidaan toimittaa työmaalle ilman pehmeitä lämmöneristeitä, ja eristeet voidaan asentaa verhoiluelementtien yhteydessä vesikaton valmistuttua. Näin tehtiin muun muassa talvella 2016–2017 Jätkäsaarella rakennetuissa LVL-puukerrostalokohteissa (engl. Laminated Veneer Lumber). (Teriö 2017) Suunnittelussa tulee huomioida myös vesipesien ehkäisy. Tämä voidaan toteuttaa takaamalla näköyhteys elementtien alapinnoille laadunvarmistamista varten tai poraamalla reikiä suotuisiin paikkoihin rakenteissa, jotka ovat kotelomaisia. Näkyvillä olevilta syvennyksiltä vesi voidaan johtaa viemäreihin tai välipohjille, jolta vesi on helppo poistaa esimerkiksi imuroimalla tai lastoilla. Elementtien tuulettaminen ja kosteusmittaus tulee myös olla helpposti tehtävissä. Teippaamalla saumat estetään veden pääsy rakenteisiin ja edelleen alempiin kerroksiin (kuva 27). (Teriö 2017) Suojaaminen on lopulta edullisempaa ja helpompaa kuin veden poistaminen rakenteista (Talonrakennusteollisuus ry 2016).



**Kuva 27.** Teipattu välipohja (Teriö 2017).



**Kuva 28.** Massiivipuuelementit voidaan suojata itseliimautuvalla mikrokuitukankaalla (Puuinfo 2020a).

Pilari-palkkijärjestelmä on kosteudenhallinnan kannalta turvallisin runkojärjestelmä, sillä pilari-palkkijärjestelmässä vesikatto saadaan rakennettua työmaalla nopeasti, jolloin vesikatto toimii talon sääsuojana. Rungon suojaamiseen puolestaan voidaan käyttää muovikalvoa (kuva 29). (Puuinfo 2020a) Erityisen suotavaa kosteudenhallinta on pitkälle esivalmistetuilla rakennustuotteilla, kuten tilaelementeillä, joissa saattaa olla jopa kiintokaluasteet asennettuna valmiiksi (Puuinfo 2020h).



**Kuva 29.** Muovikalvolla suojattu pilari-palkkirakenteinen runko (Puuinfo 2020a).

Rakenteiden suojaamiseen voidaan käyttää kevyitä suojapeitteitä. Ne estävät viistosateen pääsyn rakenteisiin. Kylmänä vuodenaikana suojapeitteiden käytöllä ei välttämättä ole hyötyä, sillä vesihöyry voi kondensoitua peitteiden alle. Riittävä tuuletus tulee siis toteuttaa myös peitteiden alle. Lisäksi tulee tarkkailla suhteellisen kosteuden arvoa. (Teriö 2017)

Puukerrostalon rakentaminen Suomen ilmasto-olosuhteissa ilman sääsuoja voi aiheuttaa kosteusriskejä ilman huolellista kosteudenhallintaprosessia. Jätkäsaaren Wood City -hankkeessa testattiin massiivipuurakenteisten kerrostalojen rakentamista ilman työmaa-aikaista sääsuoja. Tutkimus johti liitosalueiden mikrobivaurioihin. Hometta ilmeni syvällä rakenteissa liitosten sauma-alueilla, joten mekaaninen puhdistus esimerkiksi hiomalla oli hankalaa ilman koko rakennuksen purkamista. Järkevintä tilanteessa oli desinfioida liitokset vetyperoksidilla, jonka pitäisi tuhota homekasvusto. Rakennusterveyden asiantuntija Juhani Pirisen mukaan paras ratkaisu olisi ollut mekaaninen puhdistus. Desinfiointia ei tulisi käyttää ollenkaan, sillä sitä voi päätyä sisäilmaan. Ainetta voi myös jäädä liitoksiin ja lopulta se voi aiheuttaa pahemman homekasvuston tai saada homeen tuottamaan mikrobitoksiineja. (Bäckgren 2017)

