

Juho Yli-Hannuksela

**PUUELEMENTTIKERROSTALOJEN  
RAKENTAMISENAIKAINEN  
KOSTEUDENHALLINTA**

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tammikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Juho Yli-Hannuksela: Puuelementtikerrostalojen rakentamisaikainen kosteudenhallinta  
(Moisture safety in wooden pre-fabricated multi-storey buildings during construction phase)  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma  
Tammikuu 2022

---

Puuelementtirakentaminen kerrostalotuotannossa on kasvattanut suosiotaan viime vuosikymmenen aikana huomattavasti. Merkittävimpänä syynä voidaan pitää tavoitteita rakentamisen päästöjen vähentämiseksi. Puu on materiaalina huomattavasti ekologisempi perinteiseen betoniin nähden. Tässä kandidaatintyössä tutkitaan puuelementtikerrostalon rakentamisaikaista kosteudenhallintaa. Tavoitteena on tuoda esiin sen eri haasteita. Lisäksi vastataan kysymyksiin: 1) Mistä kosteus työmaalla muodostuu 2) Miten kosteus vaikuttaa puurakenteisiin rakenteellisesti ja kuinka vaikutukset ovat ehkäistävissä? 3) Mitä eri asioita kosteudenhallintaprosessiin kuuluu puukerrostalojen rakennushankkeissa? 4) Millaisia rakentamisen aikaisia kosteudenhallintamenetelmiä on käytössä puuelementtikerrostalorakentamisessa?

Aihe on merkittävä etenkin puun ekologisuuden, kasvaneen puukerrostalotuotannon ja rakennusten kosteus- ja homevaurioiden muodostumisen kannalta. Aihetta tutkittiin kirjallisuus- ja internetlähteiden avulla. Merkittävimpiä lähteitä olivat Puuinfon internetsivut, sekä kosteudenhallinnan opas RIL 250-2020 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen.

Työn toisessa luvussa käydään läpi puurakenteita työmaalla rasittavia kosteuslähteitä. Kosteustekijät ja lämpötilaolosuhteet yhdessä voivat altistaa puun mikrobikasvuston muodostumiselle, minkä takia puumateriaalin suojaamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kolmannessa luvussa esitellään kosteudenhallinnan prosessin lähtökohtia, prosessin kulkua ja siihen kuuluvia merkittäviä asiakirjoja. Prosessin onnistuminen vaatii muun muassa toimivaa organisointikykyä ja tiedonkulkua eri osapuolten välillä. Neljännen luvun aiheena on kosteudenhallinnan menetelmät puukerrostalorakentamisessa. Rakentamisaikaisista kosteudenhallintamenetelmistä käydään läpi oleellimmat pääkohdat, joita ovat rakenteiden suojaus, sääsuojavaihtoehdot, rakenteiden kuivaaminen ja olosuhdemittaukset. Lisäksi perehdytään tutkimuksiin ja pohditaan kosteudenhallinnan haasteita.

Viimeisenä lukuna on yhteenveto, jossa kootaan yhteen tutkimuksen tulokset. Suurimpana haasteiden aiheuttajana puuelementtirakentamisen kosteudenhallinnassa nousee esiin puun herkkyys kosteudelle. Kosteusvaurioiden minimoimiseksi puuelementtikerrostalot tulisi rakentaa pääsääntöisesti koko rakennuksen kattavan sääsuojan alla. Etenkin rakenteiden liitoskohdat tulisi suojata kosteudelta hyvin, sillä ne ovat huonosti tuulettuvia paikkoja ja näin ollen herkeimpiä mikrobikasvuston muodostumiselle. Perusteellinen sääsuojaus nostaa kuitenkin rakentamisen kustannuksia merkittävästi. Puurakenteiden kuivauksessa puolestaan haasteita tuottaa kuivausolosuhteiden järjestäminen niin, että puurakenteiden halkeilu on ehkäistävissä. Lisäksi haasteita puuelementtikerrostalojen kosteudenhallinnassa syntyy muun muassa asennusaikataulujen viivästyksistä, mikrobikasvuston havaitsemisesta ja kokemuksen puutteesta.

Avainsanat: puukerrostalo, home, kosteudenhallinta, kosteusvaurio, sääsuojaus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tausta .....	1
1.2 Tavoite, tutkimusmenetelmä ja rajaukset .....	2
2. TYÖMAAN KOSTEUSLÄHTEET JA PUUN KOSTEUS .....	4
2.1 Ilman kosteus .....	4
2.2 Sade .....	4
2.3 Maaperän kosteus .....	5
2.4 Rakennekosteus ja muita kosteusrasituksia .....	5
2.5 Kosteuden vaikutus puuhun .....	5
3. KOSTEUDENHALLINTAPROSESSI .....	8
3.1 Prosessin lähtökohtia .....	8
3.2 Prosessin kulku .....	8
3.3 Kosteudenhallintaselvitys .....	11
3.4 Kosteudenhallintasuunnitelma .....	11
4. KOSTEUDENHALLINTAMENETELMÄT PUUELEMENTTIRAKENTAMISESSA .....	14
4.1 Sääsuojaus ja rakenteiden suojaus .....	14
4.2 Puurakenteiden kuivaaminen .....	15
4.3 Kosteusmittaukset .....	16
4.4 Tutkimustietoa ja kokemuksia puuelementtikerrostalojen kosteudenhallintamenetelmistä .....	18
5. YHTEENVETO .....	21
LÄHTEET .....	24

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Puukerrostalo on vähintään kaksikerroksinen rakennus, jossa kerrokset ovat eri huoneistoja ja kantavat rakenteet ovat pääosin puusta valmistettuja (Tolppanen et al. 2013, 10 s). Ulkoverhouksessa voidaan käyttää puun lisäksi muita materiaaleja (Puuinfo Oy 2020a). Työssä tutkitaan valmiista puuelementeistä rakennettujen kerrostalojen kosteudenhallintaa rakentamisvaiheessa. Puukerrostalorakentamisessa suosituin ja yleisin valinta rakennejärjestelmäksi on kantavat seinät -järjestelmä. Sen kantavina rakenteina toimivat nimenmukaisesti puuelementtiseinät, joille vaakarakenteiden kuormat saadaan johdettua. Välipohja- ja seinärakenteina toimivat tyypillisesti joko LVL ja CLT massiivipuuelementit tai rankarakenteiset suurelementit. Muita rakennejärjestelmiä ovat muun muassa pilari-palkki järjestelmä ja tilaelementteihin perustuva järjestelmä. (Tolppanen et al. 2013, s. 39–49; Puuinfo Oy 2020a)

Puurakentaminen on herättänyt viime vuosina keskustelua rakentamisen maailmassa ja päättäjien keskuudessa. Yksi isoimmista tekijöistä tähän on varmasti hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja sitä kautta ilmastonmuutoksen hillitseminen. On laskettu, että noin kolmasosa maailman hiilidioksidipäästöistä syntyy nimenomaan rakentamisesta (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020). Tavoitteet hiilineutraaliuden suhteen ja erilaiset säädökset rakentamisen päästöistä ovat olleet osana kiihdyttämässä suomalaista puukerrostalorakentamista. Vuonna 2019 Suomessa oli suunnitteilla 7500 puukerrostaloasuntoa ja vuonna 2020 määrä nousi jo 8300:aan (Valtioneuvosto 2020). Puu onkin ekologisempi vaihtoehto rakennusmateriaaliksi betoniin nähden. Se toimii hiilivarastona ja esimerkiksi nelikerroksisen puukerrostalon hiilijalanjälki on rakentamisvaiheessa jopa 40 prosenttia betonikerrostaloa pienempi. (Ympäristöministeriö) On kuitenkin todettava, että puukerrostalorakentaminen Suomessa on vielä verrattain maltillista betonirakentamiseen nähden.

Puukerrostalojen rakentamisen näkymät tulevaisuudessa ovat kuitenkin lupaavat. Suomen puukerrostalot Oy ja julkisen alan työeläkevakuuttaja Keva solmivat vuonna 2019 yhteistyösopimuksen tavoitteenaan rakentaa Suomeen 1000 puurakenteista kerrostaloasuntoa seuraavan 3–5 vuoden aikana (Suomen puukerrostalot Oy 2019). Tämän li-

säksi muun muassa ympäristöministeriön tavoitteena on ollut lisätä puun käyttöä rakentamisessa. Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelma myönsi tänä vuonna 290 000 euroa seitsemälle eri hankkeelle, jotka edistävät puun käyttöä julkisessa rakentamisessa (Ympäristöministeriö 2021).

Yksi rakentamisessa keskustelua herättänyt aihe hiilidioksidipäästöjen vähentämisen lisäksi liittyy rakennuksien kosteusongelmiin. Puukerrostalorakentamisessa suurimpana riskinä pidetään juurikin kosteusongelmia (Ijäs 2013). Rakennusten kosteus- ja sisäilmaongelmat ovat olleet jo pitkään laaja ongelma ja paljon esillä myös mediassa. Eduskunnan julkaiseman tutkimuksen mukaan jo vuonna 1995 todettiin, että 42–43 % suomalaisista kerrostaloista oli korjauksen tai vähintään tarkastuksen tarpeessa. Näiden talojen asunnoista jopa 23 %:ssa oli homeeseen viittaavia merkkejä, kuten hajua tai pilkkuja. Tämän lisäksi esimerkiksi Kuntaliiton vuonna 2006 ilmestyneen tutkimuksen mukaan joka neljänteen julkiseen rakennukseen oli tehty korjauksia kosteusvaurion takia. (Eduskunta 2012). Ongelmiin on alettu kuitenkin reagoida ja kosteudenhallinnan edistämiseksi on tehty toimenpiteitä ongelmien vähentämiseksi.

## 1.2 Tavoite, tutkimusmenetelmä ja rajaukset

Työn aihe on tutkimuksen arvoinen etenkin puukerrostalojen kasvavan suosion ja ekologisuuden takia. Aiheesta on tehty aikaisemmin kaksi diplomityötä, mutta muuten kosteudenhallintaa puukerrostalorakentamisessa on tutkittu vähäisesti. Työn tavoitteena on selvittää, mitä eri haasteita puukerrostalojen kosteudenhallintaan liittyy rakentamisen aikana, ja vastata seuraaviin kysymyksiin.

- Mistä kosteus työmaalla muodostuu?
- Miten kosteus vaikuttaa puurakenteisiin rakenteellisesti ja kuinka vaikutukset ovat ehkäistävissä?
- Mitä eri asioita kosteudenhallintaprosessiin kuuluu puukerrostalojen rakennushankkeissa?
- Millaisia rakentamisen aikaisia kosteudenhallintamenetelmiä on käytössä puuelementtikerrostalorakentamisessa?

Tutkimus suoritetaan aineistoja hankkimalla internetistä ja kirjastosta kirjallisuustutkimustyypillisesti. Lähteinä ovat aineistot liittyen rakentamisen kosteudenhallintaan, puurakentamiseen ja sääsuojaukseen. Työssä keskitytään puukerrostalojen kosteudenhallintaan Suomessa. Joitakin ulkomaisia tutkimuksia voidaan käyttää esimerkkinä. Työssä

myös tutkitaan kosteudenhallintaa ainoastaan rakentamisvaiheessa, eikä esimerkiksi suunnitteluvaiheessa tai rakennuksen valmistumisen jälkeen.

## 2. TYÖMAAN KOSTEUSLÄHTEET JA PUUN KOSTEUS

### 2.1 Ilman kosteus

Tietty tilavuus ilmaa pystyy pitämään sisällään tietyn määrän kosteutta ilman lämpötilan mukaan. Rakennustekniikassa käytetty ilman suhteellinen kosteusprosentti RH% kertoo, kuinka paljon ilma sisältää vesihöyryä sen maksimivesihöyrytilavuuteen nähden. Suhteellisen kosteuden saavuttaessa lukuarvon 100 ilman sisältämä kosteus tiivistyy vedeksi. RH-prosentti vaihtelee vallitsevien kosteus- ja lämpötilaolosuhteiden mukaan. Talvisin ilmassa on vähemmän vesihöyryä, mutta ilman suhteellinen kosteus on keskimäärin suurempi kesään verrattuna. (Rakennustieto 2008)

Ilman sisältämä kosteus eli yleisemmin vesihöyry, siirtyy rakenteisiin monin eri tavoin. Vesihöyry voi kulkeutua rakenteisiin konvektion seurauksena eli ilmanpaine-eron aikaansaamana ilmavirtauksena. Toinen tapa kosteuden siirtymiselle on diffuusio eli vesihöyryn osapaine-eron aikaansaama kosteuden liike ilmassa. Vesihöyryn osapaineet eli kosteuserot pyrkivät tasoittumaan, jonka myötä kosteus liikkuu rakenteiden läpi. Diffuusion suunta on suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienemmän suuntaan. Kosteus voi siirtyä rakenteeseen myös kondensoitumalla. Kondensaatio tapahtuu ilman suhteellisen kosteuden ollessa 100 %, jolloin vesihöyry tiivistyy rakenteen sisällä tai sen pinnalla. (Rakennustieto 2008)

### 2.2 Sade

Sade on näkyvin rakenteita rasittava kosteuslähde (Rakennustieto Oy 2008). Sade voi tulla tontille joko vetenä, lumena tai räntänä. Suomessa sataa vuosittain keskimäärin noin 450–750 mm riippuen maantieteellisestä sijainnista (Ilmatieteenlaitos 2021). Jatkuva sade rasittaa rakenteita ja voi altistaa vakavillekin kosteusvaurioille. Suuret viikkojen ja kuukausien aikana sataneet sademäärät voivat kerääntyä työmaalle ja altistaa esimerkiksi työmaalle varastoituja rakenteita kosteudelle.

Sateen ja tuulen yhteisvaikutus lisää rakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta huomattavasti. Erityisen rasittavaa on viistosade joka syntyy vaakasuuntaisen tuulen ja sateen yhteisenä seurauksena. Tuuli kuljettaa vettä rakenteiden sisään muun muassa tuuletusräoistä ja kevyt pakkaslumi voi tunkeutua syvällekin rakenteisiin tuulen työntämänä. (RIL 250-2020, 98 s)

## 2.3 Maaperän kosteus

Rakennustyömaan maaperä muodostaa merkittävän kosteuslähteen ja se on rakennusta rasittavista kosteustekijöistä pitkäkestoisin (Sisäilmayhdistys 2008). Maaperän kosteuteen vaikuttavat muun muassa ylin pohjaveden korkeus, maalaji sekä kuivatus- ja salaojajärjestelyt. Myös maassa olevat sade- ja sulamisvedet muodostavat osaltaan rakennusta rasittavaa maaperän kosteutta (RIL 250-2020, 99 s).

Maan sisältämä kosteus siirtyy perustuksiin ja sitä kautta rakennusmateriaaleihin useimmiten kapillaarisesti vapaan veden koskettaessa materiaaleja. Eri maalajeilla on erilaiset kapillaariset ominaisuudet, jotka huomioidaan kosteusteknisessä suunnittelussa. Maaperän kosteus on huomioitava etenkin maanvaraisia rakenteita suunniteltaessa. (RIL 250-2020, 99 s)

## 2.4 Rakennekosteus ja muita kosteusrasituksia

Rakennekosteudeksi kutsutaan rakenteisiin sitoutunutta kosteutta, joka on saatava pois rakenteista rakentamisvaiheen jälkeen ennen kuin rakenteet ovat kosteustasapainossa ympäristön kanssa (Sisäilmayhdistys 2008). Rakenteisiin, kuten puuelementteihin, sitoutuu kosteutta jo tehdasvalmistuksen, kuljetuksen ja varastoinnin aikana, mutta myös sadevedet ja sulanut lumi ovat osaltaan muodostamassa rakennekosteutta. (RIL 250-2020, s. 98–105)

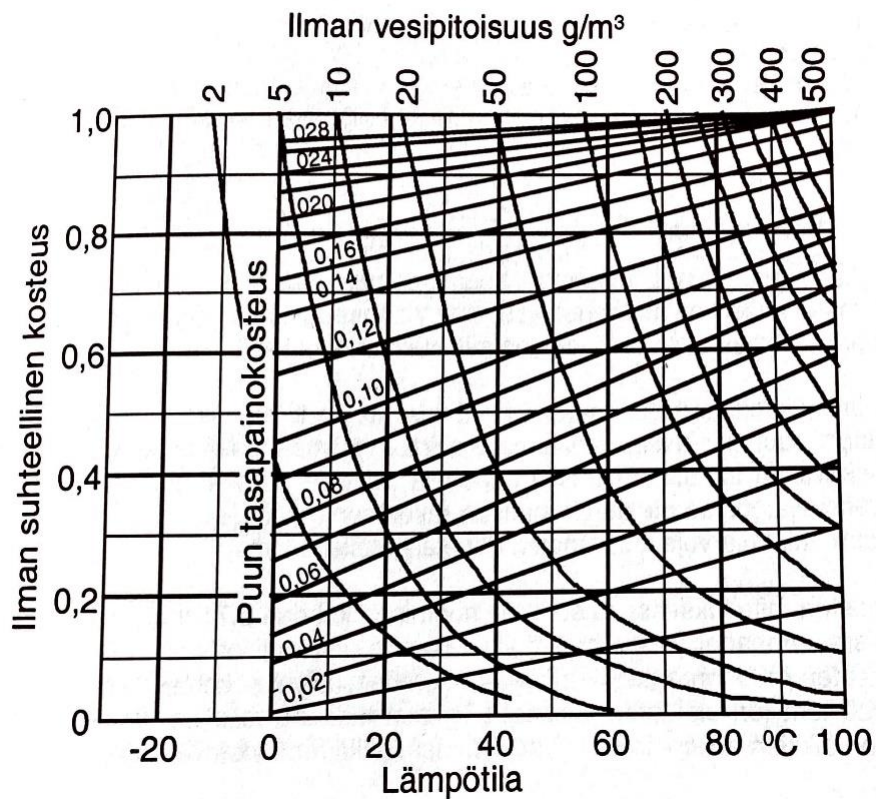
Rakentamisen aikana eri työvaiheet voivat tuottaa kosteutta ilmaan rakennuksen sisällä. Näistä esimerkkinä betonivalut, joista haihtuva kosteus lisää rakennuksen sisäilman kosteutta. Puurakentamisessa betonivaluja toteutetaan kuitenkin verrattain vähän ja näin ollen niistä ei muodostu merkittävää kosteusriskiä ympäröiville rakenteille (Penttilä 2017). Lisäksi rakentamisen käyttövesi ja mahdolliset vuodot kuten putkivuodot aiheuttavat kosteusrasitusta rakentamisen aikana (Kosteudenhallinta.fi 2020)

## 2.5 Kosteuden vaikutus puuhun

Puukerrostalojen kannalta rakentamisaikainen kosteudenhallinta on ensiluokkaisen tärkeää, sillä puu on hygroskooppinen materiaali. Hygroskooppisuudella tarkoitetaan, että materiaali voi sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman kosteusvaihteluiden mukaan. Tämän seurauksena puu joko laajenee kosteuden sitoutuessa tai kutistuu kosteuden poistuessa puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Laajenemisen ja kutistumisen lisäksi puussa tapahtuu kosteuselämistä syiden pituuden suunnassa, mutta tämä muutos on vähäistä. (Puuinfo Oy 2020b) Kosteuseläminen otetaan huomioon rakenteita suunniteltaessa.