### 4.3 Rakenteiden kuivatus

Mikäli rakenne on päässyt kastumaan, tulee kastunut rakenne kuivata. Suositellun kosteuspoitoisuuden saavuttamiseksi voidaan puutavaraa kuivata erilaisilla menetelmillä, kuten ilmakeivata ulkona tai keinokuivata. Keinokuivaus voidaan tehdä eri tavoin kuten kamarikuivauksella, kuumakuivauksella, lauhdekuivauksella tai alipainekuivauksella. Yleisimmin käytetty ja tehokkain menetelmä on jatkuvatoiminen kanavakuivaus. Käytettävän kuivatusmenetelmän valintaan vaikuttaa aina puutavaran käyttökohde ja sen laatuvaatimukset. Menetelmän valinnalla on merkitystä puun halkeiluun, kieroutumiseen, kuluihin ja kuivatuksen nopeuteen. (Puuinfo 2019)

Pakkaskauden aikana ulkoilma on kuivaa ja kuivaaminen suhteellisen yksinkertaista. Oikein suunniteltuna lämmityksen ja tuuletuksen tulisi varmistaa rakenteiden kuivuminen. Suhteellisen kosteuden mittauksilla varmistetaan, onko ilmanvaihto riittävä rakenteiden tehokkaalle kuivumiselle. Mikäli rakenne pääsee kastumaan, voidaan sen kuivumista nopeuttaa esimerkiksi puhaltimilla. (Teriö 2017)

## 5. POHDINTA JA YHTEENVETO

Puu on kosteusteknisesti haastava materiaali ja vaatii siksi aina kuivan rakentamistavan ja huolellisen kosteudenhallinnan. Puukerrostalojen rakentaminen kuivana edellyttää aina sääsuojausta, mikäli ulkovaippa ja vesikatto eivät ole vielä vesitiiviitä. Rakenteiden suojaamiseen on useita tapoja. Suojaamiseen voidaan käyttää sääsuojatelttaa, julkisivusuojia, väliaikaisia suojakattoja tai rakennuksen lopullista yläpohjaa, sekä sääsuojapeitteitä, kuten mikrokuitukankaita, muoveja, teippejä ja pressuja. Suojia ja työmaan olosuhteita tulee aina seurata ja varmistaa laatu, jotta rakenteet eivät pääsisi kastumaan.

Sääsuojaustapaa valittaessa otetaan monia tekijöitä huomioon, kuten rakentamisajan kohta ja rakennuspaikka. Merkittävä tekijä suojauksen valinnassa on aina suojauksesta aiheutuvat kustannukset. Tärkeää on miettiä tilannetta kokonaisuuden kannalta. Loppujen lopuksi sääsuojatelta voi tulla edullisemmaksi vaihtoehdoksi kuin rakenteiden suojaaminen paikallisesti, mikäli kastumisen riski on suuri. Veden poistaminen rakenteista ja vaurioiden korjaaminen, sekä niistä seuraava pitkittynyt rakentamisaika saattaa tulla kalliiksi.

Suomen ilmasto-olosuhteet ovat yllättäviä ja ne vaihtelevat paljon. Oman kokemuksen pohjalta työmaalla, sade löytää yllättävistä paikoista tiensä rakenteisiin. Rakenteiden suojaamisessa tulee siten olla huolellinen. Tästä syystä on myös tärkeää, että on nimetty työmaan kosteudenhallinnasta vastuussa oleva työnjohtaja, jotta joku varmasti huolehtii rakenteiden kuivana pysymisestä.

Hyvästä kosteudenhallinnasta huolimatta rakenne saattaa silti usein kastua. Siksi valvonta ja laadunvarmistus on tärkeää. Ei tule olettaa, että suojattu rakenne automaattisesti suojaa sateelta ja kosteudelta. On myös tärkeää, että rakennushankkeessa on pätevät asiantuntijat, jotta kosteusriskit tiedostetaan ja huomataan, ja kastuneet rakenteet ymmärretään kuivata ja vaurioituneet rakenteet korjata. Huolellinen suunnittelu ja laaja kosteustekninen tietämys ovat puukerrostalojen kuivana rakentamisen tärkeimmät edellytykset.

## LÄHTEET

- Bäckgren, N. 2017. Jätkäsaaren homehtuneet Wood City -puukerrostalot ovat Stora Enson osin rahoittama tutkimuskohde – Työmaalla testattiin, miten puurakentaminen onnistuu ilman sääsuojaa. Artikkelii. *Rakennuslehti*. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/11/jatkasaaren-homehtuneet-wood-city-puukerrostalot-ovat-stora-enson-osin-rahoittama-tutkimuskohde-tyomaalla-testattiin-miten-puurakentaminen-onnistuu-ilman-saasuojaa/> [Noudettu 2.4.2022]
- Haapio, A. 2013. Puurakentamisen tulevaisuuden näkymät. VTT. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T141.pdf> [Noudettu 30.3.2022]
- Hurmekoski, E., Jonsson, R. & Nord, T. 2015. Context, drivers, and future potential for wood-frame multi-story construction in Europe. Teoksessa: *Technological Forecasting and Social Change*. s. 181–196. Saatavissa: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0040162515002115?token=AD9642BE0FE34E0A47FC653C7EC1BC10F9B0B591EF2EE2BDB5A58566415A56D4F5CA498146CA3B855F8D38E87ABB89B5&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220330110209> [Noudettu 30.3.2022]
- Kyssi, E. 2013. Puukerrostalo. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/250164156.pdf> [Noudettu 11.4.2022]
- Lehto Group. 2021. Puukerrostaloja rakennetaan nyt esivalmistetuista moduuleista – laatu ja vastuullisuus korostuvat. Saatavissa: <https://www.arvopaperi.fi/kumppanisisalot/lehto/puukerrostaloja-rakennetaan-nyt-esivalmistetuista-moduuleista-laatu-ja-vastuullisuus-korostuvat/> [Noudettu 12.4.2022]
- Metsä Group a. Jokainen puurakennus on hiilivarasto. Saatavissa: <https://www.metsagroup.com/fi/Campaigns/AlykasMetsa/urbancarbon/jokainen-puurakennus-on-hiilivarasto/Pages/default.aspx> [Noudettu 8.3.2022]
- Metsä Group b. Puurakentaminen on ratkaisu. Saatavissa: <https://www.metsagroup.com/fi/Campaigns/AlykasMetsa/urbancarbon/puurakentaminen-on-ratkaisu/Pages/default.aspx> [Noudettu 16.3.2022]
- Oulun kaupunki. Laho. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/oulu/ppm/laho> [Noudettu 31.3.2022]
- Poikajärvi, M. 2017. Puurakentamisen uusi aika – hybridirakenteet. Lapin Ammattikorkeakoulun verkkolehti *Lumen* 1/2017. Saatavissa: <https://www.lapinamk.fi/fi/loader.aspx?id=eb8d1263-6c6b-42ab-abfe-d61fa3861458> [Noudettu 31.3.2022]
- Puuinfo 2019. Puutavaraopas. <https://proofer.faktor.fi/epaper/Puutavaraopas2019/index.html#10/z> [Noudettu 22.3.2022]
- Puuinfo 2020a. Kosteudenhallinta puurakentamisessa. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 29.1.2022]
- Puuinfo 2020b. Kosteustekniset ominaisuudet. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/> [Noudettu 4.2.2022]