Puun kosteuspitoisuuden vaihdellessa on puurakentamisessa huomioitava, että puun kosteus alentaa myös sen ominaisuuksia kuten lujuutta ja kimmomoduulia (RIL 120-2004, 28 s). Kuivemmalla puulla on paremmat lujuusominaisuudet kuin kosteammalla puulla. Kuvassa 1 on esitetty puun kosteuspitoisuuden vaihtelu ilman vesipitoisuuden, lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Kuvassa puun tasapainokosteudella tarkoitetaan sitä kosteusmäärää, minkä puu sisältää tietyssä kosteusrasitusolosuhteissa sekä lämpötilassa.



**Kuva 1:** Puun kosteuden muutos ilman kosteusrasituksen ja lämpötilan mukaan (RIL 120-2004, 29 s)

Puun pitkäkestoinen kastuminen lisää riskiä puun kosteusvaurioille. Raja-arvona homeisien kasvuun alkamiselle puun kosteuspitoisuudessa voidaan pitää 20 prosenttia. Homeen kasvu puussa riippuu kuitenkin kosteuspitoisuuden lisäksi vallitsevasta suhteellisesta ilmankosteudesta. RH:n ollessa pitkiä aikoja yli 75–95 % ja puun kosteuspitoisuuden ylittäessä 20 % ovat olosuhteet homeen kasvuun otolliset. Homeen kasvua nopeuttaa myös lämpötilan nousu. Homesien itiöt aiheuttavat allergisia reaktioita ja näin ollen sisäilmaongelmia. Homevaurioiden tunnistamista hankaloittaa toisinaan se, että kasvustoa ei aina näe paljaalla silmällä, sillä sen rihmasto on väriltään harmaa. Kosteuden aiheuttamana puun pinnoilla esiintyy myös sinistäjäsieneä, jotka värjäävät pintaa sinertäväksi.

tai harmaaksi. Näistä ei ole kuitenkaan värin lisäksi sen suurempaa haittaa. (Siikanen 2016, s. 74–75)

Lahottajasienet ovat puun rakenteellisten ominaisuuksien kannalta merkittävimpiä, koska lahon vaikutuksesta puun ominaisuudet heikkenevät ratkaisevasti. Ne tarvitsevat kasvaakseen 25 % puun kosteuspitoisuuden ja yli 95 % ympäröivän suhteellisen kosteuden. Lahoksi kutsutaan lahottajasienten vaikutuksesta pehmentynyttä ja heikentyntä puumateriaalia, joka on usein tumman väristä. (Siikanen 2016, 76 s)

Tärkeimpänä suojauskeinona puun kostumiselle ja mikrobikasvustojen ehkäisylle on rakenteellinen suojaus, eli estää veden pääseminen rakenteisiin rakentamisen aikana. Puun kosteuspitoisuuden pysyessä alle 20 prosentissa se on yleensä turvassa home- ja lahottajasieniltä. Puuta suojataan myös kemiallisesti ja käsitellään aineilla olosuhteiden vaatimalla tavalla silloin, kun rakenteellisesta suojauksesta ei voida varmistua. Esimerkiksi sateelle jatkuvasti alttiit rakenteet voidaan käsitellä kemiallisesti. (Siikanen 2016, s. 84–85)

## 3. KOSTEUDENHALLINTAPROSESSI

### 3.1 Prosessin lähtökohtia

Vuonna 2012 astui voimaan laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta, jossa säädetään muun muassa seuraavasti: ”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. – – ” (Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 958/2012). Kosteudenhallinta saatetaan usein mieltää vain työmaan aikaisina toimenpiteinä, kuten sääsuojauksena. On kuitenkin tärkeää, että kosteudenhallinta koskee koko rakennusprosessia: rakennuttamista, tilaamista, suunnittelua, työmaatoteutusta, sekä valvontaa ja dokumentointia. (Seppälä 2014)

Rakentamisen kosteudenhallintaprosessi on todellisuudessa monivaiheinen ja tietoa kumuloiva prosessi (RIL 250-2020, 29 s). On huomionarvoista, että toimiva kosteudenhallinta edellyttää hankkeen eri osapuolilta hyvää yhteistyö- ja organisointikykyä. Tiedon eteenpäin vieminen ja jalkauttaminen työntekijöille on myös avainroolissa onnistuneen lopputuloksen saamiseksi. Onnistunut prosessin suunnittelu ja läpivieminen ennaltaehkäisevät mahdollisia rakennuksessa syntyviä kosteusvaurioita tulevaisuudessa ja vähentävät sekä rakentamisen että käytön aikaisia kustannuksia. Tavoitteena on, että lopputuloksena prosessille olisi laadukas, terve ja kosteusteknisesti toimiva rakennus (RIL 250-2020, 25 s).

### 3.2 Prosessin kulku

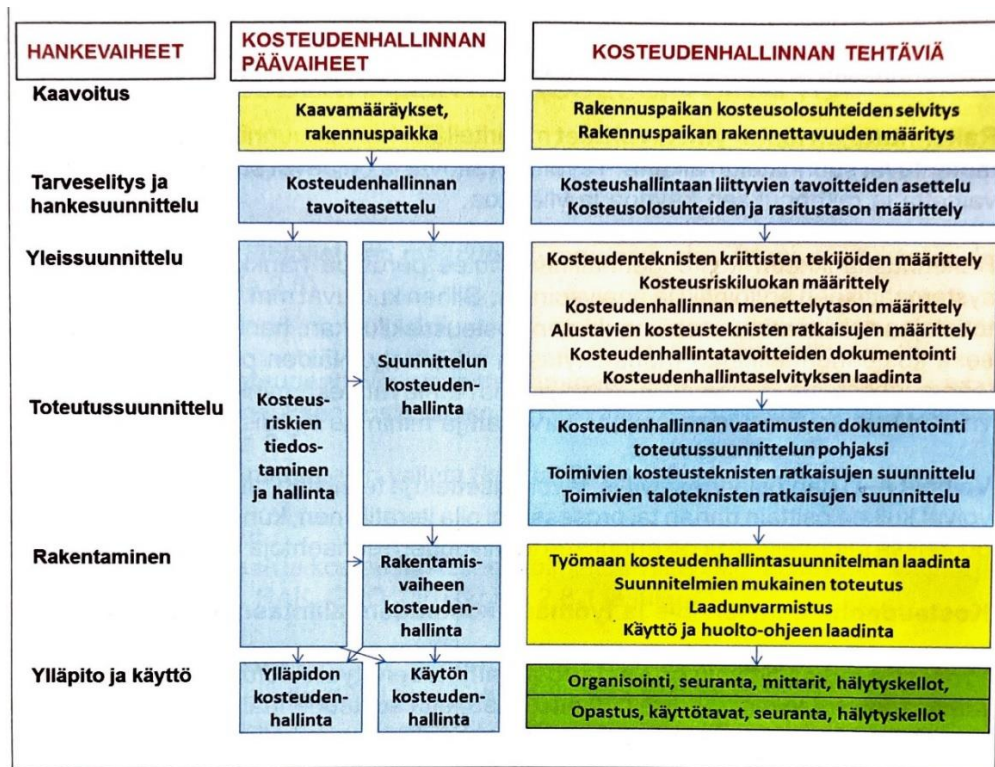
Hankkeen kosteudenhallintaprosessi alkaa käytännössä jo kaavoitusvaiheessa, jossa tontin kosteusolosuhteet selvitetään ja pohditaan rakennuspaikan rakennettavuutta kosteustekijöiden näkökulmasta (RIL 250-2020, 28 s). Hankesuunnitteluvaiheessa rakennuttaja ja asiantuntijat asettavat hankkeelle kosteudenhallinnan tavoitteet (Kosteudenhallinta.fi 2020). Nämä ovat kosteudenhallinnan laadullisia tavoitteita, joiden on tarkoitus ohjata kosteudenhallintaa koko rakennusprosessin ajan. Tavoiteasettelu muodostaa siis lähtökohdat hankkeessa vaadituille kosteudenhallinnan toimenpiteille. Tavoiteasettelun pohjalta syntyvä kosteudenhallinnan laatutaso liitetään myös osaksi tarjouspyyntöä suunnittelun ja toteutuksen kilpailuttamisessa (Sahlstedt & Koskenvesa 2016).