- Puuinfo 2020c. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 8.3.2022]
- Puuinfo 2020d. Rungon toimintaperiaate. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rungon-toimintaperiaate/> [Noudettu 10.4.2022]
- Puuinfo 2020e. RunkoPES 2.0. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/runkopes-2-0/> [Noudettu 31.3.2022]
- Puuinfo 2020f. Suunnittelu. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/> [Noudettu 2.4.2022]
- Puuinfo 2020g. Yhdistelmäkäyttö. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/yhdistelmakaytto/> [Noudettu 11.4.2022]
- Puuinfo 2020h. Yleisimmät rakennejärjestelmät. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/> [Noudettu 24.1.2022]
- Puutuoteteollisuus 2021a. Puurakentamisen erityispiirteitä. Saatavissa: <https://puutuoteteollisuus.fi/tietoa-puusta-ja-tuotteista/puun-kaytto-rakentamisessa> [Noudettu 16.3.2022]
- Puutuoteteollisuus 2021b. Puutuoteteollisuuden toimialat ja tuotteet. Saatavissa: <https://puutuoteteollisuus.fi/faktoja-ja-ohjeita/puutuoteteollisuuden-alatoimialat> [Noudettu 17.3.2022]
- Rakentamisen kosteudenhallinta. 2020. Työmaan suojaukset. Saatavissa: <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/rakentamisvaihe/tyoemaan-suojaukset> [Noudettu 2.2.2022]
- Rala. Kuivaketju10. Mikä on Kuivaketju10. Saatavissa: <https://kuivaketju10.fi/> [Noudettu 2.2.2022]
- Salonvaara, S., Ojanen, T., Holm, A., Künzeli, H. & Karagiozis, A. 2004. Moisture Buffering Effects on Indoor Air Quality— Experimental and Simulation Results. *Buildings IX*. Saatavissa: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.7518&rep=rep1&type=pdf> [Noudettu 21.3.2022]
- Seppälä, P. & Saari, S. Kuivaketju10 vähentää merkittävästi kosteusvaurioita. Artikkelin *Ril: Rakennustekniikka*. Saatavissa: <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/kuivaketju10-vahentaa-merkittavasti-kosteusvaurioita.html> [Noudettu 18.3.2022]
- Seppälä, P. 2013. Rakentamisprosessin kosteudenhallinta. Oulun rakennusvalvonta. Saatavissa: <http://www.rescaoulu.fi/wp-content/uploads/Rakentamisprosessin-kosteudenhallinta-Pekka-Sepp%C3%A4l%C3%A4-11.11.2013.pdf> [Noudettu 2.2.2022]
- Siikanen, U. 2016. *Puurakentaminen*. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Sipiläinen, I. 2020. Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM\\_2020\\_16.pdf?sequence=1](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM_2020_16.pdf?sequence=1) [Noudettu 5.4.2022]
- Sisäilmayhdistys. 2008. Mikrobikasvun edellytykset. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset> [Noudettu 3.4.2022]

- Stora Enso. 2016. Puu – maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali. Saatavissa: [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) [Noudettu 17.3.2022]
- Talonrakennusteollisuus ry. 2016. Kuivana rakentaminen – opas rakentamisen kosteudenhallintaan. Saatavissa: [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana\\_rakentaminen\\_opas\\_2016.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana_rakentaminen_opas_2016.pdf) [Noudettu 3.4.2022]
- Teriö, O., Penttilä, O., Laukkarinen, A., Musakka, S. & Vinha, J. 2017. Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinta. Saatavissa: [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/137125/Teri\\_et\\_al\\_2017\\_Puukerrostalorakentamisen\\_kosteudenhallinta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/137125/Teri_et_al_2017_Puukerrostalorakentamisen_kosteudenhallinta.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Noudettu 29.3.2022]
- Valvira. 2016. Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaaminen. Saatavissa: <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/kosteusvauriot> [Noudettu 23.3.2022]
- Vinha, J. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/250168696.pdf> [Noudettu 12.4.2022]
- Ympäristöministeriö. Vähähiilinen rakentaminen. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen> [Noudettu 17.3.2022]
- Ympäristöministeriö. 2020. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BF3A686EA-E374-4983-A396-CC15D6830B7B%7D/156354> [Noudettu 17.3.2022]
- Åström, G. & Nousiainen, A. 2020. *Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.