Rakennuttajan asettamat tavoitteet ja laatutaso toimivat pohjana kosteusriskiarvion tekemisessä. Riskiarvio alkaa alustavan riskiarvion laatimisella. Arvio ei kohdistu ainoastaan fyysisiin kosteuslähteisiin vaan on laaja tarkastelukokonaisuus liittyen niin hankkeen hallinnollisiin, rakennusteknisiin kuin työtekniisiin laatutekijöihin. Näitä tarkasteltavia laatutekijöitä kutsutaan niin sanoituiksi kriittisiksi laatutekijöiksi, jotka ovat kosteudenhallinnan kannalta merkittäviä. Jo yhden kriittisen laatutekijän huono taso voi aiheuttaa kosteusvaurioriskin. Alustava riskiarvio täydentyy vielä hankekohtaisilla riskitekijöillä. (Sahlstedt & Koskenvesa 2016) Kun riskiarvio on saatu valmiiksi, sen perusteella päätetään rakennuksen kosteusriskiluokka. Riskiluokat on numeroitu yhdestä kolmeen, joista kerrostalot kuuluvat vaativuuden mukaan joko luokkaan yksi tai kaksi. (RIL 250-2020, 36 s) Kosteusriskiluokat on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1:** Rakennuksen kosteusriskiluokat (RIL 250-2020, 36 s)

Hankkeen vaativuus	Kosteusriskiluokka	Esimerkkejä
Erittäin vaativa	3	Rakennukset, joissa on suuri kosteusrasitus (mm. uimahallit, kostutetut tilat, pakkasvarastot) tai jotka ovat muuten kosteudenhallinnan suunnittelun, toteutuksen, ylläpidon tai käytön kannalta erittäin vaativia.
Normaalia vaativampi	2	Normaalia vaativammat asuin-, liike- ja toimistorakennukset. Koulut ja päiväkodit.
Normaali	1	Tavanomaiset asuin-, liike- ja toimistorakennukset (normaalimenettely). Rakennukset, joissa on ihmisiä vain satunnaisesti tai joiden suunniteltu käyttöikä on normaalia lyhyempi (kevennetty normaalimenettely).

Tavoiteasettelun ja riskiarvion jälkeen siirrytään kosteudenhallinnan menettelytavan valintaan. Menettelytapoja on kaksi: tehostettu ja normaali, joista toinen valitaan kosteusriskiarvion sekä kohteen vaativuustason perusteella. Tästä eteenpäin kosteudenhallintaprosessin vaiheet määrittyvät lähinnä rakennusprosessin vaiheiden mukaan. Esimerkiksi kosteustekniset ratkaisut suunnitellaan suunnitteluvaiheessa yhdessä muun suunnittelun ohella, työmaan kosteudenhallintasuunnitelma rakentamisvaiheessa ja niin edelleen. Kuvassa 2 on esitetty RILin käsikirjan näkemys prosessin etenemisestä kaavoitusvaiheesta eteenpäin.



**Kuva 2:** Kosteudenhallintaprosessin vaihekaavio (RIL 250-2020, 28 s)

Eri kirjallisuuslähteissä ja nettisivuilla on esitetty tarkkoja vaihekaavioita prosessin kuvaamiseksi, ja ne eroavatkin toisistaan jossain määrin. Olennaista prosessin läpiviemisessä ei kuitenkaan ole järjestyksen orjallinen noudattaminen, vaan hallittu organisointi niin, että kaikki prosessin vaatimat asiakirjat ja vaiheet tulevat huomioitua ja ajoissa valmiiksi. Näin ollen joitakin vaiheita saatetaan työstää samaan aikaan. On kuitenkin selvää, että jotkin vaiheista edellyttävät edellisen vaiheen loppuun saattamista. Esimerkiksi tavoitteet kosteudenhallinnalle on asetettava ennen kuin mitään muuta vaihetta voidaan käynnistää, sillä ne ohjaavat paljolti prosessin seuraavissa vaiheissa tehtäviä ratkaisuja ja päätöksiä.

Kuivaketju<sup>10</sup> on rakennustuotannon kosteudenhallintaa varten kehitetty toimintamalli kosteusvaurioiden ehkäisemiseksi ja se on yleisesti käytössä useissa hankkeissa. Kosteusvaurioiden ehkäisy perustuu ketjuun, jossa rakennusprosessin jokaisen vaiheen kosteusriskit huomioidaan. Toimintamalliin kuuluu riskilista, jossa on käyty läpi kymmenen keskeisintä kosteusriskiä. Esimerkiksi suunnittelijat käyttävät suunnitteluvaiheessa riskilistaa ja tarkentavat riskejä kyseisen hankkeen vaatimusten mukaan. Urakoitsijat toteuttavat mallin mukaan tehdyt suunnitelmat, sekä dokumentoivat niiden toteutumista. (RALA)

### 3.3 Kosteudenhallintaselvitys

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta velvoittaa rakennushankkeeseen ryhtyvää laatimaan rakennushankkeelle kosteudenhallintaselvityksen (YMa 782/2017). Se sisältää rakennushankkeeseen ryhtyvän vaatimuksia, menetelytapoja ja resursseja kosteudenhallinnan osalta ja sen laajuus riippuu rakennushankkeen laajuudesta. Sisältöön kuuluu osittain jo edellä mainittuja asioita kuten kosteudenhallinnan tavoiteasettelu ja riskiarvio. Esimerkki kosteudenhallintaselvityksen sisällöstä:

1. Yleistä
2. Hankkeen yleistiedot
3. Rakennuksen ja ympäristön tiedot
4. Hankkeen kosteudenhallintaan liittyvät riskit
5. Vaatimukset kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa
6. Käytölle ja ylläpidolle asetetut vaatimukset (RIL 250-2020, s. 50–53)

Asetuksen mukaan selvityksessä on myös ilmoitettava rakennuksen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaava henkilö, jota kutsutaan kosteudenhallintakoordinaattoriksi. Hänen tehtäviään ovat osittain yhdessä rakennuttajan kanssa suunnitella, ohjata ja valvoa hankkeen kosteudenhallintatoimenpiteiden toteutusta. Koordinaattori voidaan palkata tehtävään omasta tai ulkopuolisesta organisaatiosta. Tehtävään vaaditut pätevyudet on julkaistu muun muassa FISE:n verkkosivuilla. (Kosteudenhallinta.fi 2021)

Kosteudenhallintaselvityksen laatiminen aloitetaan yleensä jo hankesuunnitteluvaiheessa ja se täydentyy osittain rakennushankkeen edetessä. Käytettäessä esimerkiksi Kuivaketju10 -toimintamallia selvityksen sisältö voi olla suppeampi. (Kosteudenhallinta.fi 2021) Selvityksen valmistumiselle ei sinänsä ole mitään määrättyä aikataulua. Tavoitteena kuitenkin on, että asiakirja olisi saatu viimeisteltynä rakennuslupavaiheeseen mennessä, sillä se liitetään usein osaksi rakennuslupahakemusta sekä suunnittelun ja urakan tarjouspyyntöasiakirjojen liitteeksi (Ympäristöministeriö 2020).

### 3.4 Kosteudenhallintasuunnitelma

Rakennushankkeen kosteudenhallintasuunnitelma on myös lain velvoittama asiakirja ja siitä säädetään samaisessa Ympäristöministeriön asetuksessa, kuin kosteudenhallintaselvityksestäkin. Kosteudenhallintasuunnitelma on tarkoitettu työkaluksi työmaavaiheeseen rakentamisaikaisen kosteudenhallinnan varmistamiseksi. Sen laatimisesta vas-

taa pääurakoitsijan vastaava työnjohtaja ja suunnitelman tulee olla valmis ennen rakennusosien valmistamista ja rakentamisen aloittamista. (RIL 250-2020, 163 s; SFS-EN 5978 2014, 18 s)

Ympäristöministeriön asetuksen 782/2017 mukaan suunnitelman on pohjauduttava kosteudenhallintaselvitykseen. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että selvityksessä esitetyt kriittiset laatutekijät ja kosteustekniset riskit identifioidaan tarkemmin ja työmaakohtaisemmin. Asetus myös määrää, että suunnitelmassa on esitettävä tiedot rakennusosien ja materiaalien suojauksesta, toimenpiteistä, joilla suojaus toteutetaan sekä toimenpiteistä rakenteiden kuivumisen varmistamiseksi. (RIL 250-2020, 165 s) Puurakentamisessa on otettava lisäksi huomioon muitakin aspekteja puun kosteusherkkyyteen liittyen. Puurakenteiden toteuttamista ohjeistavan eurokoodin SFS 5978 mukaan kosteudenhallintasuunnitelman sisältö on seuraavanlainen:

1. Kohteen perustiedot
2. Hankkeessa käytettävät puumateriaalit ja -tuotteet
3. Puutavaran, puuelementtien ja rakennusosien tavoitekosteudet tehdasvalmistuksessa
4. Puutavaran, puuelementtien ja rakennusosien tavoitekosteudet työmaalle toimitettaessa, asennuksen aikana ja rakenteena
5. Vastaanottotarkastukset ja vastuhenkilöt
6. Rakentamisen aikaiset kosteuslähteet
7. Puurakenteiden suojaustaso
8. Suojausmenetelmät työmaalla
9. Kuivaus käyttöolosuhteisiin
10. Kosteusmittaus suunnitelma (SFS-EN 5978 2014, s. 18–19)

Suunnitelman valmistuttua hankkeen työnjohto ja työntekijät perehdytetään sen sisältöön ja kohteen kosteudenhallinnan kannalta olennaisiin erityispiirteisiin (Ympäristöministeriö 2020). Näin varmistutaan siitä, että työntekijöillä on riittävä käsitys työmaalla tehtävistä toimenpiteistä kosteudenhallinnan varmistamiseksi ja mahdollisten vaurioiden ehkäisemiseksi.

Kosteudenhallinnan yleinen osaaminen on Suomessa hyvällä tasolla. Ongelmia aiheuttaa silti esimerkiksi välinpitämättömyydestä ja tiedon kulun puutteellisuudesta. Esimer-

kiksi valtavasta työmaiden kiireestä johtuen työntekijöiden perehdyttäminen kosteudenhallintasuunnitelmaan ja kosteudenhallinnan toimenpiteisiin voi jäädä vähäiseksi. Tämä aiheuttaa puutteellisia toimenpiteitä rakentamisaikaisessa kosteudenhallinnassa ja muodostaa selvän kosteusvaurioriskin työmaalla. Vuonna 2017 suunniteltiin kosteudenhallinnan koulutusta, joka tulisi pakolliseksi työmaille työturvallisuuskoulutuksen rinnalle (Mölsä 2017), mutta näin ei ole vielä tapahtunut.



## 4. KOSTEUDENHALLINTAMENETELMÄT PUUELEMENTTIRAKENTAMISESSA

### 4.1 Sääsuojaus ja rakenteiden suojaus

Kaikille puukerrostalorakentamisessa käytössä oleville rakennejärjestelmille on yhteistä pitkälle kehitetty esivalmistus ja elementointi. Elementit toimitetaan tehtaalta työmaalle mittatarkkoina ja lähes aina valmiina asennettaviksi. Elementit suojataan kosteudelta kuljetuksen ajaksi muovipeitteisiin pakattuina. Käytössä on myös suojapeitteisiä rekkoja (Puuinfo 2020c). Työmaalla puurakenteet suojataan mahdollisen kuljetuksenaikaisen muovipeitteen lisäksi pressuilla tai varastoidaan katettuun paikkaan maakosketusta välttämällä. Joskus elementit joudutaan varastoimaan työmaalla suhteellisen pitkiksi ajoiksi odottamaan asennusta. Asennukset tulisivat suunnitella niin, että varastointiaika olisi mahdollisimman lyhyt, sillä pitkään ulko-olosuhteissa maan läheisyydessä varastointi muodostaa aina kosteusriskin. (Tolppanen et al. 2013, s. 172–173) Lisäksi etenkin muovikalvoilla ja pressuilla elementtejä suojatessa tulee huolehtia, että tuuletus on riittävä ja vesi ei makaa elementtien päällä (Ratu S-1236, 40 s). Veden pääsyn estäminen etenkin välipohjaelementtien eristeisiin on elintärkeää, sillä eristeiden vaihtaminen rakennuksen valmistumisen jälkeen on haasteellista ja kallista (Ijäs 2013).

Jotta puukerrostalorakentaminen olisi kosteuden kannalta turvallisinta, rakennetaan se pääsääntöisesti sääsuojan alla kunnes rakennuksen vaippa on valmis. Suositeltavaa on, että sääsuojana käytettäisiin koko rakennuksen suojaavaa telttasuojausta sen suurista kustannuksista huolimatta. Kattava suojaus maksaa itsensä todennäköisesti takaisin, sillä se nopeuttaa huomattavasti elementtien asennusprosessia ja ehkäisee kosteusvaurioita. Sääsuojan kattaessa kokonaan rakennuksen useita töitä voidaan tehdä samaan aikaan ja elementtien asennus ei ole riippuvainen sääolosuhteista. Elementtien asennus teltan sisässä voidaan tehdä siltanosturia käyttäen kuten kuvassa 3. Käytössä voi olla myös teltan sisään ajettu ajoneuvonosturi. (Tolppanen et al. 2013, 32 s). Muita mahdollisuuksia työn aikaiselle sääsuojukselle puukerrostalorakentamisessa ovat muun muassa töiden edetessä nostettava suojakatto, heti valmiiksi rakennettava vesikatto ja uutena markkinoille tullut polypropeenista valmistettu itseliimautuva mikrokuitukangas. Mikrokuitukangasta käytettäessä sääsuoja ei ole välttämätöntä, sillä kangas suojaa rakenteita kosteudelta koko rakentamisen ajan. (Puuinfo 2020c)

Kuljetuksen ja varastoinnin aikaista suojausta, sekä tarvittavaa sääsuojausta hallitaan suojaustasoilla. Suojaustasojen tavoitteena on varmistaa kosteudenhallintaselvityksessä puurakenteille esitetyt tavoitekosteudet. Eri suojaustasoille on esitetty erinäisiä vaatimuksia rakenteiden suojaustoimenpiteistä vaaditun tavoitekosteuden saavuttamiseksi. (Puuinfo 2020c) Tasot ovat numeroitu tasosta nolla (ST0) tasoon kolme (ST3) suojaustoimenpiteiden laajuuden mukaan. Suojaustasoa valittaessa tulee pohtia eri tekijöitä. Valintaan vaikuttavat muun muassa rakennusolosuhteet, kuten rakennuspaikka ja sääolosuhteet. Samoin puumateriaalin ominaisuudet kuten kosteudensietokyky tai tehty pintakäsittely vaikuttavat suojauksen valintaan. (A-insinöörit 2019) Suojaustasot ja niillä saavutettavat rakenteiden kosteuspitoisuudet ovat esitetty tarkemmin standardissa SFS 5978.



*Kuva 3: Puuelementin asennusta nostettavan sääsuojan alla siltanosturin avulla (Törmänen 2019)*

## 4.2 Puurakenteiden kuivaaminen

Etenkin talvikauden aikaan rakennuksen lämmityksen alettua, rakennuksen sisällä ilmankosteus on suuri ja puurakenteet kostuvat (VTT 2006). Puurakenteet saattavat kasvaa rakentamisen aikana myös rakenteen sisälle tunkeutuvan veden tai lumen takia (A-insinöörit 2019), sekä varastoinnin aikana. Puu tulee asentamisen jälkeen kuivata käyttökosteuteensa. Puurakenteita, aivan kuten betonirakenteitakaan, ei saa päällystää ennen kuin ne ovat tarpeeksi kuivia. Toisaalta puurakentamisessa kuivumisajat eivät yleensä vaikuta rakentamisen aikatauluihin, kuten betonirakentamisessa on mahdollista

(Tolppanen et al. 2013, 172 s). Rakenteiden kuivumisen hallintaa varten tehdään suunnitelma, joka esitetään myös kosteudenhallintasuunnitelmassa. Suunnitelmassa määritetään muun muassa kastuneiden rakenteiden määrä ja alueen laajuus, ympäröivät olosuhteet, kuivauskalusto ja vaadittu kuivauksen taso. (A-insinöörit 2019)

Puurakenteen kuivuessa siihen voi syntyä halkeamia. Mitä nopeammin puurakenne kuivuu ja mitä suurempi rakenteen poikkileikkaus on, sitä enemmän halkeamia syntyy ja sitä suurempia ne ovat. Normaalisti kuivuminen ei aiheuta muuta kuin esteettistä haittaa pienten halkeamien muodossa, mutta suurten halkeamien syntyessä lujuustekniset ominaisuudet voivat kärsiä. (Puuinfo 2020c) Talvisin sisävalmistusvaiheessa riski puurakenteiden halkeilulle syntyy, kun suurin osa kosteudesta on saatu pois ja puun kuivuminen on mahdollisesti liian nopeaa. Riskiä lisää myös asennusta edeltävä rakenneosan kastuminen, kun kastunut rakenne asennetaan paikalleen asennusaikaisten mittojen mukaisesti. Erityisen herkkiä paikkoja ovat etenkin liitosten umpikolot ja kotelorakenteet. (VTT 2006) Puurakenteen kuivuminen tulisi olla siis mahdollisimman tasaista halkeamien välttämiseksi. Standardin EN-SFS 5978 (2014) sivulla 20 ohjeistetaan, että puurakenteen kuivuessa mitatun puun kosteuden ja sen tasapainokosteuden ero tulisi olla enintään 6 prosenttiyksikköä. Jos rakennetta täytyy kuivattaa tätä enemmän, se tulee järjestää useammassa vaiheessa niin, että edellä mainitun ohjeistuksen vaatimus toteutuu.