# KUVALÄHTEET

Kuva 1: Puuinfo 2020b. *Puun syiden kyllästymispiste*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/> [Noudettu 4.2.2022] [Noudettu 4.2.2022]

Kuva 2: Puuinfo 2020b. *Veden poistuminen solukoista*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/> [Noudettu 4.2.2022]

Kuva 3: Puuinfo 2020k. *Yhdistetyn ja homogeenisen liimapuun poikkileikkauksia*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööriotteet/liimapuu-glt/> [Noudettu 4.4.2022]

Kuva 4: Lahtela, T. 2018. *CLT=cross laminated timber*. [kuva]. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/6\\_CLT-ja-LVL-rakentaminen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/6_CLT-ja-LVL-rakentaminen.pdf) [Noudettu 10.4.2022]

Kuva 5: Puuinfo 2020b. *Puutavaran kosteuspitoisuuden riippuvuus lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/> [Noudettu 4.2.2022]

Kuva 6: Puuinfo 2020h. *Yleisimmät rakennejärjestelmät*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/> [Noudettu 16.3.2022]

Kuva 6: Puuinfo 2020i. *Rungon toimintaperiaate*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/rungon-toimintaperiaate/> [Noudettu 5.4.2022]

Kuva 7: Puuinfo 2020h. *Yleisimmät rakennejärjestelmät*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/> [Noudettu 16.3.2022]

Kuva 7: Puuinfo 2020j. *Rungon toimintaperiaate*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/rungon-toimintaperiaate/> [Noudettu 5.4.2022]

Kuva 8: Puuinfo 2020h. *Yleisimmät rakennejärjestelmät*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/> [Noudettu 16.3.2022]

Kuva 8: Puuinfo 2020d. *Rungon toimintaperiaate*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rungon-toimintaperiaate/> [Noudettu 5.4.2022]

Kuva 9: Puuinfo 2020h. *Yleisimmät rakennejärjestelmät*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/> [Noudettu 16.3.2022]

Kuva 9: Kauppalehti. 2019. *Oulaisten tehdas*. [kuva]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/lehto-group-pyristelee-suhdannetta-vastaan/9fe94059-68ad-4650-83b0-ab8749343390> [Noudettu 11.4.2022]

Kuva 10: Poikajärvi, M. 2017. *CLT-betoniliittorakenne*. Lapin Ammattikorkeakoulun verkkolehti Lumen 1/2017. Saatavissa: <https://www.lapinamk.fi/fi/loader.aspx?id=eb8d1263-6c6b-42ab-abfe-d61fa3861458> [Noudettu 31.3.2022]

Kuva 11: Vinha, J. 2013. *Vetenä tulevan sateen kokonaismäärä vaakapinnalle Jokioisissa 2004*. [kuva]. Saatavissa: <https://www.lapinamk.fi/fi/loader.aspx?id=eb8d1263-6c6b-42ab-abfe-d61fa3861458> [Noudettu 31.3.2022]

Kuva 12: Vinha, J. 2013. *Ulkoilman suhteellinen kosteus Jokioisissa 2004*. [kuva]. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/250168696.pdf> [Noudettu 31.3.2022]

Kuva 13: Vinha, J. 2013. *Ulkoilman lämpötila Jokioisissa 2004*. [kuva]. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/250168696.pdf> [Noudettu 31.3.2022]

Kuva 14: Åström, G. & Nousiainen, A. 2020. *Rakennuksen yleisimmät sisä- ja ulkopuoliset kosteuslähteet*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