Puurakenteiden kuivausmenetelmän valintaan vaikuttaa eniten vuodenajat sekä kuinka suuri kuivatustarve on. Talvikaudella kuivumista hallitaan lämmittämällä rakennusta esimerkiksi sähkölämmittimillä tai kaukolämpöä hyödyntävillä lämmittimillä. Rakenteita suoraan lämmitettäessä voidaan käyttää lämpömattoja tai infrapunakuivaimia. Muina kautena kuin talvella joudutaan alentamaan ilmankosteutta kuivumisen mahdollistamiseksi. Ilman kuivaukseen käytettäviä välineitä ovat esimerkiksi adsorptio- tai kondenssikuivaimet. (A-insinöörit 2019)

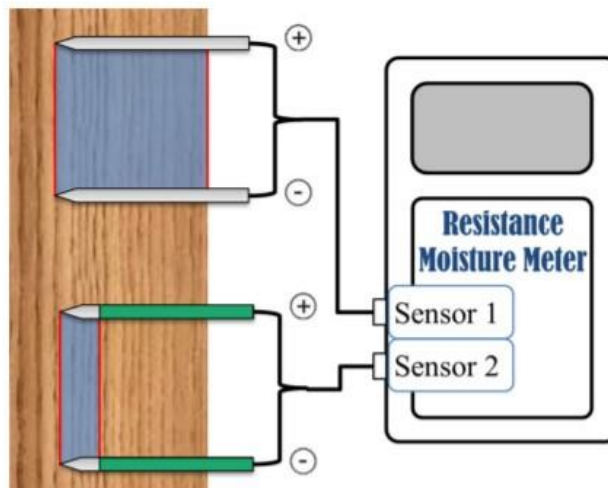
### **4.3 Kosteusmittaukset**

Työmaalla suoritetaan rakentamisen aikana olosuhdemittauksia. Mittauksiin kuuluu kosteusmittaukset kuten rakenne- ja ilmankosteusmittaukset, sekä lämpötilamittaukset. Kosteusmittauksia varten laaditaan kosteusmittaussuunnitelma, jossa on esitetty muun muassa mitä mittauksia tehdään, mittaajan pätevyys, mittausmenetelmät, mittausten aikataulu, mittausten laajuus ja mittauspisteiden sijainti. Tämän lisäksi puurakentamisessa kosteusmittaussuunnitelman tulee sisältää tieto siitä, kuinka puumateriaalin asennuskosteus kontrolloidaan ennen sen päällystämistä esimerkiksi parketilla. (RIL 250-2020, s. 174–175)

Kosteusmittaukset alkavat yleensä heti kun rakennuksen vaippa on saatu tiiviiksi ja rakennuksen lämmitys on käynnistetty. Silloin puurakenteista selvitetään mittausten avulla kosteus-tila kuivatustarvetta varten. Tämän jälkeen mittauspisteistä tehdään kosteusmittauksia seuranta-tyyppisesti noin 2–4:n viikon välein mittaussuunnitelman mukaisesti. Seurantamittauksilla seurataan ja kontrolloidaan kuivumisen edistystä. Mittausten perusteella voidaan lisätä tai vähentää kuivatusta tarpeen mukaan. (A-Insinöörit 2019)

Puun kosteusmittauksissa käytettävät mittalaitteet jaetaan suoriin ja epäsuoriin mittalaitteisiin mittauseriaatteen mukaan. Yksi käytetyimmistä suorista menetelmistä puun kosteus- pitoisuuden määrittämiseen on uunikuivaus. Uunikuivausmenetelmässä rakenteesta otetaan näytepala ja punnitaan se. Kuivaamalla näytepala uunissa saadaan kosteus- pitoisuus selville haihtuneen vesimäärän ja kappaleen massan suhteen avulla. (Dietsch et al. 2014)

Epäsuorista menetelmistä käytössä on muun muassa puun resistanssiin perustuva menetelmä ja kapasitiivinen menetelmä. Resistanssimittarilla mitattaessa mittarin kaksi piikkiä laitetaan puuhun kiinni. Mittarin ilmoittama kosteus- pitoisuus perustuu veden parempaan sähkönjohtavuuteen puuhun verrattuna. Mitä korkeampi puun vesipitoisuus on, sitä pienempi resistanssi on. Mittausmenetelmä toimii tarkimmin, kun puun kosteus- pitoisuus on kuuden painoprosentin ja puun kyllästyskosteus- pitoisuuden välillä. Tämän alueen ulkopuolella tarkkuus heittelee liikaa. (Dietsch et al. 2014) Kuvassa 4 on esitetty periaate resistanssimittarin käytöstä.



**Kuva 4:** Periaatekuva resistanssimittarin käytöstä eristämättömillä ja eristetyillä elektrodeilla (Dietsch et al. 2014)

Kapasitiivinen menetelmä perustuu puolestaan dielektriivisten ominaisuuksien muuttamiseen puun kosteus- pitoisuuden mukaan. Mittausmenetelmässä mittarin kondenssaattori asetetaan puun pinnalle ja tuloksena saadaan puun kosteus- pitoisuus keskiarvona

alle 35 millimetrin syvyydeltä puun pinnasta. Kapasitiivisen mittarin mittaustarkkuuteen vaikuttavat eniten puun tiheys, pinnan lämpötila ja mittaussignaalin taajuus. Mittaustulos on hyväksyttävä alueella kahdesta painoprosentista puun kyllästyspisteeseen. (Dietsch et al. 2014)

Puun kosteuspitoisuutta mitataan myös suhteellisen ilmankosteuden avulla. Tässä menetelmässä on yleisimmin käytössä kapasitiivinen hygrometri, jonka kahden kondensaattorilevyn välisiä dielektriivisiä ominaisuuksia mittaamalla saadaan tietoa puun kosteudesta. Menetelmä mittaa nimenomaan ilman suhteellista kosteutta suljetuissa ilmatiloissa, joissa ilma pyrkii kosteustasapainoon sitä ympäröivän puun kanssa. (Musa 2017)

#### **4.4 Tutkimustietoa ja kokemuksia puuelementtikerrostalojen kosteudenhallintamenetelmistä**

Puukerrostalorakentaminen on kasvattanut suosiotaan viime vuosikymmenien aikana myös muissa pohjoismaissa kuten Ruotsissa, missä puukerrostaloprojekteja on toteutettu huomattavasti enemmän Suomeen nähden. Kasvaneesta suosiosta johtuen rakentamisen kosteusongelmatkin ovat lisääntyneet ja tämän takia on teetetty lukuisia tutkimuksia ongelmien selvittämiseksi. Tuotannosta vastaavien ja rakentajien välillä on ollut erimielisyyksiä muun muassa siitä, onko puukerrostalorakentaminen ilman sääsuojaa kannattavaa kosteuskäsitteitä huomioon ottaen (Mjörnell & Olsson 2019).

Erään Ruotsissa tehdyn tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon kosteudella on vaikutusta CLT-rakenteisiin puukerrostaloihin ilman sääsuojaa rakennettaessa. Tutkimuksen kohteena oli neljä eri seitsemänkerroksista CLT -puurakenteista taloa eri puolilla Ruotsia. Jokainen rakennus rakennettiin ilman minkäänlaista sääsuojaa. (Olsson 2020) Vaikka valmiista elementeistä rakentaminen säästää etenkin työmaakustannuksissa nopeuden takia, on puukerrostalon rakentaminen jo valmiiksi kalliimpaa betoniin nähden. Esimerkiksi CLT -kerrostalon kustannukset ovat noin 10 % enemmän ja puukerrostalon kustannukset yleisesti 6 % enemmän kuin betonikerrostalon rakentamisessa (Tulonen 2020). Tutkimuksessa haastateltiin vastuuhenkilöitä ja heidän mukaansa pääliimäinen syy rakentamiseen ilman sääsuojaa olivat nimenomaan kustannukselliset syyt. (Olsson 2020)

Kohteissa oli olemassa suunnitelma vapaan veden poistosta, sekä veden pääsyn rajoittamisesta rakenteisiin. Hankkeiden ajan kosteudenhallintaa valvottiin normaalisti rakentajan toimesta ja kosteudenhallintasuunnitelma oli laadittu. Hankkeen aikana kuitenkin huomattiin, että veden pääsyn estäminen rakenteisiin oli hankalaa ja se epäonnistui. Tutkimuksessa mitattiin puun kosteuspitoisuutta ja tutkittiin homeen kasvua lukuisissa

eri pisteissä. Osa pisteistä sijaitsi paikoissa, missä puurakenne altistui suoralle kosteusrasitukselle kuten sateelle, tai missä kuivumisolosuhteet olivat muuten vain huonot. Mittausten tuloksena oli, että kokonaisuudessaan 200:sta mittauspisteestä puolessa havaittiin pientä mikrobikasvuston kasvua ja noin kolmanneksessa kohtalaista tai laajaa kasvua. Näin ollen tutkimuksen johtopäätös oli, että puurakenteinen monikerroksinen rakennus kannattaisi rakentaa sääsuojan alla. Suosituksena oli käyttää nimenomaan koko rakennuksen kattavaa suojaa, kuten telttää. (Olsson 2020)

Myös Suomessa on törmätty vastaavanlaisiin ongelmiin. Vuonna 2015 käynnistetty SRV:n ja Stora Enson yhteistyössä toteutettu Wood City -hanke Helsingin Jätkäsaarella rakennettiin myös ilman sääsuojaa. Hanke käsittää kaksi asuinkerrostaloa, hotellin ja toimistorakennuksen (SRV). Vuonna 2017 media uutisoi, että rakenteilla olleen kerrostalon rakenteiden liitoksista löytyi hometta (Bäckgren 2017). Helsingin Sanomien tekemästä uutisesta selviää, että rakentamisaikainen kosteudenhallinta ei ollut riittävällä tasolla. Asiaa koskien haastateltiin Tampereen yliopiston rakennusfysiikan professoria Juha Vinhaa. Vinhan mukaan hanke oli nimenomaan kokeilu ilman sääsuojaa rakentamisesta. Hän lisää vielä, että oman mielipiteensä mukaan rakennus olisi kannattavaa rakentaa teltan alla. Homevaurioita korjattiin rakentamisen aikana desinfioidulla ja rakenteita uusimalla. (Törmänen 2017) Hankkeen kosteudenhallintaan liittyen tehtiin myös kaksi diplomityötä.

Molemmissa tapauksissa rakentamisen kosteudenhallinta oli selvästi puutteellista ja ilman sääsuojaa rakentamista ei suositeltu. Puusta rakentaminen sääsuojatta ei ole kuitenkaan uusi ilmiö. Malli on ollut käytössä jo pitkään Keski-Euroopassa ja on sieltä rantautunut myös Pohjoismaihin (Mjörnell & Olsson 2019). Sen etuna on nopeampi elementtien asennustahti ja alhaisemmat kustannukset verrattuna sääsuojan alla rakentamiseen. Pohjoismaiset olosuhteet ovat kuitenkin kosteammat kuin etelämmässä Keski-Euroopassa ja näin ollen otollisemmat homeen kasvulle. Tämä vaatii erityistä huomiota sääsuojasta ja rakennusmateriaalien suojausta toteutettaessa. Kriittisimpiä kohtia puukerrostaloissa ovat rakenteiden liitokset ja muut rakenteiden kohdat, jotka eivät pääse kunnolla tuulettumaan ja kuivumaan kosteusrasituksen jälkeen.

Vesa Ijäs tutki vuonna 2013 väitöskirjassaan suomalaisen puukerrostalorakentamisen esteitä ja mahdollisuuksia. Työtä varten haastateltiin eri rakentamisen osapuolia, kuten rakennuttajia ja suunnittelijoita. Haastatteluista käy ilmi, että kokemus puukerrostalojen hankeprosesseista oli vähäistä ja osaavia urakoitsijoita oli rajallisesti. Lisäksi suurimpana riskinä rakentamiselle nähtiin nimenomaan kosteusvauriot. (Ijäs 2013) Tutkimuksesta on aikaa jo melkein kymmenen vuotta, mutta puukerrostalorakentamisen aikakausi

on edelleen suhteellisen lyhyt verrattuna esimerkiksi betonikerrostalorakentamiseen. Täten puuelementtirakentamisen kosteudenhallintaan ei ole välttämättä vielä syntynyt rutiinia ja tarvittavaa osaamista, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia tulevaisuudessa.

## 5. YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, minkälaisia haasteita puukerrostalojen kosteudenhallintaan liittyy rakentamisen aikana. Työssä pyrittiin vastaamaan myös seuraaviin kysymyksiin: 1) Mistä kosteus työmaalla muodostuu? 2) Miten kosteus vaikuttaa puurakenteisiin rakenteellisesti ja kuinka vaikutukset ovat ehkäistävissä? 3) Mitä eri asioita kosteudenhallintaprosessiin kuuluu puukerrostalojen rakennushankkeissa? 4) Millaisia rakentamisen aikaisia kosteudenhallintamenetelmiä on käytössä puuelementtikerrostalorakentamisessa?

Puuelementtikerrostalorakentamisessa valmiista elementeistä rakentaminen on suuri etu sen nopeudesta johtuen. Elementtien asennuksen suunnittelu ja aikataulutus ovatkin tärkeässä roolissa kosteusriskien muodostumisessa. Esimerkiksi Wood city -hankkeessa elementit olivat seisseet säälle alttiina pitkiä aikoja asennusten viivästysten takia. Lisäksi, vaikka elementit olisivat suojattu hyvin, on kosteusriski aina olemassa maan läheisyydessä pitkiä aikoja säilytettäessä. Kun elementit kastuvat tai sisältävät ylimääräistä rakennekosteutta, joudutaan ne kuivaamaan käyttökosteuteensa. Kuivauksessa riskinä on puurakenteen halkeilu, jonka ehkäisemiseksi on tärkeää kuivaamisen tasaisuus. Rakenteet eivät saa kuivua liian nopeasti tai muuten halkeamavaara on olemassa. Haasteita muodostuu etenkin vuodenaikojen aiheuttamista eri olosuhteista ja asentamista edeltävästä rakenteen kastumisesta.

Puukerrostalorakentaminen on ollut selvästi nousussa viime vuosina Suomessa, mutta verrattuna betonirakentamiseen tuotanto on vielä maltillista. Yksi syy puukerrostalojen rakentamisen vähäisempään määrään ovat sen korkeammat kustannukset betoniin verrattuna. Tutkimuksista käy ilmi, että puukerrostalo olisi järkevintä rakentaa sääsuojan alla kosteusriskien minimoimiseksi. Sääsuojan kustannukset kuitenkin nostavat jo valmiiksi kalliimman puuelementtikerrostalon rakentamisen kustannuksia. Sääsuojien suurista kustannuksista johtuen puukerrostalotuotannossa on rakennettu myös ilman sääsuojaa osittain huonoin lopputuloksin.

Asennettujen rakenteiden osalta haastavia ovat rakenteiden väliset liitokset. Puun ollessa sopivissa olosuhteissa pitkään kastuneena riski mikrobikasvuston, kuten homeen, muodostumiselle on suuri. Liitoskohdat ovat usein huonosti tuulettuvia paikkoja ja siksi potentiaalisia kohtia kosteusvaurion muodostumiselle. Lisäksi liitoksiin muodostuneen mikrobikasvuston poistaminen on hankalaa ja työteliästä. Haasteita tuottaa myös jo kasvaneen mikrobikasvuston tunnistaminen, sillä sitä ei aina näe paljaalla silmällä.



Suhteellisen lyhyen puukerrostalorakentamisen aikakauden takia puukerrostalotuotantoon ei ole syntynyt rutiinia, toisin kuin betonirakentamisessa. Hankkeita on toteutettu paljon kokeiluina eli pilottihankkeina. Tämä voi heijastua osittain myös puukerrostalojen kosteudenhallintaan. Vaikka kosteudenhallinnan peruseriaatteet osattaisiin ja niitä noudatettaisiin, suunnitelmat laadittaisiin ja huolehdittaisiin suojauksesta, tietty toisteisuus ja kokemus mahdollisista ongelmista saattaa uupua. Hankkeiden vähäisestä historiasta kertoo myös se, että puukerrostalojen kosteusongelmista ei ole Suomessa vielä paljoa tietoa tutkimusten muodossa. Kosteusongelmien laajuudesta on siksi vaikea kertoa vielä paljoakaan. Tutkimuksen keskeisimmät tulokset on koottu taulukkoon 2.

**Taulukko 2:** *Haasteita ja niiden seurauksia puuelementtikerrostalon rakentamisvaiheen kosteudenhallinnassa*

<b>Haaste</b>	<b>Seuraus</b>
<b>Sääsuojauksen valinta</b>	Puuelementtikerrostalo on suositeltavaa rakentaa aina sääsuojan alla, jolloin rakentamisen kustannukset kasvavat
<b>Aikatauluviivästykset elementtiasennuksissa</b>	Kosteusriski maan läheisyydessä elementtejä pitkään varastoitaessa
<b>Puun herkkyys kosteudelle</b>	Mikrobikasvuston muodostuminen ja sen havaitsemisen haasteellisuus  Rakenteiden kosteuseläminen
<b>Liitoskohtien kastuminen</b>	Huonosti tuulettuvia paikkoja, jolloin suurempi mahdollisuus mikrobikasvuston muodostumiselle
<b>Puurakenteiden kuivumisolosuhteet</b>	Tasaisten kuivumisolosuhteiden järjestämisen haasteellisuus halkeamien estämiseksi
<b>Puukerrostalotuotannon lyhyt aikakausi</b>	Kokemuksen puute puukerrostalojen rakentamisessa ja kosteudenhallinnassa  Tutkimustiedon vähäinen määrä

Tutkimuksen tekemisestä suoriuduttiin mielestäni hyvin. Tutkimuksen tavoite saavutettiin ja lisäksi alakysymyksiin saatiin vastattua jokaisessa kappaleessa tarpeellisesti. Haasteita tutkimuksen tekemisessä tuotti etenkin vähäinen tutkimustiedon määrä puuelementtikerrostalojen kosteusvaurioista sekä sitä kautta pohdintaosuuden kokoaminen järkeväksi kokonaisuudeksi tulosten kannalta oleellisessa neljännessä kappaleessa. Tästä kandidaatintyöstä sai kuitenkin tarvittavaa kokemusta tutkimustyön eri vaiheista ja sen tekemisestä.

Jatkotutkimusten osalta voitaisiin perehtyä puuelementtikerrostalojen kosteudenhallintaan ulkomailla, kuten pohjoimaissa. Tämä toisi varmasti lisää tutkimustietoa ja näkökulmia aiheeseen. Lisäksi vertailemalla puuelementtikerrostalon kosteudenhallintaa betonikerrostalojen kosteudenhallinnan kanssa voitaisiin tuoda esiin puuelementtikerrostalojen kosteudenhallinnan ongelmakohtia enemmän. Näin saataisiin myös laajempi kokonaiskuva kosteuden aiheuttamista haasteista.