Kuva 15: Kosteudenhallinta. 2022. *Rakenteiden suojaus kosteudelta*. [kuva]. Saatavissa: <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimenpiteet/suojaus/rakenteiden-suojaus-kosteudelta> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 16: Talonrakennusteollisuus ry. 2016. *Kuivana rakentaminen – opas rakentamisen kosteudenhallintaan*. [kuva]. Saatavissa: [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana\\_rakentaminen\\_opas\\_2016.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana_rakentaminen_opas_2016.pdf) [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 17: Talonrakennusteollisuus ry. 2016. *Kuivana rakentaminen – opas rakentamisen kosteudenhallintaan*. [kuva]. Saatavissa: [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana\\_rakentaminen\\_opas\\_2016.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana_rakentaminen_opas_2016.pdf) [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 18: Puuinfo 2020a. *Suurelementtikuljetus työmaalle*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 19: Puuinfo 2020a. *Tilaelementti suojattuna tehtaalle palautuvalla suojahupulla*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 20: Puuinfo 2020a. *Suurelementtikuljetus työmaalle suojapeitteellisellä rekalla*. [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 21: Viljakainen, M. 2017. *Nopeasti, laadukkaasti ja terveellisesti – puun tarjoamat mahdollisuudet julkisissa rakennushankkeissa.* [valokuva]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/55463469-Nopeasti-laadukkaasti-ja-terveellisesti-puun-tarjoamat-mahdollisuudet-julkisissa-rakennushankkeissa.html> [Noudettu 16.3.2022]

Kuva 22: Vällä, A. 2019. *Bonavan Linnanfälttiin rakennuttama massiivipuinen puukerrostalo Lyhdynkantaja nousee kuivissa oloissa sääsuojan alla. Talo rakentuu CLT-elementeistä. Elementti on samanaikaisesti valmis sisäseinä sekä kantava rakenne, mikä nopeuttaa rakentamista. Elementit voidaan työstää haluttuihin mittoihin hyvin tarkasti, jolloin rakennus on tiivis ja viimeistelty.* [kuva]. Saatavissa: <https://www.ts.fi/teemat/4566268> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 23: Viljakainen, M. 2017. *Nopeasti, laadukkaasti ja terveellisesti – puun tarjoamat mahdollisuudet julkisissa rakennushankkeissa.* [valokuva]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/55463469-Nopeasti-laadukkaasti-ja-terveellisesti-puun-tarjoamat-mahdollisuudet-julkisissa-rakennushankkeissa.html> [Noudettu 16.3.2022]

Kuva 24: Viljakainen, M. 2017. *Nopeasti, laadukkaasti ja terveellisesti – puun tarjoamat mahdollisuudet julkisissa rakennushankkeissa.* [valokuva]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/55463469-Nopeasti-laadukkaasti-ja-terveellisesti-puun-tarjoamat-mahdollisuudet-julkisissa-rakennushankkeissa.html> [Noudettu 16.3.2022]

Kuva 25: Puuinfo 2020a. *Kattolohkoista koostuva työnaikainen suojakatto suurelementitalon päällä.* [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 26: Puuinfo 2020a. *Rakennuksen lopullisista kattolohkoista koostuva suojakatto tilaelementitalon päällä.* [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 27: Teriö, O., Penttilä, O., Laukkarinen, A., Musakka, S. & Vinha, J. 2017. *Puukerrostalora-kentämisen kosteudenhallinta.* [valokuva]. Saatavissa: [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/137125/Teri\\_et\\_al\\_2017\\_Puukerrostalora-kentämisen\\_kosteudenhallinta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/137125/Teri_et_al_2017_Puukerrostalora-kentamisen_kosteudenhallinta.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Noudettu 29.3.2022]

Kuva 28: Puuinfo 2020a. *Itseliimautuvan mikrokuitukankaan asennusta työmaalla CLT-väli pohjan päälle. Itseliimautuva mikrokuitukangas esiasennettuna CLT-levyiseiniin.* [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 13.4.2022]

Kuva 29: Puuinfo 2020a. *Pilari-palkkirungon sääsuojausta muovikalvolla.* [kuva]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/> [Noudettu 13.4.2022]