# LÄHTEET

- A-Insinöörit (2019). Kosteuden ja kuivumisen hallinta – Puuinfo vaativien puurakenteiden suunnittelu –koulutus. Powerpoint-esitys. Saatavissa (viitattu 2.12.2021): [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/45\\_Kosteuden-ja-kuivumisen-hallinta.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/45_Kosteuden-ja-kuivumisen-hallinta.pdf)
- Bäckgren, N. (2017). Helsingin Jätkäsaareen rakentuvan 100 miljoonan euron Wood Cityn puukerrostaloista on löytynyt hometta. Helsingin Sanomat. Saatavissa (viitattu 30.11.2021): <https://www.hs.fi/koti/art-2000005442247.html>
- Dietsch P., Franke S., Franke B., Gamper A., Winter S. (2014). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts. Journal of Civil Structural Health Monitoring. Saatavissa (viitattu 4.1.2021): [https://www.researchgate.net/publication/271662330\\_Methods\\_to\\_determine\\_wood\\_moisture\\_content\\_and\\_their\\_applicability\\_in\\_monitoring\\_concepts](https://www.researchgate.net/publication/271662330_Methods_to_determine_wood_moisture_content_and_their_applicability_in_monitoring_concepts)
- Eduskunta (2012). Rakennusten kosteus- ja homeongelmat, eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu. Saatavissa (viitattu 29.10.2021): [https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisu/Documents/trvj\\_1+2012.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisu/Documents/trvj_1+2012.pdf)
- Ijäs, V. (2013). Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet. Keskeisten suomalaisten rakentamis- ja kiinteistöalan sidosryhmien vertaileva asennemittaus, Vol. 1142. Tampere University of Technology. Saatavissa (viitattu 29.12.2021): <https://cris.tuni.fi/ws/portafiles/portal/2652042/ijjas.pdf>
- Ilmatieteenlaitos (2021). Vuositilastot. Saatavissa (viitattu 20.10.2021): <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>
- Kosteudenhallinta.fi (2020). Hankkeen kosteudenhallinnan vaatimukset ja tavoitteet. Saatavissa (viitattu 21.10.2021): <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-vaiheet/hankesuunnittelu/hankkeen-kosteudenhallinnan-vaatimukset-ja-tavoitteet>
- Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 958/2012 (2012). Saatavissa (viitattu 21.10.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120958#Pidm45237816920880>
- Mjörnell, K. & Olsson, L. (2019). Moisture Safety of Wooden Buildings – Design, Construction and Operation. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. Vol.24(1), pp. 29–35 . Saatavissa (viitattu 29.10.2021): <https://sace.ktu.lt/index.php/DAS/article/view/23230>
- Musakka, S. (2017). Puukerrostalojen lämpötila- ja kosteusolosuhteiden mittaukset työmaavaiheessa. Diplomityö. Saatavissa (viitattu 3.1.2021): <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25426/Musakka.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Mölsä, S. (2017). Kosteudenhallintakoulutus halutaan pakolliseksi työmaille. Rakennuslehti. Saatavissa (viitattu 4.12.2021): <https://www.rakennuslehti.fi/2017/10/kosteudenhallintakoulutus-halutaan-pakolliseksi-tyomaille/>
- Olsson, L. (2020). Moisture safety in CLT construction without weather protection – Case studies, literature review and interviews. E3S Web of Conferences. Saatavissa (viitattu 29.11.2021): [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/32/e3sconf\\_nsb2020\\_10001/e3sconf\\_nsb2020\\_10001.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/32/e3sconf_nsb2020_10001/e3sconf_nsb2020_10001.html)
- Penttilä, O. (2017). Puukerrostalojen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen. Diplomityö. Saatavissa (viitattu 4.12.2021): <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/24942/Penttila.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

- Puuinfo Oy (2020a). Rakenteet: Puukerrostalo. Saatavissa (viitattu 22.9.2021): <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>
- Puuinfo Oy (2020b). Puun ominaisuudet: Kosteustekniset ominaisuudet. Saatavissa (viitattu 27.9.2021): <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>
- Puuinfo Oy (2020c). Kosteudenhallinta puurakentamisessa. Saatavissa (viitattu 29.11.2021): <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/kosteudenhallinta-puurakentamisessa/>
- Rakennustieto Oy (2008). Rakentamisen lämpö- ja kosteusfysikaalisia näkökohtia. Saatavissa (viitattu 19.10.2021): <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120401.pdf>
- RALA. Mikä on Kuivaketju10?. Saatavissa (viitattu 29.12.2021): <http://kuivaketju10.fi/#kuivaketju10>
- Ratu S-1236 (2021). Olosuhteiden hallinta rakentamisessa. Rakennustieto Oy.
- RIL 250-2020 (2020). Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, Helsinki.
- RIL 120-2004 (2004). Puurakenteiden suunnitteluohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki.
- Sahlstedt, S. & Koskenvesa, A. (2016). Kuivana rakentaminen – opas rakentamisen kosteudenhallintaan. Mittaviiva Oy. Saatavissa (viitattu 19.10.2021): [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana\\_rakentaminen\\_opas\\_2016.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/2016/kuivana_rakentaminen_opas_2016.pdf)
- Seppälä, P. (2014). Rakentamisprosessin kosteudenhallinta – kosteuslaatuluokka energiatodistuksen rinnalle. Rakennustekniikka -lehti. Saatavissa (viitattu 22.9.2021): [http://www.ril.fi/media/files/julkaisut/rt\\_4\\_2013ekirjafinal.pdf](http://www.ril.fi/media/files/julkaisut/rt_4_2013ekirjafinal.pdf)
- SFS-EN 5978 (2014). Puurakenteiden toteuttaminen – Rakenteiden kantavia osia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki.
- Siikanen, U. (2016). Puurakentaminen. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Sisäilmayhdistys.fi (2008). Kosteuslähteet. Saatavissa (viitattu 21.10.2021): <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahteet>
- SRV. Puukortteli Wood City rakentuu Jätkäsaareen. Saatavissa (viitattu 29.11.2021): <https://www.srv.fi/toimitilat/wood-city/>
- Suomen puukerrostalot Oy. (2019). Merkittävä yhteistyösopimus tuo vauhtia teolliselle puukerrostalorakentamiselle Suomessa. Saatavissa (viitattu 22.9.2021): <https://www.suomenpuukerrostalot.fi/merkittava-yhteistyosopimus.html>
- Tolppanen J., Karjalainen M., Lahtela T. & Viljakainen M. (2013). Suomalainen puukerrostalo. Opetushallitus & Puuinfo, Helsinki.
- Tulonen L. (2020). KORPUT – Korkeiden puukerrostalojen tutkimus. Saatavissa (viitattu 4.12.2021): <http://www.hankeportaali.fi/assets/files/uploads/file-252.pdf>
- Työ- ja elinkeinoministeriö (2020). Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:16. Saatavissa (viitattu 22.9.2021): [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)
- Törmänen, E. (2017). Asiantuntija homehtuneen puukerrostalon turvallisuudesta: "En todellakaan tiedä". Kauppalehti. Saatavissa (viitattu 30.11.2021): <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/asiantuntija-homehtuneen-puukerrostalon-turvallisuudesta-en-todellakaan-tieda/f9832eae-4e7a-3a6c-9909-60180f0b85a7>

Törmänen, E. (2019). Koko työmaa nosturia myöten sääsuojan alla. Tekniikka ja talous -lehti. Päivitetty 29.11.2019. Saatavissa (viitattu 30.11.2021): <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/koko-tyomaa-nosturia-myoten-saasuojan-alla-suoja-maksaa-510-hankkeen-kustannuksista-puurakentamisessa-se-on-pakko-olla/001c379a-8a29-44b0-bec7-8006a8574cfc>

Valtioneuvosto (2020). Selvitys: Puurakentaminen kasvussa tänäkin vuonna. Saatavissa (viitattu 1.12.2021): <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/selvitys-puurakentaminen-kasvussa-tanakin-vuonna-asuinkerrostalojen-lisaksi-puu-taipuu-myos-hotelleiksi-ja-toimistotaloiksi>

VTT Technical Research Centre of Finland (2006). Puurakenteiden halkeilun hallinta, opas. Saatavissa (viitattu 1.12.2021): <https://cris.vtt.fi/en/publications/puurakenteiden-halkeilun-hallinta-opas>

Yma 782/2017 (2017). Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Saatavissa (viitattu 27.9.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>

Ympäristöministeriö. Ilmastoviisasta rakentamista. Saatavissa (viitattu 22.9.2021): [file:///C:/Users/juhoy/Downloads/ym\\_puurakentamisen\\_ohjelma\\_ilmastoviisasta\\_rakentamista\\_web%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/juhoy/Downloads/ym_puurakentamisen_ohjelma_ilmastoviisasta_rakentamista_web%20(2).pdf)

Ympäristöministeriö (2020). Rakennusten kosteustekninen toimivuus: Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Saatavissa (viitattu 9.11.2021): [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje\\_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA\\_E374\\_4983\\_A396\\_CC15D6830B7B-156354.pdf/323bffe4-19f4-9b97-6c59-d314db622cb4/Ohje\\_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA\\_E374\\_4983\\_A396\\_CC15D6830B7B-156354.pdf?t=1603260109033](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA_E374_4983_A396_CC15D6830B7B-156354.pdf/323bffe4-19f4-9b97-6c59-d314db622cb4/Ohje_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA_E374_4983_A396_CC15D6830B7B-156354.pdf?t=1603260109033)

Ympäristöministeriö (2021). Ympäristöministeriö myönsi kunnille avustusta puurakentamista kehittäviin hankkeisiin. Saatavissa (viitattu 22.9.2021): <https://ym.fi/-/ymparistoministerio-myonsi-kunnille-avustusta-puurakentamista-kehittaviin-hankkeisiin>